

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Faculdade de Odontologia

**ANÁLISE DE TENSÕES PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EM
IMPLANTES INCLINADOS INSTALADOS EM MAXILA**

MARÍLIA TORRES FRAGA

Belo Horizonte

2008

MARÍLIA TORRES FRAGA

**ANÁLISE DE TENSÕES PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EM
IMPLANTES INCLINADOS INSTALADOS EM MAXILA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração: Implantodontia

Orientador: Prof. Dr. Elton Gonçalves Zenóbio

Co-Orientador: Prof. Dr. José Alfredo Gomes de
Mendonça.

BELO HORIZONTE – MG

FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA PUC MINAS

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

F811a Fraga, Marília Torres
Análise de tensões pelo método de elementos finitos em implantes inclinados instalados em maxila / Marília Torres Fraga. Belo Horizonte, 2008.
44f. : il.

Orientador: Elton Gonçalves Zenóbio

Co-orientador: José Alfredo Gomes de Mendonça

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Bibliografia

1. Implantes dentários. 2. Implantes dentários osseointegrados. 3. Próteses e implantes. I. Zenóbio, Elton Gonçalves. II. Mendonça, José Alfredo Gomes de. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

CDU: 616.314-089.843

Elaborada pela bibliotecária Erica Fruk Guelfi CRB 6/2068

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família que soube compartilhar e apoiar todas as adversidades destes dois anos. Meu amor eterno Guilherme, Gabriel e Júlia.

Aos meus pais, Nair e José Geraldo, aos meus sogros, Penha e Gilberto, por suprir meus momentos de ausência.

Ao Dr. Ernani Tadeu de Souza pelo incentivo, amizade e os vários momentos de estudo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Elton Gonçalves Zenóbio, ao Co-orientador Prof. Dr. José Alfredo Gomes de Mendonça, ao Prof. Dr. Janes Landre e a acadêmica da Faculdade de Engenharia Luíza Randazzo Lopes, que tornaram possível a execução deste trabalho.

Às funcionárias, às secretárias e às bibliotecárias pela atenção, paciência e colaboração em todo período de convivência.

Aos professores do curso de Mestrado, pela competência e orientações durante o curso.

Aos colegas de Mestrado pela convivência e companheirismo. Em especial ao Prof. Dr. Juracy Corrêa da Silveira pela amizade, competência e dedicação ao ensino.

Ao Prof. Dr. Waldir Janson pelo exemplo de Mestre, incentivo profissional na minha iniciação em Implantodontia e sua incansável busca pelo saber.

Ao Prof. Dr. Marcos Dias Lanza pelas orientações na área de Prótese sobre Implante, pela sua notável habilidade em ensinar e agradável convivência durante o curso.

A Deus, pelo presente da vida.

A todos muito obrigada.

RESUMO

A reabilitação de maxila atrófica passa por uma gama de tratamentos complexos, para o restabelecimento da anatomia, prévio à reabilitação com implantes. Procedimentos mais conservadores, como a técnica All-on-4 (Nobel Biocare AB, Göteborg, Sweden), preconiza a instalação de quatro implantes com carga imediata em maxila atrófica, onde dois implantes são instalados paralelos na região anterior da maxila e dois implantes bilaterais inclinados 45°, ladeando a parede anterior do seio maxilar. Nesse trabalho foi criado pelo Método de Elementos Finitos (MEF) tridimensional (3D), um modelo de maxila edêntula obtida por meio de cortes axiais tomográficos de 2 mm de espessura (Picker, model PQ2000, Highlands Heights, OH, USA), digitalizados e transportados para o programa SolidWorks2008® (Santa Monica, CA, EUA). Posteriormente, desenhou-se um modelo de maxila e a partir da captura da imagem, foram criados três modelos. Nos três modelos foram instalados quatro implantes, sendo paralelos na região anterior da maxila (3,75X10mmMKIII, Nobel Biocare® AB, Göteborg, Sweden) e na região posterior, em cada estudo, os implantes apresentaram angulações diferentes, entretanto, mantendo o mesmo padrão e comprimento maior (3,75X15mm MKIII, Nobel Biocare®AB, Göteborg, Sweden). Assim, no primeiro modelo os implantes distais apresentaram uma inclinação de 45°, em relação ao plano oclusal, no sentido disto-mesial, ladeando a parede anterior do seio maxilar. Nos estudos 2 e 3 modificou-se a inclinação para 30° e 17°, respectivamente. Estes implantes suportaram uma barra metálica ligados por intermediários. Após a aplicação da carga vertical estática isolada sobre superfície oclusal na região posterior e anterior, na presença da carga lateral e na simulação do movimento de fechamento gerou-se uma malha sobre a qual incidiram-se cargas funcionais para avaliar as áreas com acúmulo de tensão. A análise dos resultados foi realizada por meio da interpretação qualitativa do gradiente de cores nas malhas geradas sobre os diferentes modelos. Por meio destes resultados avaliou-se onde houve acúmulo de tensão nos implantes com diferentes inclinações, mantendo o mesmo comprimento da barra e do cantiléver.

Concluiu-se que variando a inclinação dos implantes posteriores, esplintados por barra metálica, não houve comprometimento na distribuição e magnitude da tensão nos implantes.

Palavras Chave: Maxila atrófica. Elemento finito. Implante. Implante inclinado. All-on-4.

ABSTRACT

The rehabilitation of atrophic maxilla goes through a complex range of treatments for the restoration of anatomy, prior to rehabilitation with implants. More conservative procedures, as the All-on-4 technique (Nobel Biocare AB, Gothenburg, Sweden), highly recommend the installation of four implants with immediate load on atrophic maxilla, where two implants are installed parallel in the previous maxilla and two bilateral implants tilted 45 degrees, lining the anterior wall of the maxillary sinus. This study created, through the three-dimensional (3D) Finite Element Method (FEM), a model of atrophic maxilla obtained through a 2mm-thick axial tomography (Picker, model PQ2000, Heighlands Heights, OH, USA), digitized and transported to the SolidWorks 2008® program (Santa Monica, CA, EUA). Subsequently, it drew up a simplified model of the jaw, and from the capture of the image three models were created. In the three models, four implants were installed: two parallel implants (3.7510mm MKIII, Nobel Biocare ® AB, Gothenburg, Sweden) in the anterior region of the jaw and two in the back region. In each study, the implants showed different angles, however maintaining the same pattern, but with greater length (3.75 X15mm MKIII, Nobel Biocare ® AB, Gothenburg, Sweden). Thus, in the first model, the distal implants showed an inclination of 45 degrees in relation to the occlusal plane in the disto-mesial direction, lining the anterior wall of the maxillary sinus. In studies 2 and 3, the inclination to 30 degrees and 17 degrees was respectively changed. These implants bore a metal bar connected by intermediaries. After the application of vertical isolated static load on the posterior and anterior regions of the occlusal surface, with side load and motion of closure simulation, a mesh was created in three models, on which functional load was applied in order to assess the areas with accumulation of stress. The analysis was performed by interpreting qualitative changes in the colors mesh generated on the different models, the results of which were evaluated to define the location of tension in the accumulation of implants with different inclinations, keeping the same length of the bar and the cantilever. This study concluded that varying the tilt of implants posterior in the All-on-4 splinted by metal bar did not interfere with the distribution and magnitude of tension in implants, nor did it further the increase of tension in implants.

Key Words: Atrophic maxilla. Finite element. Implant. Tilted implant. All-on-4.

LISTA DE ARTIGOS

Esta dissertação gerou as seguintes propostas de artigos:

- I - AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA NA REABILITAÇÃO EM MAXILA ATRÓFICA COM QUATRO IMPLANTES: REVISÃO DA LITERATURA.

Revista Implante News

- II - ANÁLISE DE TENSÕES PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EM IMPLANTES INCLINADOS INSTALADOS EM MAXILA.

Revista Implante News

LISTA DE ABREVIATURAS

3D	Tridimensional (x,y e z)
MEF	Método de Elementos Finitos
MEF-3D	Método de Elementos Finitos Tridimensional
E	Módulo de Elasticidade
mm	Milímetros
PA	Pascal
GPa	Giga Pascal
MPa	Mega Pascal
SMN	Tensão Mínima
SMX	Tensão Máxima
N	Newton
TVM	Tensão de Von Mises
M45°	Modelo 1 – inclinação implante posterior 45°
M30°	Modelo 2 – inclinação implante posterior 30°
M17°	Modelo 3 – inclinação implante posterior 17°

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
OBJETIVOS.....	12
Objetivo Geral	12
Objetivo específico	12
REFERÊNCIAS	13
ARTIGO I	16
ARTIGO II	28

INTRODUÇÃO

O tratamento reabilitador em maxila atrófica é um desafio, devido à baixa qualidade óssea e sua anatomia residual. Segundo Albrektsson et al. (1986), a baixa densidade óssea e a reabsorção na maxila comprometem a ancoragem dos implantes com carga imediata e que, inicialmente, era compensada com a instalação de um número maior de implantes.

Os protocolos tradicionais de tratamento de maxilas atróficas, muitas vezes, necessitam de enxertos ósseos para colocação de implantes com diâmetros e tamanhos adequados, posicionamento correto e quantidade suficiente de implantes (BRANEMARK *et al.*, 1977).

Nas áreas maxilares com reabsorções graves eram realizados enxertos ósseos para restabelecer a anatomia perdida, tornando o tratamento complexo e oneroso para o paciente. O uso de implantes inclinados em maxila é considerado uma alternativa viável para evitar cirurgias extensas com enxertos ósseos e uma boa distribuição dos implantes dispensa um número elevado dos mesmos, segundo Maló *et al.* (2006).

Análises biomecânicas indicam que implantes mais anteriores e posteriores suportam a carga de uma reabilitação protética, sendo que, a maior parte desta carga está na porção posterior – *cantilever* – independente do número de implantes intermediários (MALÓ; RANGET; NOBRE, 2005). A utilização de técnica usando protocolos, na qual quatro implantes são instalados para suportar uma prótese total, justifica a teoria de que grande número de implantes não é necessário para tratamento com sucesso em maxila atrófica.

O emprego de implantes inclinados no remanescente ósseo maxilar como uma alternativa conservadora, foi avaliado neste trabalho pelo Método dos Elementos Finitos no qual foi analisado qualitativamente a distribuição de tensão nos implantes, mantendo o mesmo padrão do *cantilever* e da infraestrutura.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Análise qualitativa de tensões pelo Método de Elementos Finitos (MEF), num sistema de quatro implantes em maxila edêntula com diferentes inclinações posteriores.

Objetivos específicos

Avaliar por meio do MEF 3-D:

- a. a distribuição de tensões nos implantes anteriores e posteriores, sendo os implantes anteriores posicionados paralelos e os posteriores com três angulações distintas (45° , 30° e 17°) em relação ao plano oclusal da maxila;
- b. os diferentes valores de cargas verticais estáticas sobre a barra e observar se ocorrerá alteração na distribuição das tensões nos implantes com diferentes inclinações posteriores mantendo constante o tamanho do *cantilever* e da barra.

REFERÊNCIAS

1. ALBREKTSSON, T. et al. Direct bone anchorage of oral implants: clinical and experimental considerations of the concept of osseointegration. **Int. J. Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v.1, n.1, p. 11-25, Summer, 1986.
2. APARICIO, C.; PERALES, P.; RANGET, B. Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, Hamiltom, v. 3, n. 1, p. 39-49, 2001.
3. ATWOOD, D. A; COY, W. A. Clinical cephalometric and densitometric study of reduction of residual ridges. **J. Prosthet Dent**, v.26; n.3,p. 280-295; 1971.
4. BAHAT, O. Treatment planning and placement of implants in the posterior maxillare report of 732 Consecutive Nobelpharma Implants. **Int. J. Oral. Maxillofac. Implants**, v.8, n.2, p. 151-161, 1993.
5. BRANEMÄRK P-I.; HANSSON B.O.; ADELL et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. **Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.**, v.16, (suppl. 1), p.132, 1977.
6. ÇAGLAR; A, C.; OZEN, J; YILMAZ, C; KORKMAZ, T. Effects of mesiodistal inclination of implants on stress distribution in implant-supported fixed prostheses. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, v.21, p.36-44, 2006.
7. CALANDRIELLO, R.; TOMATIS, M. Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: A prospective 1-year clinicalstudy. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, v.7, Suppl 1, p.S1-12, 2005.
8. CANNIZZARO, G.; LEONE, M.; ESPOSITO, M. Immediate functional loading of implants placed with flapless surgery in the edentulous maxilla: 1-year follow-up of a single cohort study. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, v.22, n.1, p.87-95, Jan. / Feb. 2007.
9. CLELLAND, N. L. et al. Use of an axisymmetric finite element method to compare maxillary bone variables for a loaded implante. **J. Prosthodont.**, v.6, n.1, p.31-36, Mar. 1997.
10. DESJARDINS, R. P. Prosthesis design for osseointegrates implants in the edentulous maxillae. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, v.7, n.3, p. 311-320, 1992.
11. GALLAGHER, H. R. **Finite element analysis: fundamentals**. 4.ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975. 421p. Cap. 1, p.1-19.

12. HENRY, P. A review of guidelines for implant rehabilitation of the edentulous maxilla. **J. Prosthet. Dent**, v. 87, n.3, p.281-288, Mar. 2002.
13. KREKMANOV, L. Placement of posterior mandibular and maxillary implants in patients with severe bone deficiency: a clinical report of procedure. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, v. 15, n.5, p.722-730, 2000.
14. KUNAVISARUT, C.; LANG, A. L.; STONER, R. B.; FELTON, A. D. Finite element analysis on dental implant-supported prostheses without passive fit. **J. Prosthodont.**, v.11, p.30-40, 2002.
15. LANZA. M. D. Análise tridimensional das tensões formadas em implantes inclinados à parede anterior do seio maxilar, pelo método dos elementos finitos (MEF), em prótese fixa implanto-suportada. 2003. Dissertação (Mestrado em Implantodontia) - Universidade Sagrado Coração, Bauru.
16. LOTTI, R. S.; MACHADO, A. W.; MAZZIEIRO, E. T.; LANDRE JR., J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Rev. Dental Press. Orton. Ortop. Facial**, Maringá, v. 11, n. 2, p. 35-43, mar/abril, 2006.
17. MALÓ, P.; NOBRE, M. A; PETERSSON, U; WIGREN, S. A pilot study of complete edentulous rehabilitation with immediate function using a new implant desing: case series. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, v.8, n.4, p.223-232, 2006.
18. MALÓ, P.; RANGERT, B.; NOBRE, M. "All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, Hamilton, v. 5, suppl. 1, p.2-9, 2003.
19. MALÓ, P.; RANGET, B.; NOBRE, M. A. All-on-4 immediate-function concept with Branemark System implants for completely edentulous maxillae: A 1 year retrospective clinical study. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, v.7 (suppl. 1), p.588-594, 2005.
20. MATTSSON, T. et al. Implant treatment without bone grafting in severely resorbed edentulous maxillary. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v.57, n.3, p.281-7, Mar. 1999.
21. MEIJER, H. J. A. et al. Loading conditions of endosseous implants in an edentulous human mandibule: a three-dimensional finite element study. **J. Oral Rehabil.**, Oxford, v.11, n.23, p.757-763, Nov. 1996.
22. MISCH, C. M.; ISMAIL, Y. H. Finite element stress analysis of tooth-to implant fixedpartial denture designs. **J. Prosthodont.**, Philadelphia, v.2, n.2, p.83-92, 1993.
23. MISCH, C.; BIDEZ, M. **Considerações sobre a oclusão das próteses implantossuportadas**: oclusão protetora do implante e materiais oclusais. In: MISCH, C. Implantes dentários contemporâneos. 2.ed, São Paulo: Santos, 2000. Cap. 38, p.609-629.

24. POKORNY, G. M.; SOLAR, P. In: WATZEK, G. **Endosseous implants: scientific and clinical aspects**. Chicago: Quintessence, 1996. Cap.10, p.291-317.
25. ROSÉN, A.; GYNTHNER, G. Implant treatment without bone grafting in edentulous severely resorbed maxillas: a long-term follow-up study. **Clin. Implant Dent. Relat. Res.**, v.65, p.1010-1016, 2007.
26. RUBO, J. H.; SOUZA, E. A. C. Métodos computacionais aplicados à bioengenharia: solução de problemas de carregamento em próteses sobre implantes. **Rev. Fac. Odontol. Bauru**, v.9, n.3/4, p.97-103, Jul/Dez. 2001.
27. SKALAK, R. Biomechanical considerations in osseointegrated prostheses. **J. Prosthet. Dent.**, v.49, n.6, p.843-848, June 1983.
28. VAN STADEN, R. C.; GUAN, H.; LOO, Y. C. Application of the finite element method in dental implant research. **Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.**, v.9, n.4, p.257-270, August, 2006.
29. VENTURELLI, A. A modified surgical protocol for placing implants in the maxillary tuberosity: clinical results at 36 months after loading with fixed partial dentures. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, v.11, p.743-749, 1996.
30. WANG, T.; LEU, L. J.; WANG, J. S.; LIN, L. D. Effects of prosthesis materials and prosthesis splinting on peri-implant bone stress around implants in poor-quality bone: a numeric analysis. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.17, n.2, p.231-237, 2002.
31. WATZEK, G. **Endosseous implants: scientific and clinical aspects**. Chicago: Quintessence, 1996.

ARTIGO I

AValiação biomecânica da reabilitação em maxila atrófica com quatro implantes: revisão da literatura

Biomechanical analysis rehabilitation in atrophic maxilla with four implants: Review of the literature

Marília Torres Fraga

RESUMO

A reabilitação em maxila atrófica com implantes osseointegrados pode apresentar sucesso e previsibilidade, desde que sejam avaliadas as diferenças anatômicas, as necessidades biomecânicas, limitação da disposição geométrica, o número e o comprimento dos implantes, principalmente na região posterior da maxila devido à reabsorção alveolar e pneumatização do seio maxilar. Procedimentos mais conservadores, como a técnica All-on-4 (Nobel Biocare® AG, Gotenburgo, Suécia), preconizam a instalação de quatro implantes com carga imediata em maxila atrófica, onde dois implantes são instalados paralelos na região anterior da maxila e dois implantes bilaterais inclinados 45°, ladeando a parede anterior do seio maxilar. O objetivo desta revisão da literatura é reafirmar os conceitos biomecânicos para que os profissionais possam indicar a melhor conduta na reabilitação da maxila atrófica.

Palavras Chave: All-on-4. Maxila atrófica. Implante Inclinado. Biomecânica.

ABSTRACT

The rehabilitation of atrophic maxilla with osseointegrated implants may present success and predictability, since not only the anatomical differences are evaluated, but also the biomechanical needs, the limiting of the geometric arrangement, the number and length of the implants, especially in the back of the jaw due to alveolar reabsorption and pneumatization of the maxillary sinus. The more conservative procedures, as the All-on-4 technique (Nobel Biocare ® AG, Gothenburg, Sweden), recommend the installation of four implants with immediate load on atrophic maxilla, where two implants are installed parallel in the previous region of the maxilla and two bilateral implants tilting 45 degrees, lining the anterior

wall of the maxillary sinus. This revision of literature aims at reaffirming the biomechanical concepts for the best handling of atrophic maxilla rehabilitation.

Key Words: All-on-4. Atrophic maxilla. Tilted implant. Biomechanics.

INTRODUÇÃO

O tratamento reabilitador em maxila edêntula é um desafio, devido à baixa qualidade óssea e à sua anatomia residual. A baixa densidade óssea e a reabsorção na maxila comprometem a ancoragem dos implantes com carga imediata o que, inicialmente, era compensada com a instalação de um maior número de implantes¹.

Os protocolos tradicionais de tratamento em maxilas atróficas, muitas vezes, necessitam de enxertos ósseos para colocação de implantes com diâmetros e tamanhos adequados, posicionamento correto e quantidade suficiente de implantes, tornando o tratamento complexo e oneroso para o paciente². O uso de implante inclinado em maxila tem apresentado uma alternativa viável para evitar cirurgias extensas com enxertos ósseos e, uma boa distribuição dos implantes dispensa um número elevado dos mesmos³.

A biomecânica é um ramo da bioengenharia que procura esclarecer a resposta dos tecidos vivos a forças aplicadas⁴; permitindo desta forma, o aprofundamento científico relativo às respostas teciduais à aplicação de forças, relacionando diretamente estrutura e função⁵.

As análises biomecânicas indicam que implantes mais anteriores e posteriores suportam a carga de uma reabilitação protética, sendo que, a maior parte desta carga está na porção posterior – *cantilever* – independentemente do número de

implantes intermediários. A utilização de técnica usando prótese fixa implanto-suportada, na qual quatro implantes são instalados para suportar uma prótese total, justifica a teoria de que número elevado de implante não é necessário para tratamento com sucesso em maxila edêntula⁶.

REVISÃO DA LITERATURA

Anatomia do osso maxilar

A quantidade de osso disponível na maxila, para o posicionamento de implantes, é limitada pela sua anatomia⁷. O processo de remodelação óssea maxilar, após extração dentária, varia entre indivíduos, sendo o tipo facial fator determinante no padrão de reabsorção maxilar, assim, o tipo facial curto pode gerar força mastigatória três a quatro vezes maior que o tipo facial longo, apresentando alto risco de desenvolver atrofia maxilar severa.

Com a perda dentária o osso maxilar é reabsorvido pósterosuperiormente, reduzindo o arco anterior em seu raio e circunferência tornando a relação maxilo-mandibular desfavorável e ocorrendo pneumatização do seio maxilar comprometendo a instalação de implantes nesta região⁸. O conhecimento da anatomia maxilo-mandibular, o grau de atrofia e a quantidade/qualidade do osso disponível são fundamentais para se estabelecer diagnóstico correto⁹.

Biomecânica da prótese implanto-suportada

Nas próteses implanto-suportadas, as estruturas formam uma unidade que acarreta distribuição de carga dependente da relativa dureza dos materiais envolvidos e da geometria da prótese. Serão abordados alguns fatores biomecânicos importantes na realização de prótese implanto-suportada em maxila atrófica: o número, posicionamento e comprimento dos implantes, a relação implante inclinado e *cantilever*, tipos de cargas sobre as próteses, desenho da infraestrutura e a relação com arco antagonista.

Número, posicionamento e comprimento dos implantes

Inicialmente, era preconizado um maior número de implantes para compensar a baixa densidade óssea da maxila e a ausência de carga até finalizar o processo de cicatrização óssea^{1, 2}. Atualmente, o uso de implante inclinado melhora o suporte da prótese e permite a instalação de implante longo, com melhora na ancoragem óssea^{10, 11}.

Análises biomecânicas mostram que a utilização de quatro implantes em maxila, bem posicionados, sendo dois implantes anteriores posicionados axialmente (região incisivo ou canino) e dois implantes posteriores inclinados disto-mesial (região primeiro molar ou segundo pré-molar) ladeando a parede anterior do seio maxilar, com maior comprimento melhoraram a ancoragem óssea^{3, 6}.

A relação implante inclinado e *cantilever*

A utilização de implante inclinado na reabilitação de maxila atrófica permite a instalação de implantes longos melhorando a ancoragem óssea e o suporte da prótese, favorecendo a biomecânica e diminuindo o *cantilever*¹⁰⁻¹⁴.

A inclinação de implantes para diminuir ou anular o *cantilever*, principalmente na região posterior de maxila, favorece a biomecânica do complexo prótese-implante-osso, sendo a distribuição das tensões geradas controladas não apenas pelo número de implantes, mas pela sua distribuição na maxila e o material da supra-estrutura. O implante próximo ao *cantilever* irá sofrer tensão de compressão, enquanto o adjacente a este tensão de tração. As tensões geradas são diretamente proporcionais ao tamanho do *cantilever*¹⁵⁻¹⁷.

Identificar as cargas aplicadas sobre as próteses com e sem *cantilever* é importante na avaliação da distribuição de tensão sobre os implantes e o tecido ósseo. Vários estudos foram realizados utilizando diferentes metodologias com o objetivo de determinar o comprimento ideal do *cantilever*, para que as forças fossem distribuídas de modo uniforme na interface osso-implante¹⁸⁻²¹.

O comprimento do *cantilever* em maxila deveria ser limitado a um dente, após o último implante, com o objetivo de diminuir a tensão transmitida ao último implante e ao osso adjacente¹⁵. Partindo deste princípio, Skalak²² relacionou o comprimento do *cantilever* ao comprimento ântero-posterior (corresponde à distância entre a distal do último implante ao centro do implante anterior a este), sendo o comprimento máximo do *cantilever* para quatro ou seis implantes no máximo duas vezes o comprimento ântero-posterior. Segundo Ranget¹⁵ a distribuição ântero-posterior dos implantes é de suma importância para compensar a tensão no *cantilever*, sendo na

mandíbula a extensão de 15 a 20 mm e na maxila, que apresenta um osso mais poroso, não deve exceder 10 mm.

Tipos de cargas

Estudos mostraram que os implantes estão sujeitos a uma ampla magnitude de força de mordida, sendo essas forças tipicamente tridimensionais. Os componentes de força podem ser de compressão, tração ou cisalhamento. As tensões de cisalhamento tendem a alterar a interface osso/implante em outro plano (paralelo à superfície). Tensões compressivas tendem a manter a integridade da interface osso/implante e as tensões de tração tendem a romper esta interface. Extensões de ponte ou seções de barra muito longas podem provocar separação da interface prótese/implante, reabsorção óssea, afrouxamento do parafuso e/ou fratura, e quebra da ponte ou barra. Quando os implantes são colocados a 10 mm de distância e ligados entre si por um balanço distal de 20 mm, uma carga de 100N transmitirá uma força de 200N para o implante mesial, e o implante distal atuará como eixo com uma carga de 300N²³.

A análise da tensão gerada após aplicação de carga sobre as próteses com ou sem *cantilever* pode ser gerado pelo Método dos Elementos Finitos (bi ou tridimensionalmente computadorizado). A maioria dos trabalhos mostra resultados em que o aumento no comprimento do *cantilever* aumenta os valores de tensão na interface osso implante²⁴.

Desenho da infraestrutura

O desenho da infraestrutura deve levar em consideração o espaço intermaxilar e a presença de *cantilever*. Os vários desenhos presentes na literatura em forma de L, I, U e elíptica apresentam nos testes de fadiga bons resultados quanto a rigidez, entretanto as barras em L e I apresentam melhores condições de trabalho na colocação dos dentes e na relação do espaço inter-maxilar^{25, 26}.

A altura e espessura da barra são muito importantes na resistência da barra à flexão na presença de *cantilever*. Vários estudos apresentam resultados nos quais ocorrem aumento significativo na resistência à flexão da barra aumentando a sua altura. A secção transversal da barra na presença de *cantilever* deve ser de 5 mm de altura e 4 mm de largura²⁵.

Relação com arco antagonista

A relação de uma prótese fixa implanto-suportada com o arco antagonista deve ser avaliada antes da instalação dos implantes para criteriosa análise oclusal. A força oclusal está diretamente relacionada com o antagonista. O antagonista sendo também uma prótese fixa implanto-suportada com *cantilever* haverá maior incidência de força e maior probabilidade de fratura da estrutura metálica e dos dentes presos à barra. No caso do antagonista ser uma prótese total ou dente natural, ocorrerá menos fratura na barra e menor incidência de reparos nos dentes. Sendo o antagonista uma prótese total ocorrerão menos manutenções²⁷.

DISCUSSÃO

A reabilitação da maxila atrófica é um tratamento desafiador que pode implicar em diversos tratamentos complexos, entretanto, a busca por tratamentos menos invasivos com a indicação de implantes inclinados, desenhos adequados das próteses implanto-suportadas e o conhecimento da sua biomecânica favorecem o sucesso das reabilitações^{3,10,14}. Dificuldades anatômicas e biomecânicas nos tratamentos em maxilas atróficas apresentam limitações que devem ser criteriosamente avaliadas¹⁴.

A pneumatização dos seios maxilares é uma limitação anatômica que justifica a indicação de implantes inclinados disto-mesialmente, ladeando a parede lateral do seio maxilar. São usados implantes inclinados mais longos, melhorando a ancoragem óssea. Os resultados de vários trabalhos mostram que a perda óssea dos implantes instalados axialmente e os inclinados são similares^{11, 14}.

A presença de *cantilever* pode comprometer a biomecânica das próteses e a homeostasia do tecido ósseo. O comprimento excessivo de *cantilever* pode causar sobrecarga na prótese gerando problemas na interface osso-implante como fratura óssea, do implante, da infra-estrutura e perda da osseointegração. As complicações na interface prótese-implante seriam afrouxamento ou fratura de parafuso e deformação plástica¹⁵. Na reabilitação de maxila atrófica com quatro implantes, o uso de implante inclinado além de permitir a instalação de implante com maior comprimento melhorando a ancoragem óssea, possibilita diminuir ou anular o *cantilever*, quando o implante é posicionado mais distal^{3,6,15,21}. A literatura é vasta e enfática em afirmar que o comprimento máximo de *cantilever* em maxila é 10 mm^{15,18,19}.

A relação entre o desenho da prótese e o antagonista implicará na magnitude de força aplicada sobre os implantes. Há um consenso que a localização e a magnitude da força oclusal afeta a qualidade e quantidade de deformação e tensão em todos os componentes do complexo prótese-implante-osso. As tensões geradas na prótese são controladas não apenas pelo número de implantes, mas também pela sua distribuição na maxila e o material da supraestrutura¹⁶. A mesma magnitude de força poderá ter efeitos bem diferentes sobre a interface implante/tecido ósseo, dependendo da direção da carga aplicada e da tensão gerada. A oclusão serve como fator importante para estabelecer a direção da carga, predominando, se possível, apenas força de compressão²³.

Muitos autores preconizam o uso de seis a oito implantes na reabilitação em maxila, acreditando que, caso ocorra falha de algum implante, a prótese não será perdida. Contudo a literatura mostra a possibilidade de reabilitação em maxila atrófica utilizando quatro implantes desde que todos os critérios biomecânicos sejam respeitados.

CONCLUSÃO

De acordo com a literatura revisada o tratamento reabilitador em maxila atrófica pode ser realizado utilizando-se quatro implantes, desde que os seguintes critérios sejam avaliados:

- a. a anatomia óssea residual;
- b. o comprimento máximo de *cantilever* 10 mm em maxila;
- c. boa distribuição dos implantes, com pelo menos 10 mm entre eles;

- d. selecionar o formato e espessura da barra metálica de acordo com o material e o arco antagonista;
- e. utilizar implante inclinado para melhorar a ancoragem óssea e diminuir *cantilever*.

Embora os resultados encontrados nos trabalhos sejam satisfatórios e apresentem previsibilidade de tratamento, existe a necessidade de mais estudos de longo prazo para definitivamente efetivar esta forma de tratamento em maxila atrófica.

REFERÊNCIAS

1. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, et al: The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria for success. *Int J Oral Maxillofacial Implants* 1986; 1(1):11-25.
2. Branemärk P-I, Hansson BO, Adell et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1977; 16 (suppl):1-132.
3. Maló P, Ranget B, Nobre M. “All-on-4” immediate-function concept with Bränemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clinical Implant Dent Relat Res*, 2003; 5 suppl (1):2-9.
4. Rubo JH, Souza EAC. Métodos computacionais aplicados à bioengenharia: Solução de problemas de carregamento em próteses sobre implantes. *Rev Fac odontol Bauru. Bauru* 2001; 9(3):97-103.
5. Mandira Jr J, Kesselning ALF. Biomecânica em osseointegração. 25º CIOSP. 2007; 178-79.
6. Maló P, Ranget B, Nobre MA. All-on-4 immediate-function concept with Branemark System implants for completely edentulous maxillae: A 1 year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7(suppl 1):588-94.

7. Desjardins RP. Prosthesis design for osseointegrated implants in the edentulous maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992; 7(3):311-20.
8. Bahat O. Treatment planning and placement of implants in the posterior maxillae report of 732 Consecutive Nobelpharma Implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993; 8(2):151-161.
9. Watzek G. *Endosseous Implants: scientific and clinical aspects*. Chicago: Quintessence, 1996.
10. Mattsson T, Gynther GW, Rolin A. Implant treatment without bone grafting in severely resorbed edentulous maxillae. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57(3):281-7.
11. Rosén A, Gynther G. Implant treatment without bone grafting in edentulous severely resorbed maxillas: a long-term follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2007; 65(1):010-016.
12. Misch C, Bidez M. Considerações sobre a Oclusão das próteses implantossuportadas: oclusão protetora do implante e materiais oclusais. In: MISCH, C. *Implantes dentários contemporâneos*. 2.ed. São Paulo: Santos, 2000. p.609-629.
13. Aparício C, Perales P, Ranget B. Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2001; 3(1):39-49.
14. Calandriello R, Tomatis M. Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: A prospective 1-year clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7 Suppl 1:S1-12.
15. Rangert B et al. Forces and moments on Branemark implants. *Int J Oral Maxillofac implants* 1989; 4(3):241-47.
16. Benzing UR, Gall H, Webwer H. Biomechanical aspects of two different implant-prosthetic concepts for edentulous maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10:188-98.
17. Richter EJ. In vivo horizontal bending moments on implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998; 13(2):232-44.
18. Rodrigues AM, Aquino SA, Lund PS, Ryther JS, Southard TE. Evaluation of strain at the terminal abutment site of a fixed mandibular implant prosthesis during cantilever loading. *J Prosthodont* 1993; 2(2):93-102.
19. Lanza MD. Análise tridimensional das tensões formadas em implantes inclinados à parede anterior do seio maxilar, pelo método dos elementos finitos (MEF), em prótese fixa implanto-suportada. 2003. Dissertação (Mestrado em Implantodontia) - Universidade Sagrado Coração, Bauru.

20. Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin* 2006; 9(4):257-70.
21. Çağlar AC, Aydın C, Ozen J, Yilmaz C, Korkmaz T. Effects of mesiodistal inclination of implants on stress distribution in implant-supported fixed prostheses. *INT J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21(1):36-44.
22. Skalak R. Biomechanical considerations in osseointegrated prostheses. *J Prosthet Dent* 1983; 49(6):843-7.
23. Pokorny GM, Solar P. In: Watzek G. *Endosseous implants: scientific and clinical aspects*. Chicago: Quintessence, 1996. Cap. 10: 291-17
24. Zampelis A, Ranget B, Heijl L. Tilting of splinted implants for improved prosthodontic support: A two-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent* 1992; 68(5):817-9.
25. Stewart RB, Dejardins RP, Laney WR, Chao EY. Fatigue strength of cantilevered metal frameworks for tissue-integrated prostheses. *J Prosthet Dent* 1992; 49(1):83-92.
26. Young FA, Williams KR, Draughn R, Strohaber R. Design of prosthetic cantilever bridgework supported by osseointegrated implants using the finite element method. *Dent Mater* 1998; 14(1):37-43.
27. Davis DM, Packer ME, Watson RM. Maintenance requirements of implant-supported fixed prostheses opposed by implant-supported fixed prostheses, natural teeth, or complete dentures: a 5 year retrospective study. *Int J Prosthodont* 2003; 16(5):521-3.

ARTIGO II

ANALISE DE TENSÕES PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS SOBRE QUATRO IMPLANTES INSTALADOS EM MAXILA COM DIFERENTES INCLINAÇÕES POSTERIORES

Tensions Analysis through Finite Element Method on four Implants placed on maxilla with different posterior tiltings

Marília Torres Fraga

RESUMO

Existe uma gama de tratamentos complexos, dentre eles vários tipos de enxertos, para o restabelecimento da anatomia em maxila atrófica antes da reabilitação com implantes. Procedimentos mais conservadores, como a técnica All-on-4 (Nobel Biocare AG, Gotenburgo, Suécia), preconiza a instalação de quatro implantes com carga imediata em maxila, onde dois implantes são instalados paralelos na região anterior da maxila e dois implantes bilaterais inclinados 45°, ladeando a parede anterior do seio maxilar. Esta técnica busca simplificar os procedimentos, reduzindo a invasão cirúrgica, diminuindo o tempo e o custo de tratamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar se ocorrerá alteração na distribuição e magnitude da tensão num sistema com quatro implantes variando a inclinação dos implantes distais para 30° e 17°, mantendo o mesmo comprimento da barra (infraestrutura) e *cantilever*, simulado pelo Método de Elementos Finitos (MEF).

Palavras Chave: Maxila atrófica. Elemento finito. Implante inclinado. All-on-4.

ABSTRACT

There is a range of complex treatments, among them several types of grafts for the restoration of anatomy in atrophic maxilla before rehabilitation with implants. The more conservative procedures, as the All-on-4 technique (Nobel Biocare AG, Gothenburg, Sweden), recommend the installation of four implants with immediate load on maxilla, where two implants are installed parallel in the anterior maxilla and two bilateral implants tilted 45 degrees, lining the previous wall of the maxillary sinus. This technique seeks to simplify procedures, reduce surgical invasion, reducing time and cost of treatment. The purpose of this study was to evaluate if changes occur in the distribution and magnitude of stress on a system of four implants (All-on-4) varying the tilt of the distal implants to 30 and 17 degrees, keeping the same length of the bar (infrastructure) and cantilever.

Key words: Atrophic maxillae. Finite element. Tilted implant. All-on-4

INTRODUÇÃO

A osseointegração foi definida por Branemark et al.¹ como uma conexão direta estrutural e funcional entre o osso vivo e o implante. Apesar do tratamento com implantes ser bem documentado na literatura a sua instalação é limitada pela anatomia óssea, sendo o tratamento reabilitador em maxila atrófica desafiador, devido à baixa qualidade óssea e a sua anatomia residual.

O processo de remodelação óssea após extração dentária pode variar de um indivíduo para o outro e o tipo facial também determina o padrão de reabsorção maxilar². Com a perda dentária o osso maxilar é reabsorvido póstero-superiormente, reduzindo o arco anterior em seu raio e circunferência tornando a relação maxilo-mandibular desfavorável e com a pneumatização do seio maxilar haverá comprometimento na instalação de implantes nesta região^{3,4}. O conhecimento da anatomia maxilo-mandibular, do grau de atrofia, da quantidade e da qualidade do osso disponível é fundamental para se estabelecer diagnóstico correto⁵.

Nas áreas maxilares com reabsorções graves eram realizados enxertos ósseos para restabelecer a anatomia perdida, tornando o tratamento complexo e oneroso para o paciente. O uso de implante inclinado em maxila tem apresentado uma alternativa viável para evitar cirurgias extensas com enxertos ósseos⁶⁻¹¹. Uma boa distribuição dos implantes dispensa um número elevado dos mesmos¹²⁻¹⁵.

Análises biomecânicas indicam que implantes anteriores e posteriores suportam a carga de uma reabilitação protética, sendo que, a maior parte desta carga está na porção posterior – *cantilever* – independentemente do número de implantes intermediários^{16,13}. A utilização de técnica usando protocolos, na qual quatro implantes são instalados para suportar uma prótese total, justifica a teoria na qual grande número de implante não é necessário.

Na metodologia deste estudo foi utilizado o Método de Elementos Finitos (MEF) que é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original¹⁷. Um dos trabalhos pioneiros de biomecânica em implantes dentários avaliou as tensões envolvendo os implantes osseointegrados e o tecido ósseo, analisando os esforços existentes na estrutura da prótese e como estas solicitações mecânicas são transmitidas para os implantes e, conseqüentemente, para o tecido ósseo¹⁸.

Os avanços que ocorreram na ciência da computação e na Odontologia permitiram uma maior aproximação dessas áreas com o uso de programas computacionais para avaliar o conjunto biomecânico que constitui uma prótese implantada suportada. O MEF proporciona uma maneira de calcular a distribuição, concentração de tensão e deformação nos componentes. Algumas variáveis podem influenciar nos resultados, como: geometria do osso e do implante a serem modelados, propriedades físicas dos materiais, condições de fixação e o tipo de interface osso implante. Uma das etapas mais difícil e importante é a criação do modelo^{19, 20}.

O objetivo deste estudo foi avaliar por meio da análise MEF-3D se o comportamento do arranjo protético com quatro implantes em maxila apresentariam restrições ou melhora biomecânica na distribuição de tensão em próteses fixas implantadas suportadas quando modificadas as inclinações 45°, 30° e 17° dos implantes distais.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se um modelo de maxila edêntula obtida por meio de cortes axiais tomográficos com 2 mm de espessura (Picker, model PQ2000, Heighlands Heights, OH, USA)²¹, digitalizados e transportados para um programa de SolidWorks[®] 2008 (SolidWork Corporationn, Santa Mônica, CA; EUA).

Criou-se uma figura geométrica 3D em forma de arco, com 7,5 mm de espessura e 15 mm de altura, sendo toda estrutura externa revestida por 1 mm de osso cortical e toda estrutura interna preenchida por osso medular.

Todos os implantes foram desenhados acompanhando o modelo do fabricante (Brånemark System[®] MK III, Nobel Biocare[®] AB, Göteborg, Sweden) com os respectivos diâmetros com 3,75 mm da rosca, plataforma protética hexagonal externa com 4,1 mm de diâmetro, confeccionados em titânio comercialmente puro. Nos modelos do estudo todos os implantes que foram instalados na região de bossa canina, apresentaram comprimento de 10 mm e inclinação vertical/paralelos entre si. Os implantes instalados nas regiões posteriores apresentaram inclinações diferenciadas (45°, 30° e 17°) no sentido disto-mesial, mantendo 15 mm de comprimento e diâmetro equivalente aos implantes verticais. Foram realizadas simplificações no modelo da maxila e dos implantes de acordo com a necessidade do programa e objetivo do trabalho.

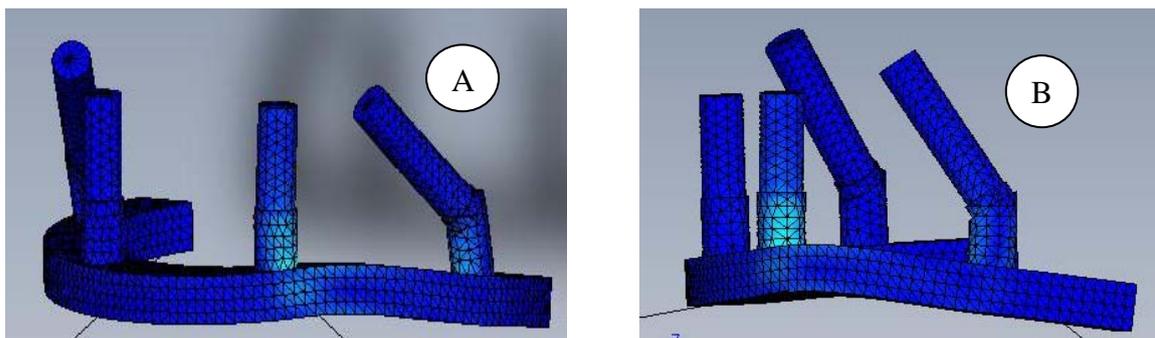
Os intermediários protéticos retos e angulados (*abutments*) que ligam os implantes à barra metálica foram desenhados acompanhando o modelo do fabricante (Mult-Unit - Nobel Biocare[®] AB, Göteborg, Sweden) com altura de 4 mm, diâmetro de 4,1 mm e confeccionados em titânio comercialmente puro. Os *abutments* retos foram instalados nos implantes anteriores e posteriores com

inclinação de 17° e os *abutments* angulados, 30° e 17°, foram instalados nos implantes distais de acordo com a inclinação do implante no estudo, 45° e 30° respectivamente.

Finalizados os desenhos computadorizados da maxila, dos implantes e dos intermediários protéticos, foram montados três modelos de estudo, sendo no primeiro modelo (M45°) instalados dois implantes paralelos entre si na região anterior (bossa canina) e dois implantes distais com inclinação 45° com o plano oclusal, ladeando a parede do seio maxilar no sentido disto-mesial, emergindo na posição do segundo pré-molar ou primeiro molar. No segundo (M30°) e terceiro (M17°) modelos foram mantidos a mesma distribuição, tamanho e diâmetro dos implantes, variando apenas a inclinação nos implantes distais, sendo 30° modelo M30° e 17° modelo M17°.

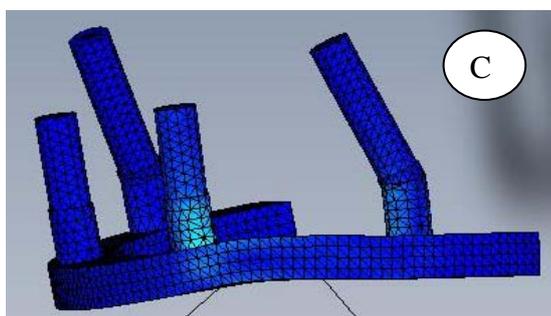
Foi desenhada uma barra metálica em ouro com 4 mm de altura e 6mm de espessura unida aos implantes por meio de intermediários protéticos de 4mm de altura compatível com a plataforma protética dos implantes²². Foi aceita uma condição de contato ósseo de 100%.

Nas conexões implante-intermediário e intermediário-barra foram trabalhados com encaixe perfeito, não apresentando *gaps* (Figura 1).



A = Modelo 45°

B = Modelo 30°



C = Modelo 17°

Figura 1 - Inclinação dos implantes

Os valores das propriedades elásticas dos componentes nos modelos foram encontrados na literatura²³⁻²⁵ (Tabela 1). As propriedades elásticas foram consideradas lineares, homogêneas e isotrópicas^{24, 26, 27}.

Materiais	Módulo de elasticidade (E) – Mpa	Coefficiente de Poisson (ν)
Osso cortical	13.700	0,3
Osso medular	1.370	0,3
Barra de ouro	100.000	0,3
Titânio comercialmente puro	115	0,35

Tabela 1 – Valores dos módulos de elasticidade

Criou-se uma malha de elementos finitos sobre os modelos pelo programa CosmosWorks® (SolidWork Corporation, Santa Mônica, CA; EUA). Foram realizados quatro carregamentos axiais nos três modelos em diferentes áreas, sendo a carga aplicada concentrada em um único ponto apresentando valores diferenciados para a carga individualmente aplicada (Tabela 2).

Carregamentos	Carga	Local
C1	100 N	Canino
C2	150 N	1º Pré-molar
C3	150 N	2º Pré-molar
C4	200 N	1º Molar

Tabela 2 – Carregamentos axiais estáticos nos modelos 45°, 30° e 17°

O arranjo da malha foi tetraédrico com base retangular com cinco nós e 3 graus de liberdade, formando coordenadas no espaço que permitem identificar qualitativamente por meio das variações de cores nas áreas com acúmulo de tensão. O número de nós e elementos estão discriminados na Tabela 3.

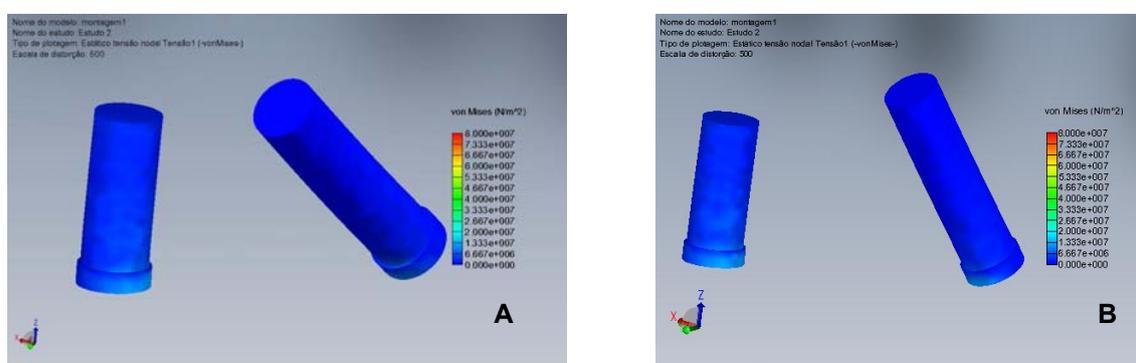
	Nós	Elementos
M1-45°	59160	38890
M2-30°	58608	38633
M3-17°	58244	38363

Tabela 3 – Número de nós e elementos

RESULTADOS

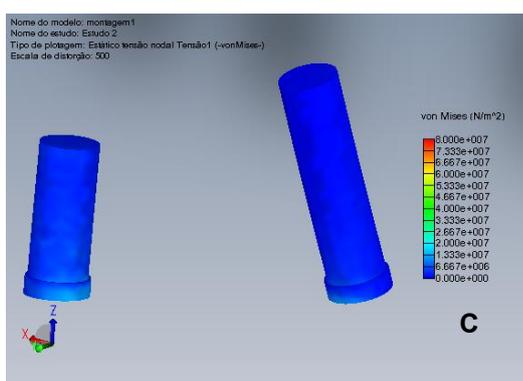
Carregamento axial unilateral concentrado na região canino 100 N

O acúmulo de tensão ocorreu na região disto-cervical do implante axial próximo à aplicação da carga e ligeira tensão na mesio-cervical do implante distal do mesmo lado da aplicação da carga (Figura 2).



A = Modelo 45°

B = Modelo 30°

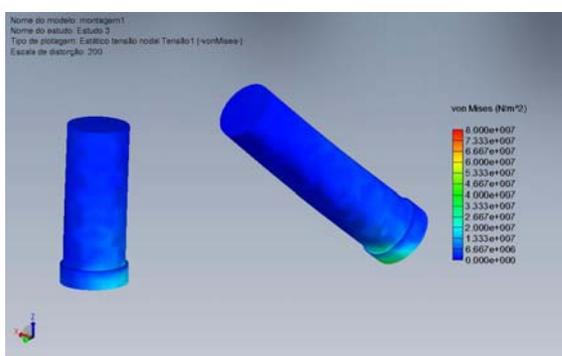


C = Modelo 17°

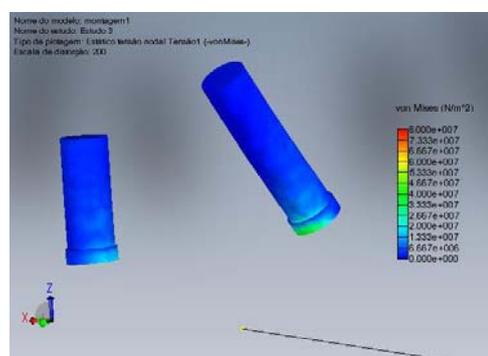
Figura 2 - Carregamento 100 N na região de canino

Carregamento axial unilateral concentrado na região do primeiro pré-molar 150N

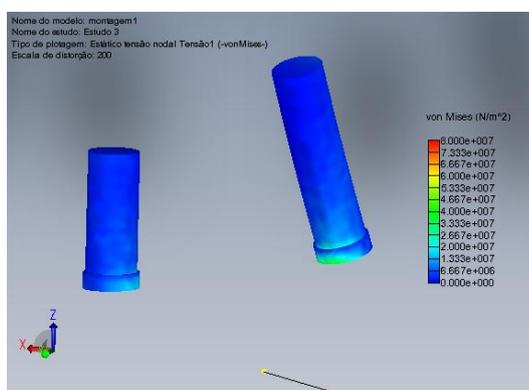
O acúmulo de tensão nos três modelos ocorreu na região disto-cervical I do implante axial próximo à aplicação da carga e na região mesio-cervical do implante inclinado (Figura 3).



A = Modelo 45°



B = Modelo 30°

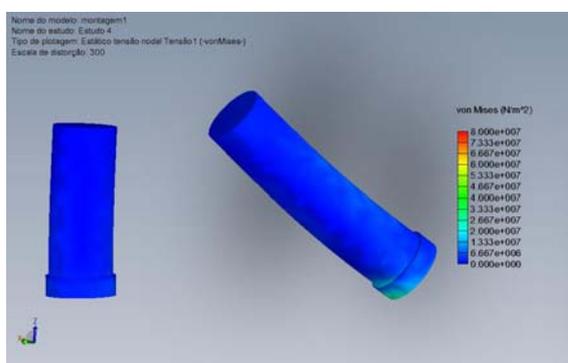


C = Modelo 17°

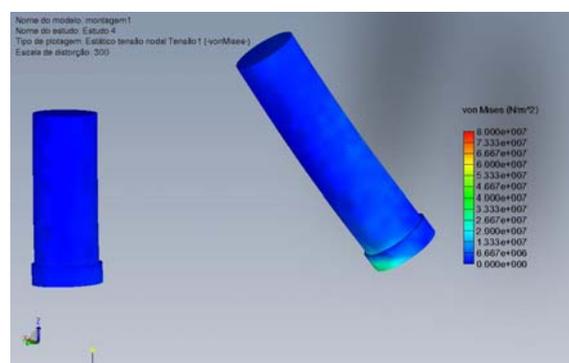
Figura 3 – Carregamento 150 N na região de primeiro pré-molar

Carregamento axial unilateral concentrado na região de segundo pré-molar 150N

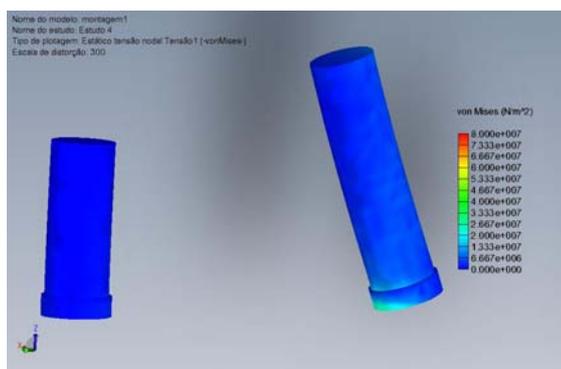
O maior acúmulo de tensão ocorreu na região mesio-cervical do implante inclinado próximo à carga. Os implantes axiais próximos à carga em todos os modelos quase não apresentaram tensão. No M17° observou-se tensão na distal ao longo do seu corpo e no ápice (Figura 4).



A = Modelo 45°



B = Modelo 30°

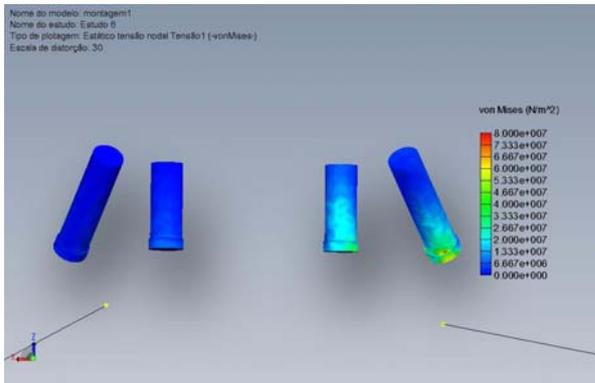


C = Modelo 17°

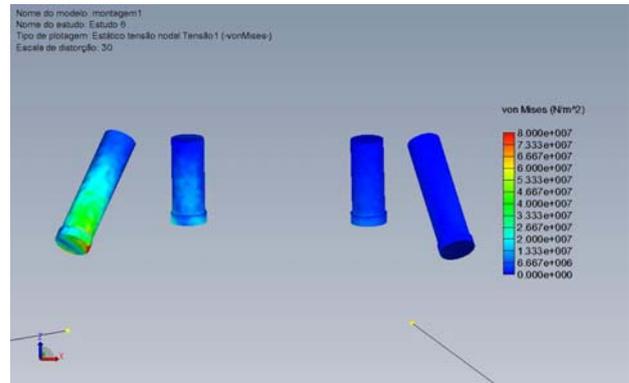
Figura 4 – Carregamento 150 N na região de segundo pré-molar

Carregamento axial unilateral concentrado na região de primeiro molar 200 N

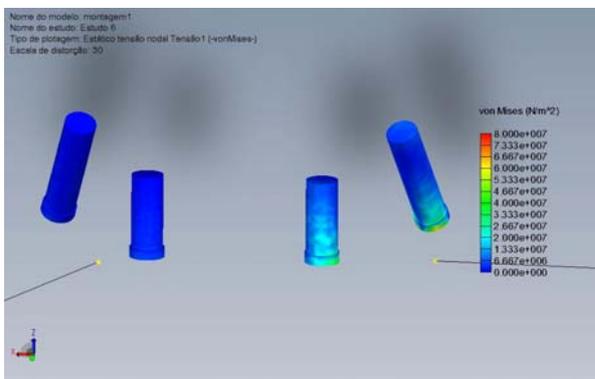
O acúmulo de tensão nos três modelos ocorreu na região cérvico-palatina nos implantes inclinados próximos à carga. Nos modelos M45° e M30° qualitativamente os implantes axiais, próximos à carga, apresentaram tensão cérvico-vestibular e na vestibular ao longo no corpo do implante, não atingindo o ápice. Nos implantes distais (45° e 30°) houve tensão ao longo no corpo do implante na região distal, não atingindo o ápice. No modelo M17° foi observada pouca tensão na região cérvico-vestibular e na vestibular ao longo no corpo do implante, mas, verificou-se tensão ao longo de todo o corpo do implante na região distal atingindo o ápice (Figura 5).



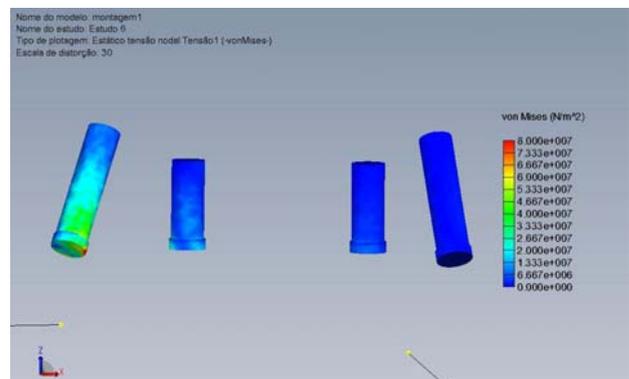
A - vista vestibular 45°



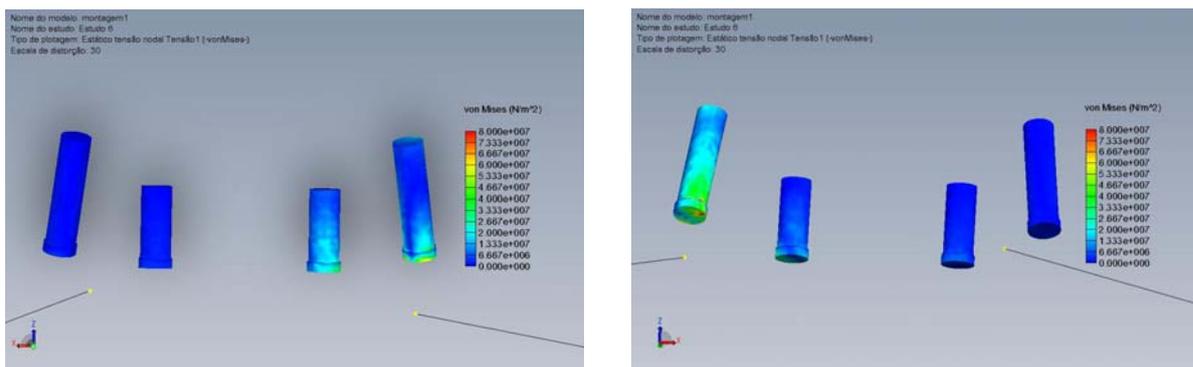
B - vista palatina 45°



C - vista vestibular 30°



D - vista palatina 30°



E - vista vestibular 17°

F - vista palatina 17°

Figura 5 - Carregamento 200 N na região de primeiro molar

Os valores da tensão máxima foram anotados na Tabela 4.

Modelos	Regiões e valores de carga			
	Canino	Primeiro pré- molar	Segundo pré-molar	Primeiro Molar
	100 N	150 N	150 N	200 N
Modelo 45°	12,33 MPa	42,87 MPa	40,84 MPa	104,40 MPa
Modelo 30°	12,05 MPa	39,93 MPa	34,40 MPa	96,68 MPa
Modelo 17°	12,05 MPa	35,37 MPa	33,87 MPa	102,2 MPa

Tabela 4 – Valores da tensão máxima de Von Mises (SEQV) nos modelos em diferentes carregamentos

DISCUSSÃO

Este estudo “in vitro” utilizando MEF apresentou simplificações e padronizações visando tornar a análise mais objetiva. Simplificações como os materiais homogêneos, isotrópicos, de comportamento linear elástico e os desenhos dos implantes como cilindros, com ausência das roscas, é aceitável neste estudo

pelo MEF. Apesar destas simplificações os elementos sólidos deste trabalho foram desenhados para que a montagem das peças pudessem apresentar encaixe perfeito, sem *gaps*^{18,28}.

A definição das propriedades elásticas dos diferentes materiais foi utilizada em concordância com outros trabalhos. A intensidade do carregamento apresenta grande variação na literatura, considerando que as cargas fisiológicas variam de paciente para paciente e também sofrem aumento na parafunção. Os valores dos carregamentos trabalhados foram uma média dos valores encontrados na literatura^{18,26}. A padronização do diâmetro da barra metálica e do comprimento do *cantilever* também concordam com a literatura revisada^{18,26,27,29}.

A análise qualitativa dos resultados MEF permite analogia com situações clínicas, entretanto, a análise quantitativa pode incorrer em erros devido à dificuldade em estabelecer os módulos de elasticidade correta principalmente no osso, apesar disso, este estudo apresentou os valores das tensões máximas nos modelos para facilitar a conclusão dos resultados. A distribuição e posicionamento dos implantes na maxila seguiu o protocolo preconizado nos trabalhos de Maló et al.^{15,13} a união dos implantes, intermediários e a barra metálica suportaram as cargas aplicadas não apresentando complicações mecânicas nos três modelos trabalhados.

Nos três modelos quando o carregamento estático isolado foi aplicado na região de canino (100N) a tensão máxima gerada, nos implantes próximos à carga, foi muito próxima para os três modelos.

Quando a carga estática isolada de 150N foi aplicada na região de primeiro pré-molar a maior tensão ocorreu na mesial do implante inclinado 45°, aplicando esta mesma carga no segundo pré-molar a maior tensão continuou na mesial do implante em 45°, mas apresentou tensão máxima mais baixa. Este achado

sugere que foi criado um momento de força de acordo com Ranget¹⁶ quando a força foi aplicada na área do primeiro pré-molar, entre o implante axial e o inclinado, ocorrendo flexão da barra.

Na região do primeiro molar, que corresponderia ao *cantilever*, quando a carga estática axial de 200N foi aplicada nos três modelos a tensão máxima gerada nos implantes foram similares em todos os modelos, sendo distribuída tanto no implante axial como no inclinado. Entretanto, no modelo M17°, a tensão apresentou-se distribuída em toda extensão palatina do implante inclinado 17° até a região apical. A tensão máxima em todos os modelos com carregamento C4 apresentou valores duas vezes maiores que em C1, C2 e C3. Este achado está em concordância com a literatura quando esta afirma que, em prótese implanto-suportada, os implantes mais próximos de seu *cantilever* irão absorver uma tensão potencializada em até duas vezes o valor da carga aplicada e sempre o implante próximo à carga irá receber tensão de compressão e o implante próximo a este receberá tensão de tração^{16, 26, 27, 29, 30}.

CONCLUSÃO

As análises dos três modelos, neste estudo, sugerem não ter ocorrido comprometimento mecânico quando foram alteradas as inclinações nos implantes distais nos modelos testados, simulando reabilitação da maxila com prótese fixa suportada por quatro implantes espiantados por barra e mantendo o mesmo comprimento do *cantilever*.

A escolha pela inclinação a ser trabalhada na reabilitação em maxila edêntula dependerá da anatomia maxilar residual, visto que, mecanicamente tanto o

arranjo com quatro implantes sugerido na literatura com 45°, quanto com inclinações com 30° e 17° foram aceitáveis.

REFERÊNCIAS

1. Branemärk P-I, Hansson BO, Adell et all. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. Scand J Plast Reconstr Surg 1977; 16 (suppl):1-132.
2. Atwood DA, Coy WA. Clinical cephalometric and densitometric study of reduction of residual ridges. J Prosthet Dent 1971; 26(3):280-295.
3. Bahat O. Treatment planning and placement of implants in the posterior maxillare report of 732 Consecutive Nobelpharma Implants. Int J Oral Maxillofac Implants 1993; 8(2):151-161.
4. Teixeira LMS, Reher P, Reher VGS. Anatomia aplicada à odontologia. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008; 430p.
5. Watzek G. Endosseous implants: scientific and clinical aspects. Chicago: Quintessence, 1996.
6. Mattsson T, Gynther GW, Rolin A. Implant treatment without bone grafting in severely resorbed edentulous maxillare. J Oral Maxillofac Surg 1999; 57(3):281-7.
7. Krekmanov L. Placement of posterior mandibular and maxillary implants in patients with severe bone deficiency: a clinical report of procedure. Int J Oral Maxillofac Implants 2000; 15(5):722-30.
8. Krekmanov L, Kahn M, Bo R, Lindström H. Tilting posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. Int J Oral Maxillofac Implants 2000; 15(3):405-14.
9. Aparício C, Perales P, Ranget B. Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinicl, radiolgc, and periotest study. Clin Implant Dent Relat Res Hamiltom 2001; 3(1):39-49.
10. Calandriello R, Tomatis M. Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: A prospective 1-year clinical study. Clin Implant Dent Relat Res 2005; 7 Suppl 1:S1-12.
11. Bezerra FJB, Vasconcelos LW, Azoubel E. Técnica de implantes inclinados para tratamento da maxila edêntula. Innovations Journal 2002; 6(1):31-5.

12. Rosén A, Gynther G. Implant treatment without bone grafting in edentulous severely resorbed maxillas: a long-term follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2007; 65:1010-16.
13. Maló P, Ranget B, Nobre MA. All-on-4 immediate-function concept with Branemark System implants for completely edentulous maxillae: A 1 year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7 (suppl 1):588-94.
14. Maló P, Nobre MA, Petersson U, Wigren S. A pilot study of complete edentulous rehabilitation with immediate function using a new implant desing: Case series. *Clin Implant Dent Relat Res* 2006; 8(4):223-32.
15. Maló P, Ranget B, Nobre M. "All-on-4" immediate-function concept with Bränemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clinical Implant Dent Relat Res* 2003; 5 suppl (1):2-9.
16. Rangert B, Sullivan RH, Jemt TM. Load factor control for implants in the posterior partially edentulous segment. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12(3):360-70.
17. Lotti RS, Machado A W, Mazzeiro E T, Landre Júnior J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Rev Dental Press Ortdon Ortop Facial* 2006; 11(2):35-43.
18. Skalak R. Biomechanical considerations in osseointegrated prostheses. *J Prosthet Dent* 1983; 49(6):843-47.
19. Rubo JH, Souza EAC. Métodos computacionais aplicados à bioengenharia: solução de problemas de carregamento em próteses sobre implantes. *Rev Fac Odontol Bauru* 2001; 9(3):97-103.
20. Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2006; 9(4):257-70.
21. Oliveira SG, Seraidarian PI, Landre Jr. J, Oliveira DD, Cavalcanti BN. Tooth displacement due to occlusal contacts: a three-dimensional finite element study. *J Oral Rehabil* 2006; 33:874-80.
22. Fileni RH. Estudo longitudinal da força de mordida em pacientes portadores de próteses asparciais fixas sobre implantes osseointegrados: comparação entre áreas dentadas e implantadas. Tese de doutorado. São Paulo, USP 2007.
23. Meijer HIA. Loading conditions of endosseous implants in an edentulous human mandible: a three-dimensional finite element study. *J Oral Rehabil* 1996; 23(11):757-63.

24. Wang T, Leu LJ, Wang JS, Lin LD. Effects of prosthesis materials and prosthesis splinting on peri-implant bone stress around implants in poor-quality bone: a numeric analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002; 17(2):231-37.
25. Çaglar AC, Aydin C, Ozen J, Yilmaz C, Korkmaz T. Effects of mesiodistal inclination of implants on stress distribution in implant-supported fixed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21(1):36-44.
26. Lanza MD. Análise tridimensional das tensões formadas em implantes inclinados à parede anterior do seio maxilar, pelo método dos elementos finitos (MEF), em prótese fixa implanto-suportada. 2003. Dissertação (Mestrado em Implantodontia). Universidade Sagrado coração. Bauru.
27. Teixeira AC. Análise tridimensional pelo método dos elementos finitos, utilizando implantes inclinados em uma maxila atrófica com prótese total fixa. 2005. Dissertação. Universidade de Santo Amaro, São Paulo.
28. Jemt T, Lekholm U. Implant treatment in edentulous maxillae: a 5-year follow-up report on patients with different degrees of jaw resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10(3):303-11.
29. Pokorny GM, Solar, P. In: Watzek, G. Endosseous implants: scientific and clinical aspects. Chicago: Quintessence, 1996. Cap.10; 291-17.
30. Duyck J, Ronold. Magnitude and distribution of occlusal forces on oral implants supporting fixed prostheses: an *in vivo* study. *Clin Oral Impl* 2000; 11: 465-75.