

Otimização de projeto de parafusos ortodônticos visando aumento de resistência mecânica

Optimization design of orthodontic screws aiming at increasing the mechanical strength

Nelis Evangelista LUIZ¹, Athos JACOMINI FILHO², Leonardo Alcântara Cunha LIMA³, Ricardo Luiz CIUCCIO⁴, Michel Aislan Dantas SOARES⁵, Lucas Lima COUTINHO⁶

RESUMO

Parafusos ortodônticos são usados para movimentar os dentes nas mais diversas direções durante tratamento odontológico ortodôntico. As forças envolvidas durante a inserção e durante o serviço dos parafusos ortodônticos merecem especial atenção, uma vez que podem ocasionar a fratura dos mesmos levando ao insucesso do tratamento. Os esforços suportados pelos parafusos ortodônticos durante seu uso podem ser divididos em esforços de inserção e esforços de ativação. Dentre estes dois grupos, os esforços de inserção são os mais significativos, devendo ser levados em consideração para o dimensionamento do produto. O objetivo deste artigo é a otimização da resistência mecânica dos parafusos ortodônticos no que diz respeito aos esforços que os mesmos são submetidos durante o ato cirúrgico de inserção. Este artigo relata ações de melhoria contínua aplicadas para melhorar o desempenho mecânico de parafusos ortodônticos. Foram fabricadas três configurações diferentes de parafusos ortodônticos sendo que a diferença entre elas era o posicionamento do furo do *slot*. A resistência mecânica do produto foi medida através de ensaio de carregamento oblíquo. As modificações de projeto propostas permitiram um ganho de até 54% na resistência dos modelos de parafuso analisados.

Palavras-chave: Ortodontia. Movimentação dentária. Implantes dentários.

ABSTRACT

Orthodontic screws are used to move teeth in several directions during orthodontic dental treatment. The forces involved during insertion and during the service of the orthodontic screws deserve special attention because they can lead to fracture of the same leading to treatment failure. Loads supported by orthodontic screws can be divided into insertion loads and activation loads. Among these two groups insertion loads are the most significant and should be taken into consideration for the product design. This paper is about optimization of the mechanical strength of orthodontic screws with regard to the efforts that they are subjected during the surgical insertion. This article reports continuous improvement actions implemented to improve the mechanical performance of orthodontic screws. The design modifications proposed allowed a gain of up to 54% in flexural strength of screw models analyzed.

Key words: Orthodontics. Tooth movement. Dental implants.

Endereço para correspondência:

Nelis Evangelista Luiz
Rua Cesário Ramalho, 237 - Apto. 111 - Torre 2
Cambuci
01521-000 - São Paulo - São Paulo - Brasil
E-mail: nelis_evangelista@hotmail.com

Recebido: 05/04/2010

Aceito: 01/07/2010

1. Doutor em Engenharia Mecânica. Gerente de Engenharia, SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.
2. Graduado em Desenho Industrial. Técnico de Desenvolvimento, SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.
3. Doutorando em Ortodontia. Coordenador do Curso de Especialização em Ortodontia, UNIFLU – Centro Universitário Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
4. Graduado em Engenharia Mecânica. Engenheiro de Produto, SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.
5. Graduando em Tecnologia Mecatrônica, Universidade Nove de Julho. Projetista, SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.
6. Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade São Judas Tadeu. Assessor de Controle da Qualidade, SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

Parafusos ortodônticos são usados para movimentar os dentes nas mais diversas direções durante tratamento odontológico ortodôntico. Suas diversas aplicações bem como as vantagens em relação a sistemas de movimentação ortodôntica tradicionais estão amplamente relatadas na literatura^{2,7-8}.

Os esforços envolvidos durante a inserção e durante o serviço dos parafusos ortodônticos merecem especial atenção uma vez que podem ocasionar a fratura dos mesmos levando ao insucesso do tratamento⁷. Do ponto de vista mecânico, os esforços desenvolvidos durante o uso do produto devem ser estudados levando em consideração duas etapas diferentes:

1. Fase de colocação (inserção) do parafuso no paciente.
2. Fase de ativação do parafuso com molas, arames e barras para movimentação dentária.

As forças de ativação necessárias para movimentação dentária são da ordem de 35 a 120g⁶.

A literatura carece de dados padronizados sobre a resistência à flexão de parafusos ortodônticos^{4,7}. Os valores de resistência à flexão de parafusos ortodônticos de diversas marcas comerciais não são inferiores a 44 N. Desta forma pode-se concluir que os esforços envolvidos durante a segunda etapa (120g ou 1,2 N) não são suficientes para promover a fratura dos parafusos ortodônticos⁴.

Poucos dados da literatura existem, porém, para relatar os esforços desenvolvidos durante o ato de inserção do parafuso no paciente. No entanto pode-se inferir que estes esforços sejam maiores que aqueles desenvolvidos durante a fase de ativação, uma vez que a inserção é feita manualmente pelo ortodontista ao se utilizar de uma chave que aumenta o braço de alavanca dos esforços aplicados (Figura 1). Desta forma este artigo leva em consideração a premissa que os maiores esforços envolvidos no uso dos parafusos ortodônticos ocorrem durante o ato de inserção.



Figura 1 - Montagem da chave de inserção com parafuso ortodôntico.

Para a efetividade no desenvolvimento do estudo mecânico

que deverá ser aplicado entendemos que o ponto crítico deste parafuso é a resistência à flexão na região do furo transversal.

Há flexão quando existe solicitação que tende a modificar o eixo geométrico de uma peça⁵. Há flexão simples quando o único esforço que atua na secção transversal é um momento fletor (*cantilever*). A combinação de flexão simples com carregamento axial é chamada de carregamento oblíquo⁵. Neste caso a barra sofre a aplicação de momento fletor e compressão ou tração. Este carregamento tem grande semelhança com o tipo de carga que o parafuso ortodôntico terá que suportar.

MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo de toda metodologia proposta neste artigo é a otimização da resistência mecânica dos parafusos ortodônticos no que diz respeito aos esforços que os mesmos são submetidos durante o ato cirúrgico de inserção.

Foram analisados os parafusos ortodônticos da linha High Utility (SIN - Sistema de Implante, São Paulo, SP, Brasil) - 11 amostras.

Estes parafusos foram produzidos em liga de titânio grau cinco⁷ e têm 1,6 mm de diâmetro de rosca (Figura 2).



Figura 2 - Modelo High Utility

Com objetivo de identificar a região de maior fragilidade nestes parafusos foram realizadas análises de elementos finitos. Estas análises levaram em consideração carregamentos estáticos na cabeça do parafuso da ordem de 92 N. Foi usado como *software* de análises o CosmosWorks (SolidWorks Corporation, Santa Monica, CA, Estados Unidos) com geração automática de malha.

Amostras de parafusos fraturados durante simulação de inserção em resina foram levadas ao microscópio eletrônico de varredura modelo 6390LV (Jeol Ltd., Tokyo, Japão). O objetivo é verificar a correlação entre a zona de fragilidade identificada na análise de elementos finitos e a zona de ocorrência da fratura no ensaio real.

Os ensaios mecânicos foram executados na máquina de ensaio Universal EMIC DL 10000 (EMIC - Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil) com célula de carga de 5000 N, conforme ISO 14801:2007³ e ASTM F136-02¹. A Figura 3 mostra o esquema experimental usado para fazer o ensaio mecânico.

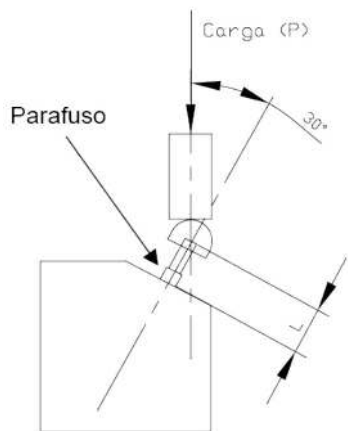


Figura 3 - Modelo de dispositivo do carregamento oblíquo.

Para atingirmos a meta proposta nesse desenvolvimento estudamos modificações simples que não interferissem em seu funcional. No modelo High Utility as modificações pertinentes ao projeto consistiram no deslocamento do furo localizado no *slot* do parafuso. Geramos dois deslocamentos de 0,2 mm cada (Figuras 4 a 6).

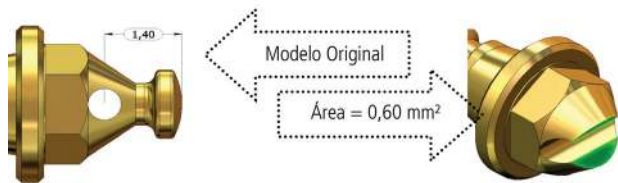


Figura 4 - Modelo original de parafuso ortodôntico com representação da área da seção resistente no ponto mais crítico.



Figura 5 - Modelo de parafuso ortodôntico com recuo de 0,2 mm em relação ao modelo original e representação da área da seção resistente no ponto mais crítico.



Figura 6 - Modelo de parafuso ortodôntico com recuo de 0,4 mm em relação ao modelo original e representação da área da seção resistente no ponto mais crítico.

RESULTADOS

A análise de elementos finitos levou em consideração as seguintes condições de contorno:

- A parte da rosca do parafuso foi considerada totalmente engastada.
- O implante sofreu carregamento vertical de 92 N na região da cabeça do parafuso (Figura 7).

Pelo gradiente de concentração de tensão apresentado na figura denota-se que as regiões de maior concentração de tensão encontram-se no final da rosca e no pescoço próximo à cabeça do implante. No entanto, para este nível de carregamento, nenhuma parte do mesmo ultrapassa o limite de escoamento.

Em função das seções transversais envolvidas presume-se que a região do pescoço é mais suscetível a falhas (por ter área de seção transversal resistente menor) que a região do final da rosca.

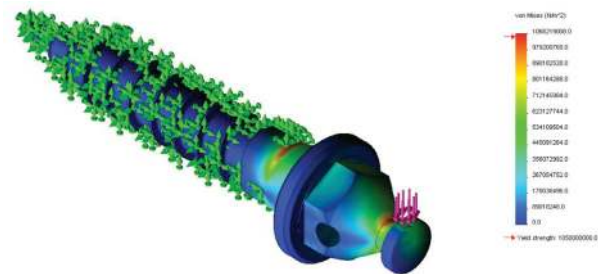


Figura 7 - Análise de elementos finitos em parafuso ortodôntico.

Este fato coincide com a fratura da peça real submetida a esforço de flexão. A imagem do MEV (Figura 8) revela que o ponto de fratura é o mesmo observado como crítico pela análise de elementos finitos. Isto valida a análise realizada indicando que método de elementos finitos e as condições de contorno empregadas retratam a realidade com certo grau de precisão.

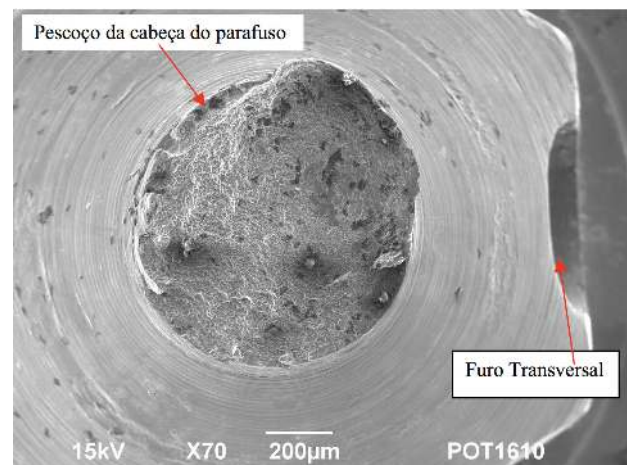


Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura de fratura após inserção do implante em resina.

As Figuras 9, 10 e 11 são os gráficos dos ensaios mecânicos de carregamento oblíquo aplicados a cada modelo de parafuso. Com eles é possível determinar qual a carga de ruptura necessária para romper cada modelo. Estes dados (valores médios) estão sumarizados nos gráfico da Figura 12.

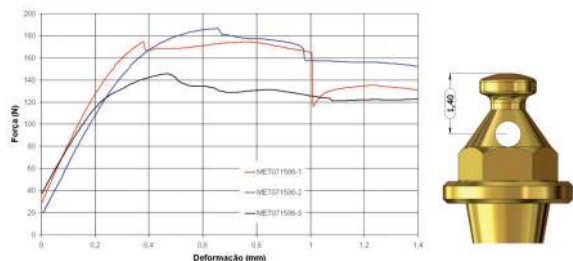


Figura 9 - Resultado de ensaio de carregamento oblíquo do modelo original.

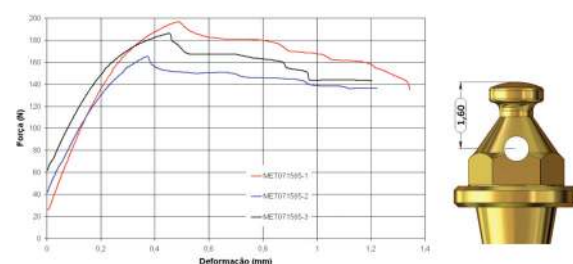


Figura 10 - Resultado de ensaio de carregamento oblíquo do modelo com recuo de 0,2 mm.

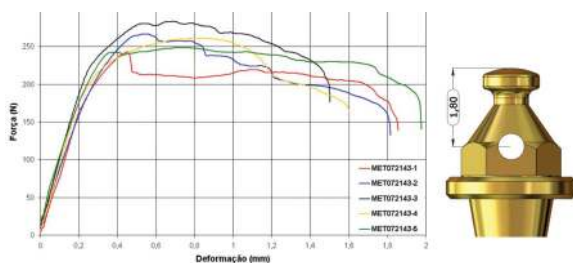


Figura 11 - Resultado de ensaio de carregamento oblíquo do modelo com recuo de 0,4 mm.

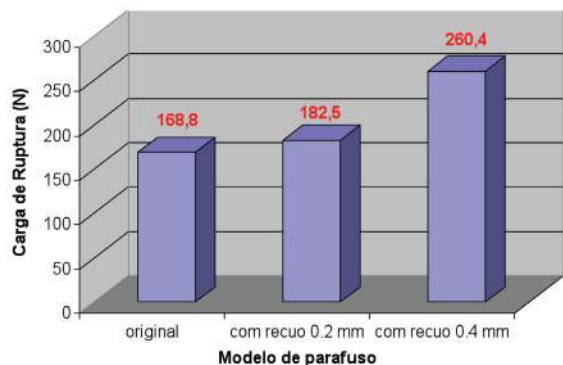


Figura 12 - Resultados dos ensaios comparativos de carregamento oblíquo entre os modelos.

O modelo original apresentou carga de ruptura média de 168,8 N. O modelo com recuo de 0,2 mm apresentou carga de ruptura média de 182,5 N.

Ganho de 8% em relação ao modelo original.

O modelo com recuo de 0,4 mm apresentou carga de ruptura média de 260,4 N.

Ganho de 54 % em relação ao modelo original.

DISCUSSÃO

As Figuras 4 a 6 ilustram o que acontece com a região do furo transversal à medida que aumentamos o recuo da posição do furo. Tem-se um aumento gradativo da área da seção transversal. No modelo original a fratura ocorre preferencialmente na área evidenciada na Figura 4. Quando se altera o projeto de acordo com a Figura 6, o ganho de área é tão significativo que a região de fragilidade muda de posição com a fratura passando a ocorrer no pescoço da cabeça do parafuso (Figuras 7 e 8).

As diferenças de resistência representadas nas Figuras 5 a 8 podem ser explicadas pelo aumento da área da seção transversal resistente proporcionada pelo deslocamento da posição do furo. É claro que a partir do momento que a região de fratura muda para o pescoço da cabeça do parafuso não é possível obter nenhum ganho adicional de resistência através do mesmo mecanismo.

O mérito destas análises está em demonstrar que é possível aperfeiçoar o projeto de produto com pequenas alterações que não comprometem o uso ou a funcionalidade do mesmo.

Seria importante ter dados, empíricos ou não, que informassem a que nível de esforços os parafusos ortodônticos são submetidos durante o ato de inserção. Poderíamos então ter mais segurança no dimensionamento do mesmo de acordo com os requisitos de uso.

CONCLUSÃO

- A análise de elementos finitos revelou que 92 N é a carga em que o modelo de parafuso ortodôntico utilizado atinge o limite de escoamento do material empregado.
- A região crítica apontada no estudo de elementos finitos coincide com a região de fratura do objeto real, conforme evidenciado pela imagem de microscopia eletrônica de varredura.
- As modificações inseridas no projeto do parafuso ortodôntico permitiram um ganho de 56% em resistência mecânica sem comprometer as características de uso do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SIN - Sistema de Implante e ao INEPO - Instituto Nacional de Experimentos e Pesquisas Odontológicas pelo fornecimento das amostras e das instalações usadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. American Society for Testing and Materials. F136-02: standard specification for wrought titanium-6 aluminum-4 vanadium ELI (Extra Low Interstitial) alloy for surgical implant applications (UNS R56401). West Conshohocken: The Society; 2005.
2. Bezerra F. Evidências clínicas e científicas dos miniimplantes ortodônticos. *ImplantNews*. 2006;3(4):400-1.
3. International Organization for Standardization. ISO 14801: dentistry - implants - dynamic fatigue test for endosseous dental implants. Geneva: The Organization; 2007.
4. Pithon MM, Nojima LI, Nojima MG, Ruellas ACO. Avaliação da resistência à flexão e fratura de mini-implantes ortodônticos. *Rev Dent Press Ortodon Ortopedi Facial*. 2008;13(5):128-33.
5. Popov EP. Resistência dos materiais. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil; 1984.
6. Proffit WR, Fields HW Jr, Sarver DM. Ortodontia contemporânea. 3th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
7. Teixeira MV. Avaliação da resistência à flexão de mini implantes ortodônticos [dissertation]. Rio de Janeiro: Universidade Veiga de Almeida; 2006.
8. Vilella H, Bezerra F, Laboissiere M. Microparafuso ortodôntico de titânio auto-perfurante (MPO): novo protocolo cirúrgico e atuais perspectivas clínicas. *Innov Implant J, Biomater Esthet*. 2006;1(1).