



Thiago Tatim

**Avaliação e comparação de tensões e deslocamentos gerados pela expansão
maxilar bilateral posterior com alinhadores e aparelho fixo usando o
método dos elementos finitos**

CURITIBA
2024

Thiago Tatim

Avaliação e comparação de tensões e deslocamentos gerados pela expansão maxilar bilateral posterior com alinhadores e aparelho fixo usando o método dos elementos finitos

Tese apresentada a Faculdade ILAPEO como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Odontologia.

Orientadora: Profa. Dra. Ricarda Duarte da Silva

CURITIBA
2024

Thiago Tatim

Avaliação e comparação de tensões e deslocamentos gerados pela expansão maxilar bilateral posterior com alinhadores e aparelho fixo usando o método dos elementos finitos

Presidente da Banca Orientador(a): Profa. Dra. Ricarda Duarte da Silva

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Claudia Moreira Melo Toyofuku
Prof. Dr. Augusto Andrighetto
Profa. Dra. Roberta Schroder Rocha
Profa. Dra. Mariana Rinaldi

Aprovada em: 12 de março de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha amada esposa Elisângela, cuja paciência e apoio inabaláveis foram fundamentais para a realização deste sonho. Sua presença constante e amorosa proporcionou-me a força necessária para continuar, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Às minhas adoráveis filhas trigêmeas, Helena, Alice e Letícia, que enchem meus dias de alegria e inspiração. A compreensão e o carinho de vocês foram luzes guias, lembrando-me do que verdadeiramente importa a cada passo desta jornada.

Com todo meu amor e gratidão, esta conquista é tanto de vocês quanto minha.

Agradecimentos

É com profunda gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos ao Grande Arquiteto do Universo, cuja fé, sabedoria e amor foram a centelha vital que iluminou o caminho desta jornada acadêmica. Sua energia e inspiração foram cruciais para nutrir os princípios fundamentais deste trabalho.

A minha orientadora, Professora Ricarda, meu mais profundo reconhecimento pela sua dedicação incansável e pela orientação sábia que guiou cada etapa deste projeto. Sua paciência e visão foram pilares essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Minha gratidão se estende também ao Professor Padovan, cujo incentivo constante e entusiasmo contagiante foram uma fonte de motivação contínua. Sua paixão pelo conhecimento é verdadeiramente inspiradora.

Ao Christian, devo especial agradecimento pelo seu auxílio meticuloso e apoio na pesquisa e análise dos ensaios. Sua dedicação contínua fez uma diferença substancial na qualidade do meu trabalho.

Finalmente, à Roberta, expresso meu mais sincero agradecimento por seu apoio incondicional e colaboração decisiva, que contribuíram tremendamente para a concretização deste projeto.

A todos, meu sincero obrigado.

Sumário

1. Artigo científico 1	7
2. Artigo científico 2	22

1. Artigo científico 1

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**

AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DE TENSÕES E DESLOCAMENTOS GERADOS PELA EXPANSÃO MAXILAR BILATERAL POSTERIOR COM ALINHADOR E APARELHO FIXO USANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

Thiago Tatim¹
Ricarda Duarte da Silva¹

¹ Dentistry PhD student at Ilapeo College, Curitiba, Brazil; thitatim@hotmail.com

² Dentistry Professor at Ilapeo College, Curitiba, Brazil; chubbakashitzu@gmail.com

Autor correspondente: Thiago Tatim; Rua Jacarezinho 656, Curitiba, Paraná, Brazil, Zip code: 80810-130; email: thitatim@hotmail.com

RESUMO

Este estudo avaliou e comparou a distribuição de tensões e o deslocamento gerado durante a expansão maxilar utilizando alinhadores (grupo 1) e aparelhos fixos (grupo 2). Modelos tridimensionais (3D) da maxila foram desenvolvidos para simular o primeiro passo do tratamento, aplicando uma expansão de 0,2 mm em ambos os grupos sob as mesmas condições. Os resultados mostraram que o deslocamento na maxila foi maior no grupo 2, enquanto o deslocamento dentário foi similar entre os grupos. A distribuição de tensões nos dentes, raízes e osso maxilar foi mais elevada no grupo 2, especialmente nas regiões próximas aos brackets. No ligamento periodontal, as tensões foram semelhantes entre os grupos. Conclui-se que, embora o deslocamento nos dentes seja comparável entre os tratamentos, as tensões geradas apresentam diferenças, com maior impacto biomecânico nos tratamentos com aparelho fixo. Estes achados destacam as características biomecânicas distintas de cada abordagem durante a expansão maxilar bilateral posterior.

Palavras-chave: Expansão maxilar; Alinhador; Aparelho fixo; Análise de elementos finitos.

ABSTRACT

This study compared the stress distribution and displacement generated during maxillary expansion using aligners (group 1) and fixed appliances (group 2). Three-dimensional (3D) maxilla models were developed to simulate the first treatment step, applying a 0.2 mm expansion in both groups under the same conditions. The results showed that displacement in the maxilla was higher in group 2, while tooth displacement was similar between groups. The stress distribution in the teeth, roots, and maxillary bone

was higher in group 2, especially in the regions close to the brackets. In the periodontal ligament, the stresses were similar between groups. It can be concluded that, although the displacement in the teeth is comparable between treatments, the stresses generated present differences, with a higher biomechanical impact in treatments with fixed appliances. These findings highlight the distinct biomechanical characteristics of each approach during posterior bilateral maxillary expansion.

Keywords: Maxillary expansion; Aligner; Fixed appliance; Finite element analysis.

INTRODUÇÃO

Mal oclusão é definida como uma irregularidade dos dentes e relação alterada dos dentes durante a oclusão. Essa alteração pode levar a diversos prejuízos, desde alterações na mastigação até impactos negativos na confiança do paciente¹. Por mais de 100 anos, a expansão maxilar vem sendo usada como uma opção de tratamento para mal oclusões².

Existem dois tipos de expansão maxilar: a dentoalveolar (lenta) e a ortopédica (rápida). A expansão é considerada rápida quando a taxa de expansão é de 0,5 mm por dia e lenta quando a taxa é de 0,5 mm por semana³. Em casos leves de má oclusão, a expansão dentoalveolar é frequentemente suficiente para alargar o arco dentário e corrigir essa má oclusão⁴.

Entre os dispositivos utilizados para promover a expansão dentoalveolar, destacam-se os aparelhos fixos com braquetes e, mais recentemente, os alinhadores dentários⁵. Estudos já demonstraram a eficácia de braquetes convencionais, autoligáveis ativos e passivos na realização dessa movimentação dentária⁶⁻⁸. Os alinhadores dentários, por sua vez, têm ganhado popularidade devido a vantagens como estética, conforto e facilidade de higienização em comparação aos aparelhos fixos convencionais⁴. Evidências científicas indicam que os alinhadores são eficientes na expansão maxilar dentoalveolar, apresentando previsibilidade de movimentação nos molares superiores entre 79,1% e 113% e nos molares inferiores entre 99,78% e 134%⁴⁻⁵.

Nos últimos 20 anos, a análise por elementos finitos (FEA) tem se consolidado como uma ferramenta poderosa para simular tensões e deslocamentos em sistemas biológicos, eliminando a necessidade de experimentação em animais ou humanos. Estudos anteriores

demonstraram a confiabilidade desse método para avaliar tratamentos ortodônticos⁹. No entanto, poucos estudos na literatura avaliaram a distribuição de tensões durante a expansão maxilar dentoalveolar bilateral posterior. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo, por meio da aplicação do método de elementos finitos, analisar e comparar a distribuição de forças no osso maxilar, nos dentes e no ligamento periodontal entre os grupos de alinhadores e aparelhos fixos; identificar os padrões de deslocamento dentário e de tensão nas diferentes estruturas anatômicas; avaliar as diferenças biomecânicas entre os tratamentos com alinhadores e aparelhos fixos, destacando as implicações clínicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Modelagem

O presente estudo utilizou modelos tridimensionais (3D) de maxilas contendo todos os dentes até o segundo molar. A criação dos modelos foi realizada por meio dos softwares *InVesalius*, *MeshMixer* e *SpaceClaim*, garantindo precisão na representação anatômica. Os ligamentos periodontais (PDLs) foram modelados como uma camada com espessura de 0,25 mm ao redor das raízes de todos os dentes seguindo protocolos estabelecidos na literatura¹⁰ (Figura 1).

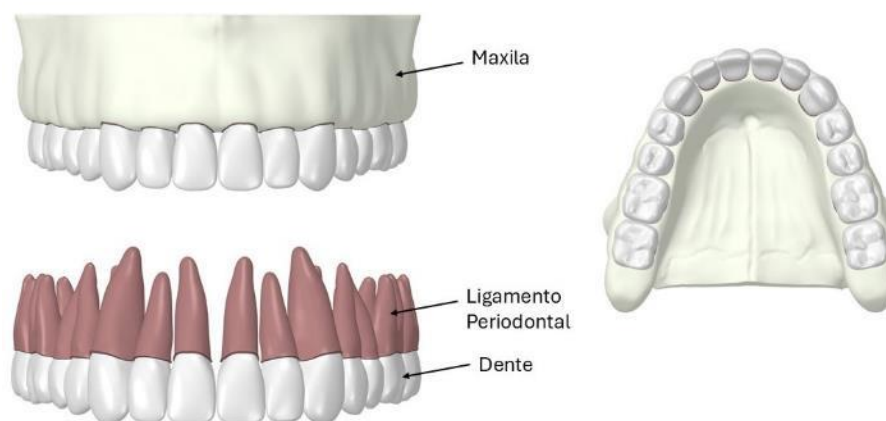


Figura 1 – Diferentes visões do modelo 3D de maxila com todos os dentes até o 2º molar

Os alinhadores foram modelados utilizando o software *MeshMixer*. A geometria do alinhador foi desenvolvida com base na superfície dos dentes, simulando o processo de termoformação. Para isso, o alinhador foi ajustado para se adaptar perfeitamente à superfície dentária, criando uma camada que envolve todos os dentes, à qual foi adicionada uma espessura uniforme de 0,75 mm¹¹ (Figura 2A). Por sua vez, os aparelhos fixos foram modelados posicionando os braquetes no centro de cada dente, de acordo com protocolos ortodônticos convencionais (Figura 2B).

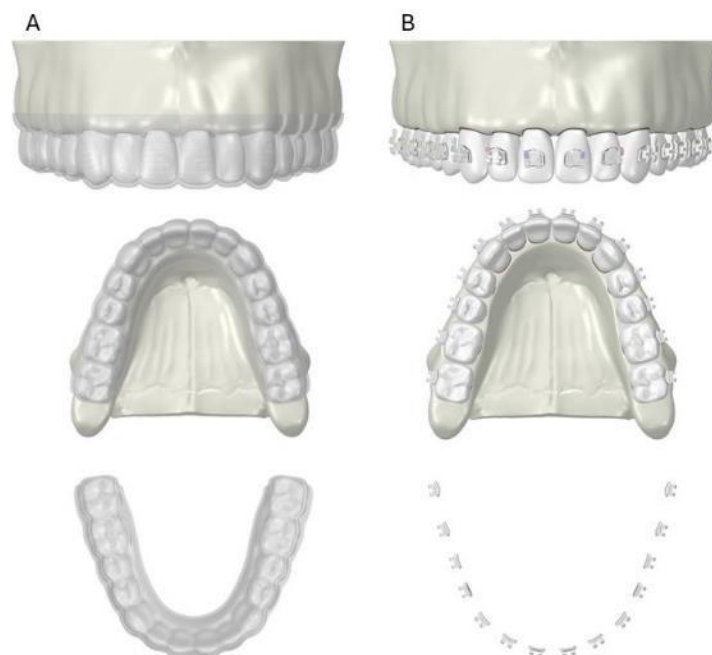


Figura 2 – Diferentes visões do modelo 3D do (A) Grupo 1 e (B) Grupo 2.

De acordo com a indicação padrão do fabricante ClearCorrect, a expansão máxima 0,2 mm foi definida por passo do alinhador. Dessa forma, a FEA foi conduzida em duas configurações diferentes:

Grupo 1: Expansão dentoalveolar com alinhadores. A expansão simula o primeiro passo do tratamento, com os dentes se expandindo 0,2 mm da posição original (Figura 3A).

Grupo 2: Expansão dentoalveolar com aparelho fixo. Expansão de 0,2 mm da posição original para ser comparável à expansão do grupo 1 (Figura 3B).

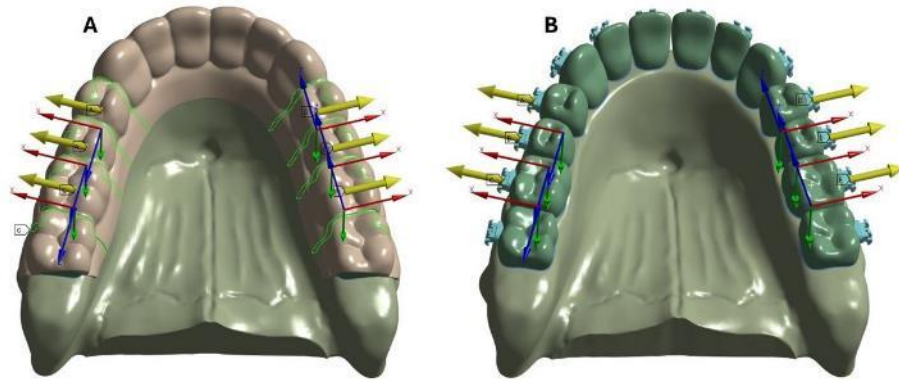


Figura 3 - Deslocamento de 0,2 mm na região de dentes pré-molares e primeiro molar no (A) Grupo 1 e (B) Grupo 2.

Análise FEA

Os modelos previamente construídos usando software CAD foram processados e exportados para o software de elementos finitos (ANSYS 2022, Workbench, Canonsburg, PA, EUA). A Análise de Elementos Finitos foi realizada considerando a aplicação dos mesmos movimentos dentários para análise de alinhadores e brackets para avaliar as tensões no osso, ligamentos periodontais e dentes. Como o objetivo do estudo foi avaliar as tensões resultantes do deslocamento, não foi aplicada força durante a análise de elementos finitos e sim o deslocamento de 0,2 mm.

Os modelos matemáticos foram formados pela divisão de modelos geométricos em pedaços simples e pequenos chamados malhas. No total, 448.475 nós e 2.259.138 elementos tetraédricos foram criados no grupo 1 e 423.356 nós e 2.154.351 elementos tetraédricos no grupo 2.

As propriedades mecânicas de cada componente utilizado no presente estudo foram definidas com base na literatura (Tabela 1). As propriedades necessárias foram o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson de cada material, assumindo um comportamento mecânico isotrópico, homogêneo e linearmente elástico.

Tabela 1 – Propriedade dos materiais

Material	Modulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Referência
Dentes	$19,6 \times 10^3$	0,30	Jiang et al. ¹⁰
Ligamento periodontal	0,69	0,45	Inan & Gonca ¹²
Osso	$1,37 \times 10^3$	0,30	Jiang et al. ¹⁰
Alinhador	816,31	0,30	Meng et al. ¹³
Braquetes	210×10^3	0,45	Shyagali et al. ¹⁴

Um contato do tipo *frictional* com um coeficiente de atrito de 0,2(10) foi determinado para a interface entre o alinhador e o dente. O contato do tipo *bonded* foi usado para todas as outras interfaces (Figura 4).

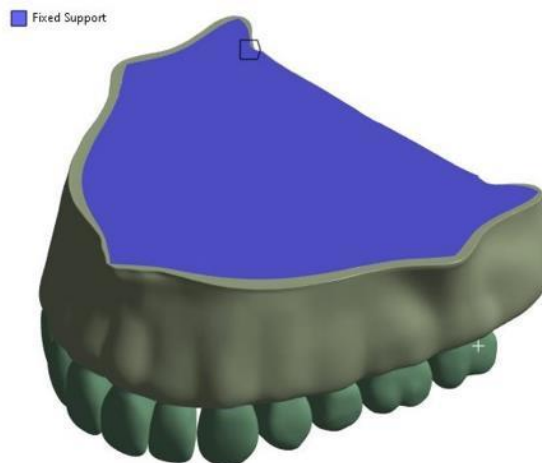


Figura 4 - Áreas de fixação que representam conexões fixas e restritas, que estabilizam o modelo durante a aplicação de forças.

RESULTADOS

O uso de elementos finitos permite a avaliação do deslocamento e tensões no osso da maxila, nos dentes e ligamento periodontal quando um passo da expansão maxilar bilateral posterior é simulada. A tensão de Von Mises representa as tensões transmitidas aos materiais. Esta medida é uma ferramenta teórica usada em engenharia para avaliar o estado de tensão em materiais submetidos a forças externas.

Avaliou-se deslocamento e tensões no osso maxilar. O deslocamento (A remodelação do processo alveolar)) atingiu pico de 0,0399 mm no Grupo 1 e 0,0930 mm no Grupo 2 (Figura 5). Já com relação à distribuição de tensões, um pico de 3,4814 MPa foi atingido no Grupo 1 na região vestibular no primeiro molar e 9,1921 MPa no Grupo 2 com a distribuição de forças concentradas na região vestibular e no palato (Figura 6).

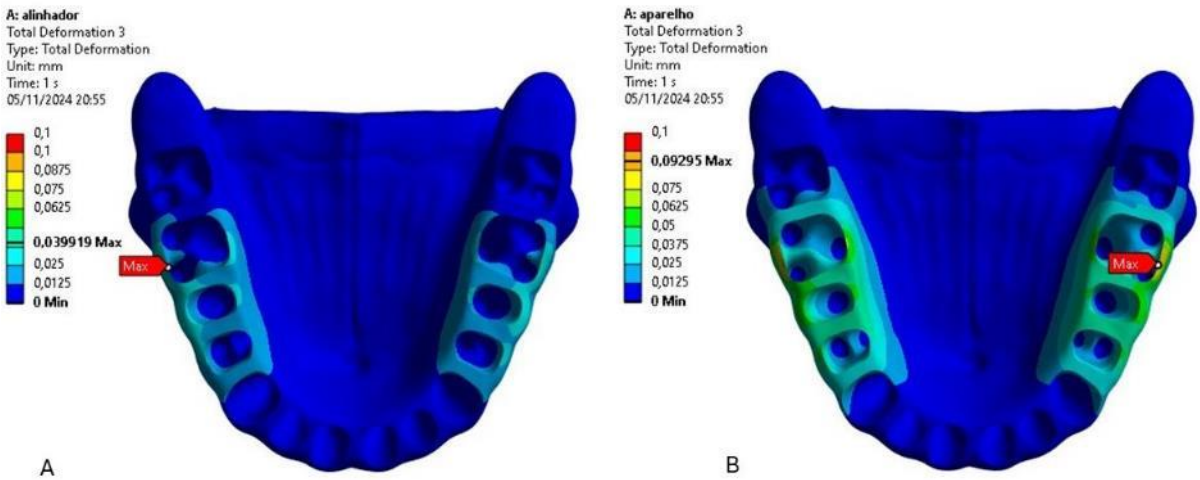


Figura 5 – Deslocamento no osso maxilar durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

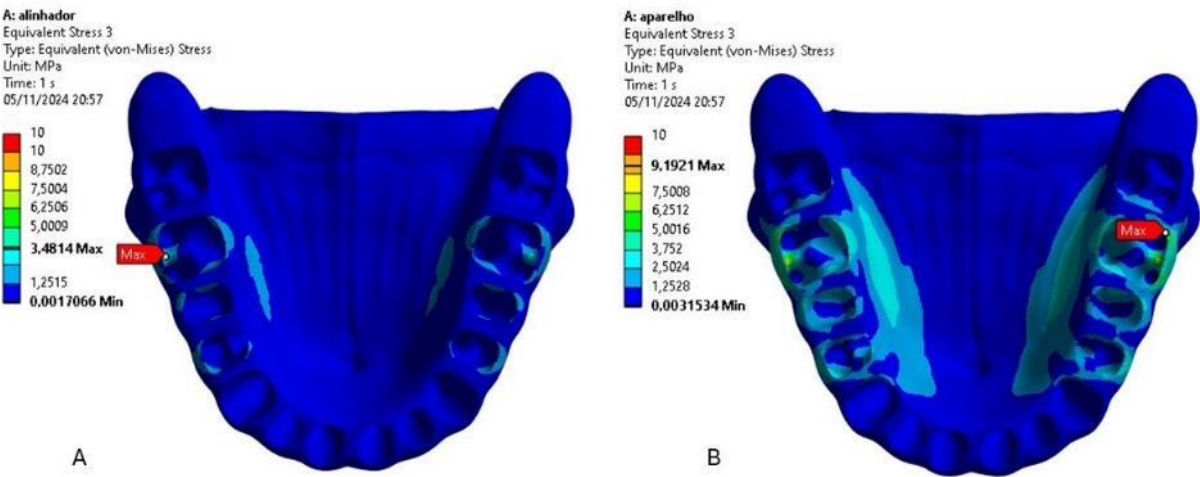


Figura 6 – Distribuição de forças no osso maxilar durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

Atingiu-se um deslocamento máximo nos dentes de 0,2574 mm no Grupo 1 e 0,2646 mm no Grupo 2 (Figura 7). A distribuição de tensões no grupo 1 atingiu um pico de 9,2874 MPa localizado na face lingual do primeiro pré-molar e maiores tensões localizadas nas raízes. Já no Grupo 2, atingiu 40,7780 MPa com tensões distribuídas na face vestibular dos três dentes avaliados, na região de localização dos brackets (Figura 8).

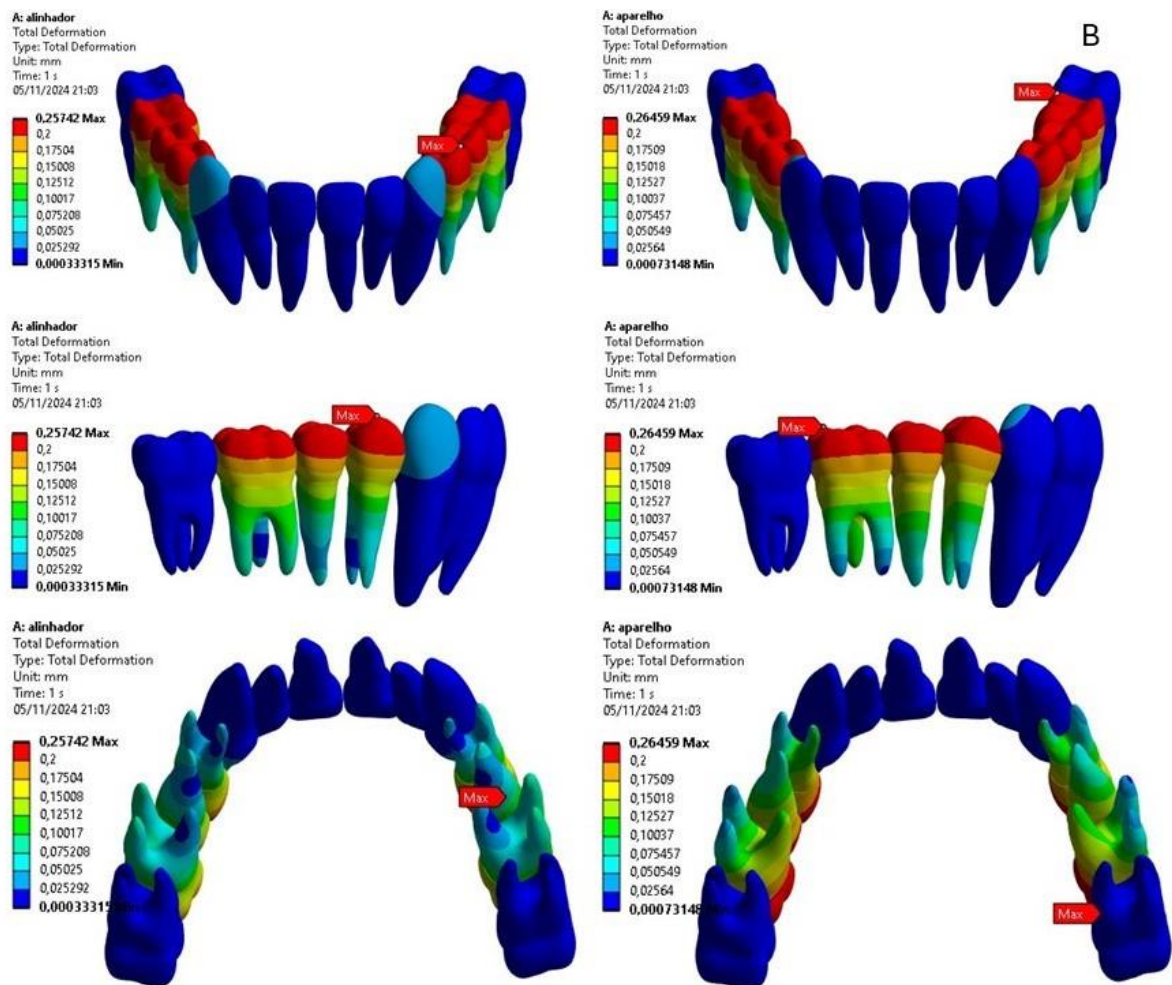


Figura 7 - Deslocamento em diferentes visões nos dentes durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

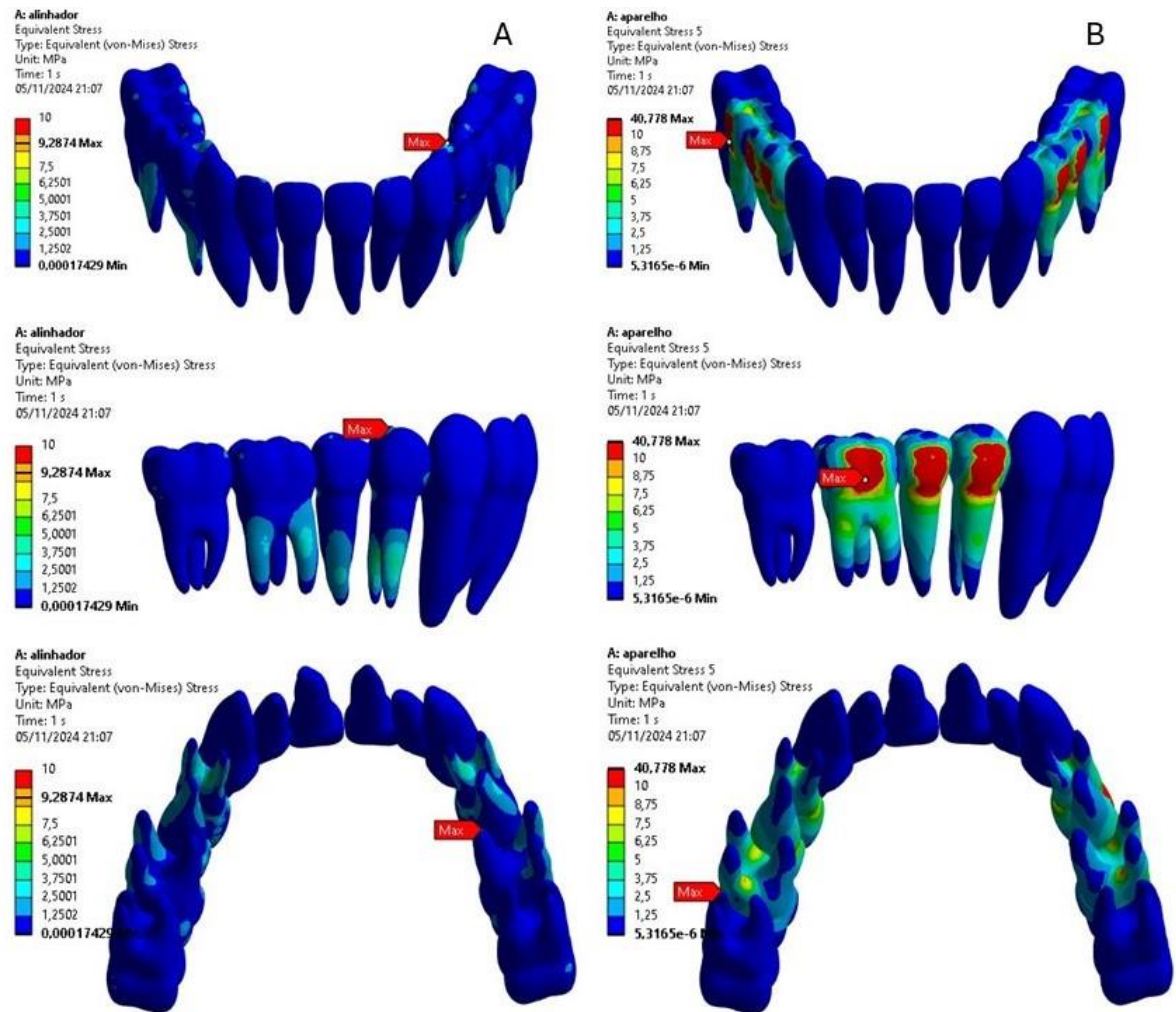


Figura 8 - Distribuição de forças em diferentes visões dos dentes durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

Ao analisar especificamente as raízes dos dentes, um pico de 6,1178 MPa de tensão foi atingido no Grupo 1 as maiores tensões localizadas na região mesio-inferior das raízes dos três dentes com tensões maiores no primeiro pré-molar e 14,8410 MPa no Grupo 2 com tensões distribuídas nas faces vestibulares dos pré-molares e molares mais localizadas na região mesio-superior das raízes (Figura 9).

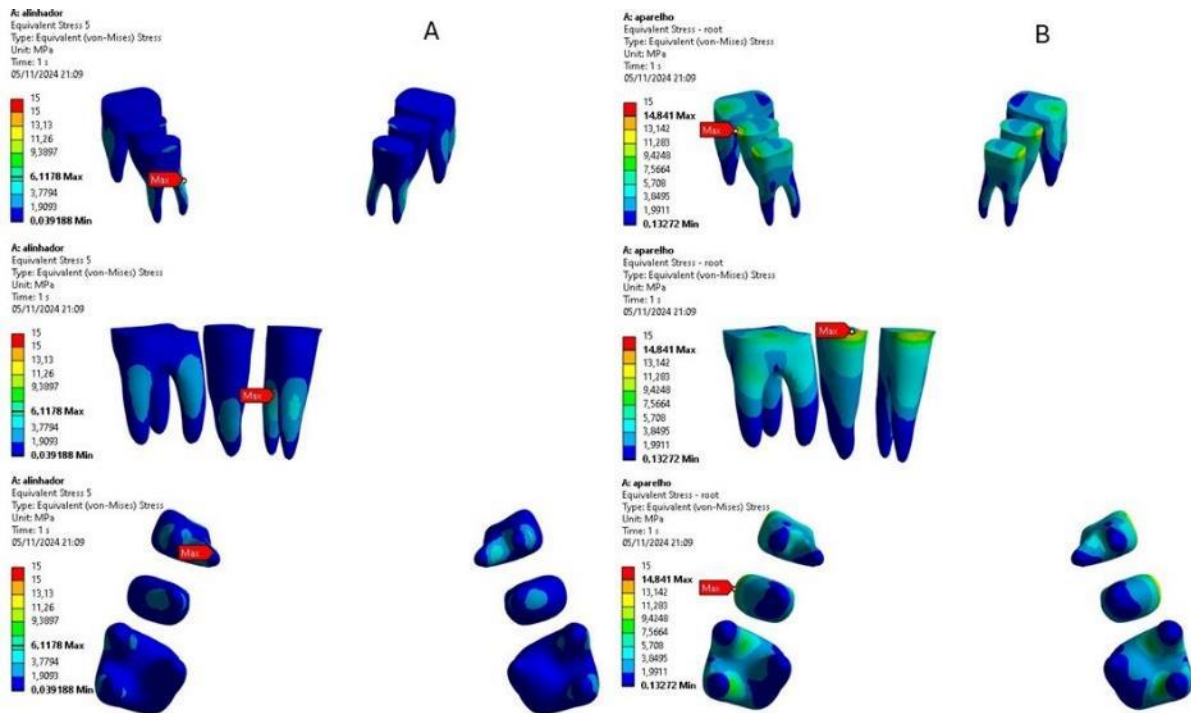


Figura 9 - Distribuição de forças em diferentes visões das raízes dos dentes durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores menores. (A) Grupo 1. (B) Grupo 2.

Com relação à distribuição de forças no ligamento periodontal, um pico de 0,2133 MPa foi atingido no Grupo 1 localizado na região vestibular do primeiro molar próximo à região da coroa. No Grupo 2, as forças foram distribuídas de maneira semelhante com tensões maiores próximo a coroa com pico de 0,2578 MPa (Figura 10).

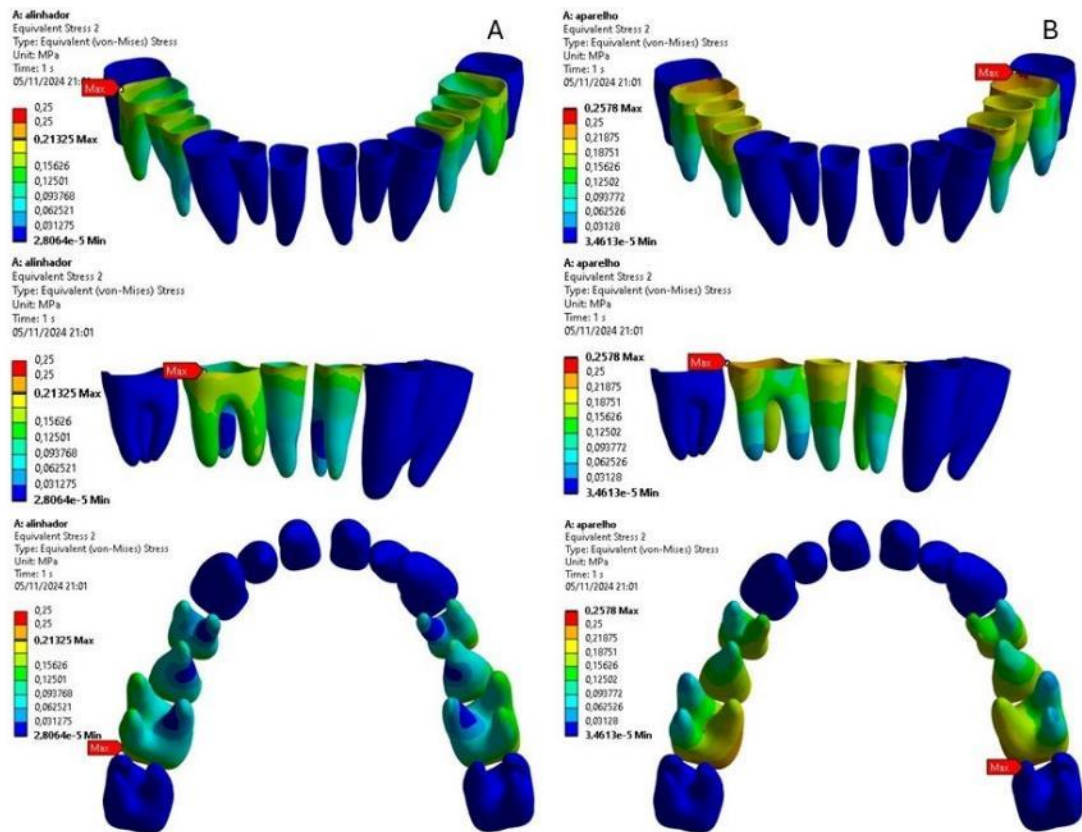


Figura 10 - Distribuição de forças em diferentes visões do ligamento periodontal durante a expansão maxilar. As áreas vermelhas significam valores maiores e as áreas azuis valores

As tensões máximas de von Mises em cada elemento do modelo estão descritas na Tabela 1. No geral tensões maiores foram encontradas em todos os elementos do modelo correspondente ao grupo com aparelho fixo (grupo 2) do que no modelo correspondente ao grupo com alinhador (grupo 1). Em relação ao elemento que sofre maior tensão, os dentes sofrem tensões muito superiores ao osso da maxila e ligamento periodontal.

Tabela 1 - Tensões máximas de von Mises para cada componente do modelo (MPa)

Grupo 1 – Tensões (MPa)				
Região	Maxila	Ligamento periodontal	Dente	Raíz
1º Pré-molar	2,144	0,213	9,287	6,118
2º Pré-molar	2,474	0,203	5,130	3,059
1º Molar	3,481	0,189	4,396	2,955

Geral	3,481	0,213	9,287	6,118
Grupo 2 – Tensões (MPa)				
Região	Maxila	Ligamento periodontal	Dente	Raíz
1º Pré-molar	3,761	0,242	30,773	12,114
2º Pré-molar	4,016	0,221	31,580	14,841
1º Molar	9,192	0,258	40,778	9,998
Geral	9,192	0,258	40,778	14,841

DISCUSSÃO

Com o aumento da demanda pelo uso de alinhadores no tratamento de más oclusões, compreender a biomecânica envolvida na expansão maxilar e compará-la com os aparelhos fixos tradicionais é essencial para o planejamento clínico. A análise por elementos finitos (FEA) é amplamente utilizada na odontologia, especialmente na ortodontia, e se destaca como uma ferramenta valiosa para estudar a biomecânica de sistemas complexos.

Os dispositivos tradicionais de expansão dentoalveolar promovem a expansão do arco superior principalmente por meio de uma maior inclinação vestibular dos dentes posteriores, seguida de remodelação óssea¹⁵. Este comportamento biomecânico foi refletido nos resultados deste estudo, onde as tensões observadas no osso maxilar foram significativamente inferiores às tensões nos dentes, explicadas pela simulação de uma etapa inicial da expansão. Observou-se ainda que o deslocamento e as tensões na maxila foram menores no grupo de alinhadores em comparação ao grupo de aparelho fixo, sugerindo que a remodelação óssea ocorre de maneira mais expressiva e rápida no tratamento com aparelho fixo.

A distribuição de tensões, representada pelas tensões de von Mises, foi analisada nos dentes em ambos os tratamentos. Nos aparelhos fixos, as tensões são concentradas em pontos específicos dos dentes devido à interação entre os brackets e o fio ortodôntico¹⁰. Isso foi

confirmado neste estudo, onde tensões mais elevadas foram observadas na região dos brackets em todos os dentes movimentados. Em contraste, no grupo de alinhadores, a distribuição de tensões foi mais difusa, com maior intensidade nas raízes e alguns pontos de tensão máxima na coroa. Já nos aparelhos fixos, as tensões foram distribuídas ao longo de toda a extensão dos dentes, com picos na região dos brackets.

A magnitude e a distribuição das forças são fatores determinantes para as movimentações ortodônticas. Forças aplicadas na coroa dentária podem ser propagadas para os tecidos circundantes, incluindo o ligamento periodontal, desencadeando remodelação óssea ou, em alguns casos, reabsorção radicular¹⁶. A literatura aponta que a reabsorção radicular ocorre em até 91% dos casos de tratamentos ortodônticos, sendo mais comum em dentes como os incisivos centrais superiores¹⁷. Os resultados deste estudo indicam que o grupo de alinhadores apresentou menor distribuição de tensões nas raízes, o que pode favorecer a redução ou prevenção da reabsorção radicular em comparação ao grupo de aparelhos fixos.

Segundo Liu et al.¹⁸, forças acima de 0,0047 MPa no ligamento periodontal aumentam o risco de reabsorção. Neste estudo, foram observadas forças variando entre 0,189 MPa e 0,258 MPa, valores que excedem este limite teórico. Contudo, é importante considerar que os dados apresentados representam forças iniciais, e o tratamento ortodôntico é um processo dinâmico. Estudos como o de Lombardo et al.¹⁹ destacam que, após o estresse inicial, ocorre um relaxamento progressivo das forças exercidas pelos alinhadores, o que pode reduzir o risco de reabsorção ao longo do tempo. Assim, os valores apresentados neste estudo não devem ser interpretados como preditivos de reabsorção radicular sem uma análise longitudinal.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se o fato de a análise ter sido realizada em um conjunto limitado de dentes (pré-molares e primeiro molar). No entanto, esse modelo foi projetado para garantir a comparabilidade entre os dois grupos utilizando métodos

padronizados. Além disso, os efeitos acumulativos de múltiplas etapas de tratamento com alinhadores não foram considerados. Por fim, a análise por elementos finitos é uma simulação que simplifica o sistema real; portanto, a correlação com achados clínicos é fundamental e será explorada em estudos futuros.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que tanto os alinhadores quanto os aparelhos fixos são eficazes na promoção da expansão maxilar bilateral posterior, porém apresentam diferenças em seus padrões biomecânicos. Os aparelhos fixos geraram maior deslocamento dentário e tensões mais elevadas no osso maxilar, nos dentes e no ligamento periodontal, com concentração de forças predominantemente na região dos brackets. Já os alinhadores apresentaram uma distribuição mais difusa das forças, com tensões menores nas raízes e no ligamento periodontal.

REFERÊNCIAS

1. Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, et al. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent*. 2020 Jun;21(2):115–22.
2. Schiffman PH, Tuncay OC. Maxillary expansion: a meta analysis. *Clin Orthod Res*. 2001;4(2):86–96.
3. Ugolini A, Agostino P, Silvestrini-Biavati A, Harrison JE, Batista KBSL. Orthodontic treatment for posterior crossbites. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2021;(12).
4. Rocha AS, Gonçalves M, Oliveira AC, Azevedo RMS, Pinho T. Efficiency and Predictability of Coronal Maxillary Expansion Repercussion with the Aligners System: A Retrospective Study. *Dent J (Basel)*. 2023;11(11):258.
5. Vidal-Bernárdez ML, Vilches-Arenas Á, Sonnemberg B, Solano-Reina E, Solano-Mendoza B. Efficacy and predictability of maxillary and mandibular expansion with the Invisalign® system. *J Clin Exp Dent*. 2021;13(7):e669.
6. Atik E, Taner T. Stability comparison of two different dentoalveolar expansion treatment protocols. *Dental Press J Orthod*. 2017;22:75–82.

7. Atik E, Akarsu-Guven B, Kocadereli I, Ciger S. Evaluation of maxillary arch dimensional and inclination changes with self-ligating and conventional brackets using broad archwires. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149(6):830–7.
8. Pandis N, Polychronopoulou A, Makou M, Eliades T. Mandibular dental arch changes associated with treatment of crowding using self-ligating and conventional brackets. *The European Journal of Orthodontics*. 2010;32(3):248–53.
9. Ulusoy Ç, Dogan M. A new method for the treatment of unilateral posterior cross-bite: a three-dimensional finite element stress analysis study. *Prog Orthod*. 2018;19:1–9.
10. Jiang T, Wu RY, Wang JK, Wang HH, Tang GH. Clear aligners for maxillary anterior en masse retraction: a 3D finite element study. *Sci Rep*. 2020;10(1):10156.
11. Golkhani B, Weber A, Keilig L, Reimann S, Bourauel C. Variation of the modulus of elasticity of aligner foil sheet materials due to thermoforming. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2022;83(4):233–43.
12. Inan A, Gonca M. Effects of aligner activation and power arm length and material on canine displacement and periodontal ligament stress: a finite element analysis. *Prog Orthod*. 2023;24(1):40.
13. Meng X, Wang C, Xu W, Wang R, Zheng L, Wang C, et al. Effects of different designs of orthodontic clear aligners on the maxillary central incisors in the tooth extraction cases: a biomechanical study. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):416.
14. Shyagali TR, Bhayya DP, Urs CB, Subramaniam S. Finite element study on modification of bracket base and its effects on bond strength. *Dental Press J Orthod*. 2015;20(2):76–82.
15. Lione R, Paoloni V, Bartolommei L, Gazzani F, Meuli S, Pavoni C, et al. Maxillary arch development with Invisalign system: Analysis of expansion dental movements on digital dental casts. *Angle Orthod*. 2021;91(4):433–40.
16. Wu J lei, Liu Y feng, Peng W, Dong H yue, Zhang J xing. A biomechanical case study on the optimal orthodontic force on the maxillary canine tooth based on finite element analysis. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2018;19(7):535.
17. Liu L, Song Q, Zhou J, Kuang Q, Yan X, Zhang X, et al. The effects of aligner overtreatment on torque control and intrusion of incisors for anterior retraction with clear aligners: a finite-element study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2022;162(1):33–41.
18. Liu X, Cheng Y, Qin W, Fang S, Wang W, Ma Y, et al. Effects of upper-molar distalization using clear aligners in combination with Class II elastics: a three-dimensional finite element analysis. *BMC Oral Health*. 2022;22(1):546.
19. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthod*. 2016;87(1):11–8.

2. Artigo científico 2

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico **Revista Gaúcha de Odontologia**.

GUIDED SURGERY BIMAXILLARY REHABILITATION WITH REDUCED INTERMAXILLARY PROSTHETIC SPACE: A CASE REPORT

Thiago Tatim. Department of Implantology, Ilapeo College, Curitiba, Paraná, Brazil; R. Jacarezinho, 656 - Mercês, Curitiba - PR, 80710-150; thititim@hotmail.com.

Lisandra Lopez Comparing. Department of Implantology, Ilapeo College, Curitiba, Paraná, Brazil; R. Jacarezinho, 656 - Mercês, Curitiba - PR, 80710-150; lizandracomparin@icloud.

Gizelli de Souza Dall Agnol. Department of Implantology, Ilapeo College, Curitiba, Paraná, Brazil; R. Jacarezinho, 656 - Mercês, Curitiba - PR, 80710-150; gizelli.souza@gmail.com.

Rogéria Acedo Vieira. Department of Implantology, Ilapeo College, Curitiba, Paraná, Brazil; R. Jacarezinho, 656 - Mercês, Curitiba - PR, 80710-150; rogeria.acedo@gmail.com.

Ricarda Duarte da Silva. Department of Implantology, Ilapeo College, Curitiba, Paraná, Brazil; R. Jacarezinho, 656 - Mercês, Curitiba - PR, 80710-150; chubbakashitzu@gmail.com.

Correspondent author: Thiago Tatim; Rua Jacarezinho 656, Curitiba, Paraná, Brazil, Zip code: 80810-130; email: thititim@hotmail.com

RESUMO

Este relato de caso tem como objetivo descrever um caso clínico de um paciente de 65 anos com espaço intermaxilar reduzido, no qual foi realizada a reabilitação bimaxilar de arco completo assistida virtualmente. Para tanto foram utilizados como meios de diagnóstico e planejamento tomografias, telerradiografias, fotografias e modelos. Guias cirúrgicos foram confeccionados a partir de um planejamento virtual. Foram instalados seis implantes Grand Morse Helix Acqua na maxila e na mandíbula foi realizada osteotomia e instalados quatro implantes Grand Morse Helix Acqua (Neodent, Curitiba, Brasil). Como consideração final pode-se afirmar que a reabilitação bimaxilar é um desafio, porém quando realizado um planejamento virtual este desafio poder ser bem sucedido.

Palavras-chave: Cirurgia guiada; Espaço protético; Osteotomia.

ABSTRACT

This case report aims to describe the clinical case of a 65-year-old patient with a reduced intermaxillary space, in which virtual-assisted bimaxillary full-arch rehabilitation was performed. To this end, diagnostic and planning methods were employed, including tomography, cephalometric radiographs, photographs, and impressions. Surgical guides were fabricated based on virtual planning. Six Grand

Morse Helix Acqua implants were installed in the maxilla, and osteotomy was performed in the mandible, followed by the installation of four Grand Morse Helix Acqua implants (Neodent, Curitiba, Brazil). In conclusion, it can be stated that bimaxillary rehabilitation represents a challenge; however, with the implementation of adequate virtual planning, this challenge can be successfully overcome.

Keywords: Guided surgery; Prosthetic space; Osteotomy.

INTRODUCTION

Implant-supported prosthetic rehabilitation presents a challenge in adequately reconstructing aesthetics and functionality^{1,2}. These challenges are related to bone quality, the availability of bone tissue, and the severity of bone resorption in the anteroposterior and transverse directions. In some cases, there is no space between the arches, requiring an increase of vertical dimension of occlusion (VDO) through osteotomy to install the prosthesis³.

One option that makes rehabilitation more predictable is the use of guided surgeries. Guided surgery was introduced in the late 1990s, and due to technological advancements, your use has increased, allowing implants to be inserted predictably and safely after a digital analysis of the alveolar bone⁴. This approach has become an ally in cases of needing osteotomy to obtain more prosthetic space⁵⁻⁷.

This case report aims to present a guided surgery bimaxillary rehabilitation case in a patient with reduced VDO.

CASE REPORT

A 65-year-old male patient with no systemic changes and total upper and lower edentulous presented to the clinic for bimaxillary rehabilitation. The patient reported that three years ago, he had undergone an extraction of all his teeth, and during this period, he did not use any upper or lower dentures. The primary patient's complaint was difficulty in speaking and chewing.

For treatment planning, an intra-oral clinical examination, photographic recording, study molding, and tomographic examination were carried out (Figure 1).



Figure 1 – (A) Frontal extraoral view. (B) Intraoral view. (C) Patient's smile line.

The virtual treatment plan was performed in CoDiagnostiX (Dental Wings GmbH, Chemnitz, Germany) using NeoGuide Surgery (NGS) (Neodent, Curitiba, Brazil). Six implants were planned in the maxilla and four in the mandible (Figure 2). Upper and lower implant-supported full-arch prostheses in acrylic resin were proposed.

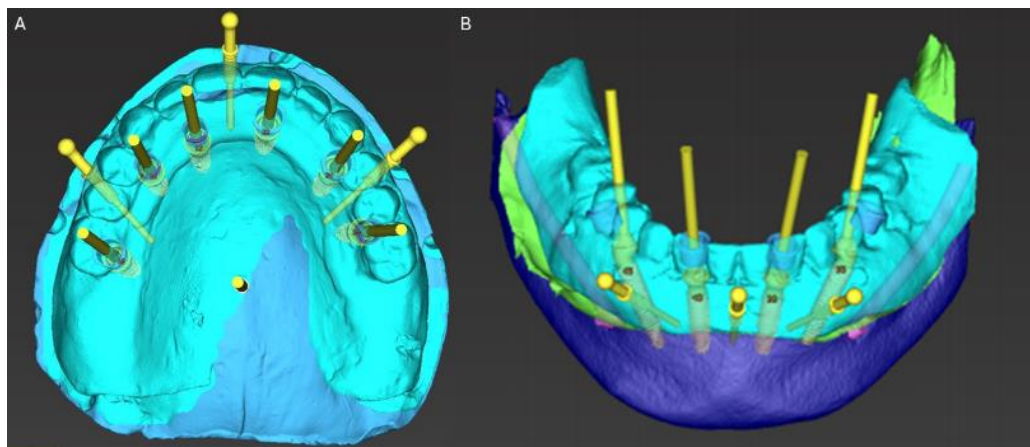


Figure 2 – Virtual planning of (A) maxilla and (B) mandible rehabilitation.

A multifunctional and tomographic guide was manufactured. With the aid of the multifunctional guide, the vertical dimension of occlusion (VDO) was verified, and a lack of bone availability, mainly in the anterior region of the mandible, was observed (Figure 3). An

osteotomy of the alveolar process was indicated to obtain intermaxillary space to adjust the VDO.

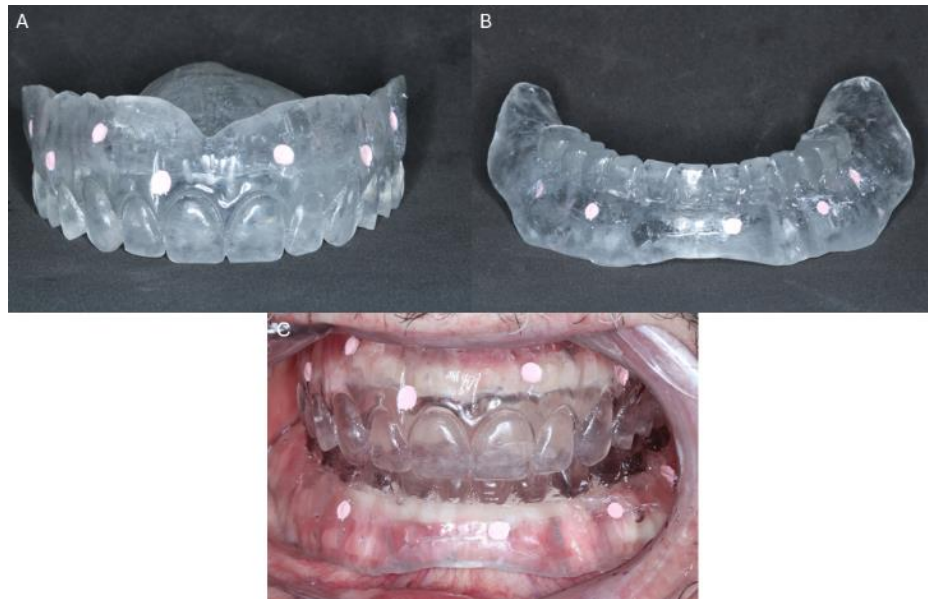


Figure 3 – (A) Multifunctional and tomographic guide for (A) maxilla and (B) mandible. (C) Check the VDO with the aid of the multifunctional guide.

The teleradiography was evaluated to analyze the amount of osteotomy to be performed.

A plane was drawn from the labial-mental groove in the insertion of the buccal muscle, and a 7.4 mm measurement was defined (Figure 4), which posteriorly coincided with the clinical measurement.



Figure 4 – Teleradiography showing the plane drawn and the measurements.

The patient underwent the surgical procedure under local anesthesia by blocking the posterior, anterior, and middle superior alveolar nerves. Infiltrative anesthesia of the nasopalatine and greater palatine nerves was performed in the palate with mepivacaine HCL 2% with epinephrine 1/100,000. The surgical guide was well adapted to the maxilla and was fixed with a screw in the palate and three pins in the vestibular region of the ridge (Figure 5A) for better stability. Six Grand Morse Helix Acqua implants were installed in the maxilla (Neodent, Curitiba, Brazil) (Figure 5B): one 4.3x13 mm implant in region 16 (insertion torque of 45 N), one 3.5x13 mm implant in region 14 (insertion torque of 60 N), one 3.5 x 11.5 mm implant in region 12 (insertion torque of 50 N), one 4.0 x 13 mm implant in region 22 (insertion torque of 40 N), one 3.75 x 13 mm implant in region 24 (insertion torque of 60 N), and one 3.5 x 11.5 mm implant in region 26 (insertion torque of 45 N). One GM Mini Conical Abutment 2.5mm, two GM Mini Conical Abutment 3.5, two GM Mini Conical Abutment 5.5, and one GM Mini Conical Abutment 5.5 mm (Neodent, Curitiba, Brazil) were installed. The implants were installed without opening a flap, according to the previous planning and recommendations of the NGS manufacturer (Figure 5B). The surgical procedure was finished without complications.



Figure 5 – (A) Surgical guide well adapted to the maxilla with a screw in the palate and three pins in the vestibular region of the ridge for better stability. (B) Six Grand Morse Helix Acqua implants placed in the maxilla without opening a flap.

For mandible surgery, bilateral inferior alveolar nerve block and infiltration anesthesia were performed in the anteroinferior region. After adaptation of the surgical guide, the implant entry regions were marked with gentian violet to visualize the possibility of damage to the

inserted gingiva (Figure 6A). Then, a supracrestal incision was made with two posterior oblique incisions to relax and preserve the inserted gingiva (Figure 6B). The surgical guide was adapted again, and the first drilling was performed with the 2.0 drill to mark the implant site before the osteotomy (Figure 6C). The multifunctional guide was adapted to mark the osteotomy's height (7.49 mm), as previously defined by teleradiography and the multifunctional guide (Figure 6C and D). After removing the multifunctional guide, the osteotomy was performed with the aid of the CVDentus piezoelectric (CVDentus, São Jose dos Campos, Brazil) (Figure 7).

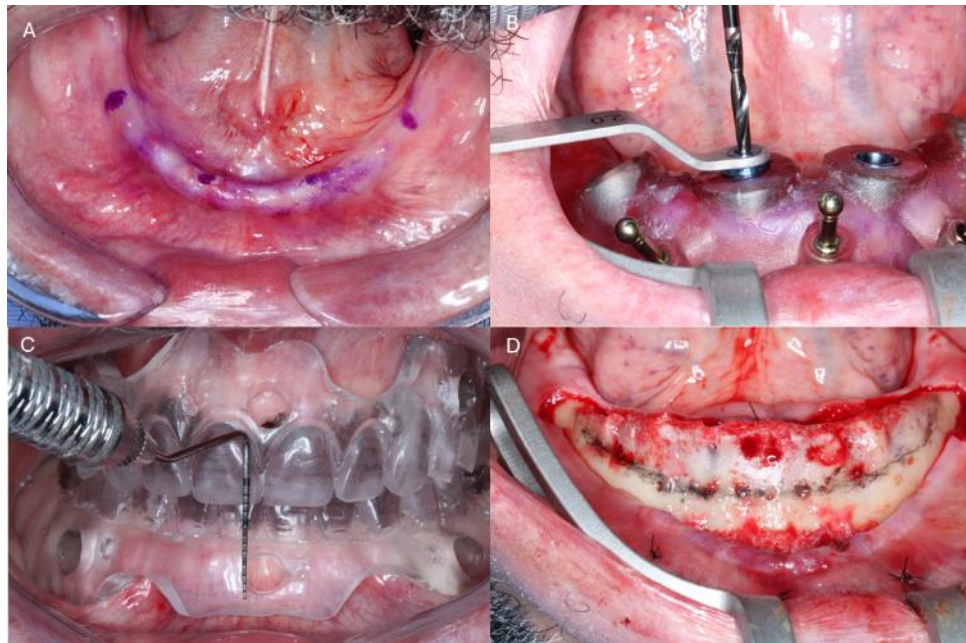


Figure 6 – (A) Markings with gentian violet in the implant entry regions. (B) First milling performed with the 2.0 drill to mark the implant site before the osteotomy. (C) Adaptation of the multifunctional guide to confirm the osteotomy height. (D) Marking of the osteotomy height (7.49 mm) previously defined by teleradiography.



Figure 7 – Osteotomy process with the aid of electric piezo before the installation of implants in the mandible.

After osteotomy and regularization of the ridge, four Grand Morse Helix Acqua (Neodent, Curitiba, Brazil) implants were placed according to the manufacturer's drilling recommendations, one 3.75 x 10 mm implant in region 33 (insertion torque of 60 N.cm), one 3.75 x 10 mm implant in region 35 (insertion torque of 35 N.cm), one 3.75 x 11.5 mm implant in region 45 (insertion torque of 60 N.cm) and one 3.75 x 10 mm implant in region 43 (insertion torque of 60 N.cm). Two GM Mini Conical Abutment 1.5 mm, one Angled 17 GM Mini Conical Abutment 1.5mm, and one Angled 17 GM Mini Conical Abutment 2.5mm (Neodent, Curitiba, Brazil) were installed (Figure 8).

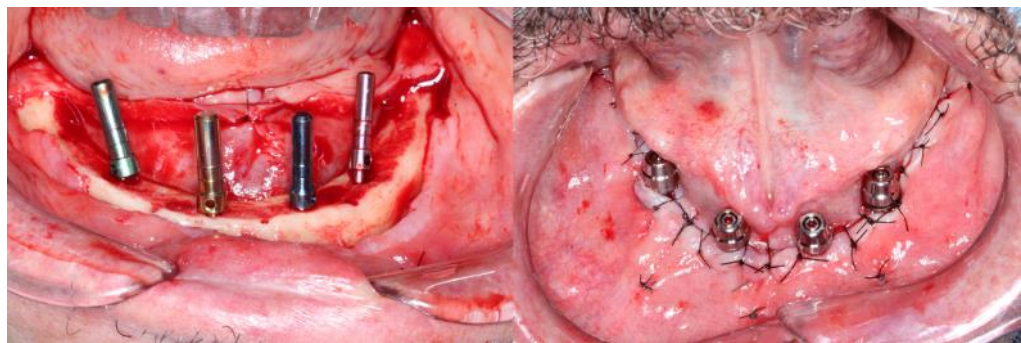


Figure 8 - Four Grand Morse Helix Acqua implants placed in the mandible.

Immediately after surgery, a transfer mold was taken with a bimaxillary multifunctional guide, the teeth were tested, and 15 days after the surgical procedure, with approval, the definitive prosthesis was installed in the mandible and 60 days in the maxilla (Figure 9A and B). Following the installation of the prosthesis, a panoramic X-ray was performed (Figure 9C), and the patient was monitored every three months for one year. No biological or mechanical complications occurred during the follow-up period.



Figure 9 – (A) Definitive prostheses installed; (B) Final smile appearance after installation of the definitive prostheses. (C) Panoramic X-ray taken after prostheses installation.

DISCUSSION

Bimaxillary full-arch rehabilitation with fixed prostheses is often accompanied by bone reduction⁸. Bone leveling of the alveolar socket creates a new alveolar plane, offering several advantages to the surgical and prosthetic teams, including determining optimal sites for implant placement⁸.

A clear acrylic reduction guide ensures adequate restorative space for the prosthetic components and titanium bar^{3,9}. The reduction guide improves implant placement in an area with mature bone, increasing the possibility of manufacturing a prosthesis that can be

effectively cleaned and sanitized. With adequate prosthetic space, acrylic resin can be used in the quantity indicated by the manufacturer to avoid prosthesis fractures and tooth loosening^{7,10}.

One of the most complex surgical errors to manage is insufficient space between the arches^{9,11}. Assertive results can be optimized with pre-surgical diagnosis and planning^{12,13}. In this reported case, an osteotomy in the mandible was performed to create a better area for implant installation in mature bone with adequate prosthesis thickness. This allowed for the creation of a prosthetic base with sufficient surface for cleaning, thus improving the health of the periodontium and gum adjacent to the prosthesis.

The increase of VDO can be performed to achieve specific goals, such as correcting the anterior tooth relationship, improving the maxillary lip, and providing greater interocclusal space for restorative materials¹⁴. After the VDO increases, the stomatognathic system rapidly adapts. The safer value to increase the VDO is 5 mm; however, an increase of more than 5 mm is not dangerous. Additionally, the VDO increase associated with fixed prostheses leads to less severe symptoms¹⁴. In this case report, we performed a VDO increase higher than 5 mm associated with a fixed prosthesis, and no symptoms were observed after one year of follow-up.

Ostectomy is performed to increase the intermaxillary space and can be performed freehand or guided^{15,16}. However, CAD/CAM-generated surgical guides are often used to prevent complications such as under-reduction or reduction of the alveolar ridge higher than necessary^{17,18}. In this case, an acrylic guide was used to aid in bone reduction and transfer the osteotomy measurement defined using teleradiography¹⁹.

The piezoelectric was used for osteotomy because it provides safer surgery with less tissue aggression, reduced bone repair time, and reduced bleeding. It optimizes precision in the selectivity of cutting hard tissues, reduces the possibility of necrosis, minimizes the risk of injuries to soft tissues, including vessels and nerves, and improves the patient's intraoperative

comfort²⁰⁻²². In opposition are rotary instruments, which increase tissue temperature, causing cell death, possible injuries to soft tissues, and longer tissue repair time²³.

Changing the interocclusal space is not an exact science; it depends on the clinician's evaluation, considering facial and dental esthetics. In our case, a new technique was used to plan the osteotomy performed before the surgery. Teleradiography, used to draw a plane from the labial-mental groove in the insertion of the buccal muscle, resulted in a perfect posteriorly quantity confirmed clinically during the surgery.

FINAL CONSIDERATIONS

Bimaxillary rehabilitation is a challenge that virtual planning can minimize. Mandibular alveolar ridge osteotomy becomes necessary whenever a lack of prosthetic space is identified and can be performed safely and predictably.

REFERENCES

1. Jensen J, Sindet-Pedersen S, Oliver AJ. Varying treatment strategies for reconstruction of maxillary atrophy with implants: results in 98 patients. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 1994;52(3):210-216.
2. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Brånemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg*. 1981;10(6):387-416.
3. Moraschini V, Poubel LA da C, Ferreira VF, dos Sp Barboza E. Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015;44(3):377-388.
4. Romandini M, Ruales-Carrera E, Sadilina S, Hämmerle CHF, Sanz M. Minimal invasiveness at dental implant placement: A systematic review with meta-analyses on flapless fully guided surgery. *Periodontol 2000*. 2023;91(1):89-112.
5. Malo P, de Araujo Nobre M, Lopes A. The use of computer-guided flapless implant surgery and four implants placed in immediate function to support a fixed denture: preliminary results after a mean follow-up period of thirteen months. *J Prosthet Dent*. 2007;97(6):S26-S34.

6. Johansson B, Friberg B, Nilson H. Digitally planned, immediately loaded dental implants with prefabricated prostheses in the reconstruction of edentulous maxillae: a 1-year prospective, multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2009;11(3):194-200.
7. Papaspyridakos P, Chen CJ, Chuang SK, Weber HP, Gallucci GO. A systematic review of biologic and technical complications with fixed implant rehabilitations for edentulous patients. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2012;27(1).
8. Bell WH, Buche WA, Kennedy JW, Ampil JP. Surgical correction of the atrophic alveolar ridge: A preliminary report on a new concept of treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1977;43(4):485-498.
9. Engstrand P, Grondahl K, Öhrnell L, Nilsson P, Nannmark U, Branemark P. Prospective follow-up study of 95 patients with edentulous mandibles treated according to the Branemark Novum concept. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2003;5(1):3-10.
10. Ventura J, Jiménez-Castellanos E, Romero J, Enrile F. Tooth fractures in fixed full-arch implant-supported acrylic resin prostheses: a retrospective clinical study. *Int J Prosthodont*. 2016;29(2):161-165.
11. Krennmair S, Weinländer M, Malek M, Forstner T, Krennmair G, Stimmelmayer M. Mandibular full-arch fixed prostheses supported on 4 implants with either axial or tilted distal implants: A 3-year prospective study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016;18(6):1119-1133.
12. Barndt P, Zhang H, Liu F. Immediate loading: from biology to biomechanics. Report of the Committee on Research in fixed Prosthodontics of the American Academy of fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*. 2015;113(2):96-107.
13. Schwarz F, Sanz-Martín I, Kern J, et al. Loading protocols and implant supported restorations proposed for the rehabilitation of partially and fully edentulous jaws. Camlog Foundation Consensus Report. *Clin Oral Implants Res*. 2016;27(8):988-992.
14. Yadfout A, El Aoud J, Merzouk N, Slaoui Hasnaoui J. Increasing Vertical Dimension of Occlusion (VDO). *Clin Cosmet Investig Dent*. Published online 2024:135-142.
15. Friberg B, Henningsson C, Jemt T. Rehabilitation of edentulous mandibles by means of turned Brånemark System® implants after one-stage surgery: a 1-year retrospective study of 152 patients. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2005;7(1):1-9.
16. Colomina LE. Immediate loading of implant-fixed mandibular prostheses: a prospective 18-month follow-up clinical study—preliminary report. *Implant Dent*. 2001;10(1):23-29.
17. Katsoulis J, Pazera P, Mericske-Stern R. Prosthetically driven, computer-guided implant planning for the edentulous maxilla: a model study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2009;11(3):238-245.
18. Salama MA, Pozzi A, Clark WA, Tadros M, Hansson L, Adar P. The “scaloped guide”: a proof-of-concept technique for a digitally streamlined, pink-free full-arch implant protocol. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018;38(6):791-798.

19. Jensen OT, Adams MW, Cottam JR, Parel SM, Phillips III WR. The All-on-4 shelf: maxilla. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;68(10):2520-2527.
20. Rullo R, Addabbo F, Papaccio G, D'Aquino R, Festa VM. Piezoelectric device vs. conventional rotative instruments in impacted third molar surgery: relationships between surgical difficulty and postoperative pain with histological evaluations. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2013;41(2):e33-e38.
21. Rahnama M, Czupkałło Ł, Czajkowski L, Grasz J, Wallner J. The use of piezosurgery as an alternative method of minimally invasive surgery in the authors' experience. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*. 2013;8(4):321-326.
22. Paruk F, Chausse JM. Monitoring the post surgery inflammatory host response. *Journal of Emergency and Critical Care Medicine*. 2019;3.
23. Grecchi F, Zollino I, Parafioriti A, Mineo G, Pricolo A, Carinci F. One-step oral rehabilitation by means of implants' insertion, Le Fort I, grafts, and immediate loading. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2009;20(6):2205-2210.