

APLICAÇÃO DE ROTINAS DE ANÁLISE PARAMÉTRICA E OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE IMPLANTES DENTÁRIOS

João Paulo de Oliveira Freitas, Faculdade de Engenharia de Bauru, joapaulo.web@gmail.com
Paulo José Paupitz Gonçalves, Faculdade de Engenharia de Bauru, paulo.jpg@feb.unesp.br
Edson Antonio Capello Sousa, Faculdade de Engenharia de Bauru, capello@feb.unesp.br

Resumo. Nas últimas décadas implantes dentários vêm sendo bem aceitos por odontologistas e pacientes, visto a sua grande capacidade de reabilitação de funções e estética. Busca-se a estabilidade do implante para uma boa osseointegração. A principal região de estudo é a interface osso-implante, onde ocorrem as interações responsáveis pelo sucesso deste processo. O trabalho em questão busca a análise paramétrica da estrutura (dimensões) de um implante dentário unitário bem como sua otimização estrutural buscando atingir as tensões e deformações ótimas na interface osso-implante.

Palavras chave: Otimização Estrutural, Elementos Finitos, Biomecânica, Parametrização

1. INTRODUÇÃO

O uso de implantes ósseo-integrados se tornou prática comum entre os especialistas da área odontológica, devido aos inúmeros registros de casos de sucesso. Porém nem todos os implantes têm seu sucesso em longo prazo atingido. Isso se deve a diversos fatores, sejam eles biológicos ou mecânicos.

A principal ideia da utilização dos implantes dentários é a substituição da função da estrutura dental natural, que por algum motivo foi extraída. Além das funções mecânicas, os implantes dentários também fornecem o ajuste estético, outro motivo que atraiu o interesse de pacientes e clínicos.

A presença do ligamento periodontal é um aspecto biomecânico presente nas estruturas naturais e sua ausência é um ponto negativo nos implantes dentários. O ligamento é uma camada que absorve energia transmitida a partir da presença de carregamento externo. Dessa forma, o ligamento periodontal permite micro movimentações, enquanto em implantes dentários isso não ocorre, fazendo com que as cargas externas sejam transmitidas de forma mais intensa no osso do paciente, resultando em fracasso e perda do conjunto prótese-implante.

Devido às forças externas aplicadas ao sistema, tensões e deformações são induzidas no osso, afetando assim a sua remodelagem. De maneira atenuada, tais tensões são benéficas e aceleram o processo de osseointegração, mas quando se tornam excessivas, podem ocasionar perda óssea e instabilidade do implante.

A estabilidade do implante está diretamente relacionada às características do sistema, tais como a forma e o material, tendo comportamentos diferenciados pela carga aplicada na coroa dentária, além das características biológicas de cada paciente.

A principal região de estudo do sistema é a interface osso-implante, onde ocorrem as interações responsáveis por uma boa osseointegração e assim, sucesso em longo prazo do implante.

Décadas de estudo comprovam que muitos componentes foram desenvolvidos a partir de experimentações e cálculos muito simplificados do comportamento do conjunto biomecânico. Tendo em vista a necessidade de se obter resultados mais acurados e que pudessem prever o comportamento do produto sem a necessidade de implantá-lo e acompanhá-lo, novas técnicas foram sendo exigidas que reduzissem o tempo de análise desses sistemas.

Hoshaw et al. (1994) e Holmgren et al (1998) afirmam que devido à natureza complexa do sistema de implante dentário, algumas simplificações e hipóteses devem ser adotadas para se ter assim uma aproximação confiável para a geometria, material, condições de contorno e carregamento.

Muitas análises numéricas, como o Método dos Elementos Finitos (MEF), há tempos vêm sendo utilizadas para estudar a distribuição de tensão e deformação gerada ao redor do osso (Fyhie et al., 1998; Orr et al., 1990; Van Rietbergen et al., 1996), as quais fornecem dados importantes, de forma não destrutiva, para prever a remodelagem óssea e o comportamento do sistema biomecânico como um todo. O MEF é um método numérico baseado na discretização do contínuo em elementos denominados finitos formados pela união de nós. O parâmetro base para o cálculo é o deslocamento nodal. Cada elemento possui sua equação constituinte que descreve o problema. Com a aplicação de um esforço, se tem um determinado deslocamento que depende da rigidez do elemento. Ao se realizar os cálculos de cada elemento, calcula-se conseqüentemente toda a estrutura. Por se tratar de uma aproximação, torna-se exigência básica se ter o modelo mais fiel possível às condições reais às quais o sistema se submete.

No entanto, comumente o desenvolvimento de novos implantes se baseia no conhecimento histórico de implantes já existentes no mercado. Como esse histórico é dependente da experiência do clínico ou do biomecânico, esse range de possibilidades de produto torna-se limitado. Em busca de novas possibilidades de implantes que sejam mais ousadas

que as tradicionais já disponíveis, a análise de sensibilidade dos parâmetros que influenciam no conjunto torna-se necessária. Não só propriedades mecânicas podem ser estudadas e variadas, mas também a forma, dimensões, posicionamento, todos em função da intensidade e direção da carga aplicada.

Recentemente outros trabalhos envolvendo a análise paramétrica vêm sendo desenvolvidos, como El-Anwar et al. (2011) que estudaram a influência do diâmetro e comprimento do implante na distribuição de tensões no tecido ósseo peri-implantar e Li (2011) que estudou a seleção de um diâmetro e comprimento ótimos para um implante dentário com osso de baixa qualidade na mandíbula posterior.

A otimização estrutural é capaz de atingir um range de possibilidades de estudo maior que os métodos convencionais de determinação de parâmetros, enquanto o Método dos Elementos Finitos (MEF) possibilita a análise mecânica não destrutiva de conjuntos complexos. A união desses métodos numéricos disponibiliza melhores conjuntos do ponto de vista mecânico. Porém o simples uso dessas tecnologias não desmerece o conhecimento e experiência dos especialistas da área, pois do ponto de vista mecânico os métodos numéricos podem encontrar as melhores geometrias, porém fisiologicamente elas podem não ser aplicáveis. Nessa situação, o histórico de casos torna-se importante na escolha das geometrias definidas como “ótimas”.

2. OBJETIVOS

O trabalho em questão busca a análise paramétrica da estrutura das dimensões em raio e comprimento de um implante dentário unitário através da implementação de um algoritmo que trabalha em conjunto com o “solver” de elementos finitos e a partir disso propõe a otimização do sistema pela minimização das tensões e deformações que ocorrem na interface osso-implante.

3. METODOLOGIA

Com a geometria simplificada de um implante dentário discretizado pelo MEF no estado plano de tensões, foi implementado um algoritmo em Matlab que conecta a variação dos parâmetros estruturais ao gerador de malhas Gmsh e a cada iteração calcula a resposta da estrutura a um dado carregamento pelo solver de MEF Calculix. A análise paramétrica objetiva o entendimento da sensibilidade de cada parâmetro na resposta estrutural, enquanto que a otimização busca a melhor combinação de parâmetros para uma dada tensão ótima de osseointegração. A Figura (1) apresenta os fluxogramas de análise para os algoritmos em questão.

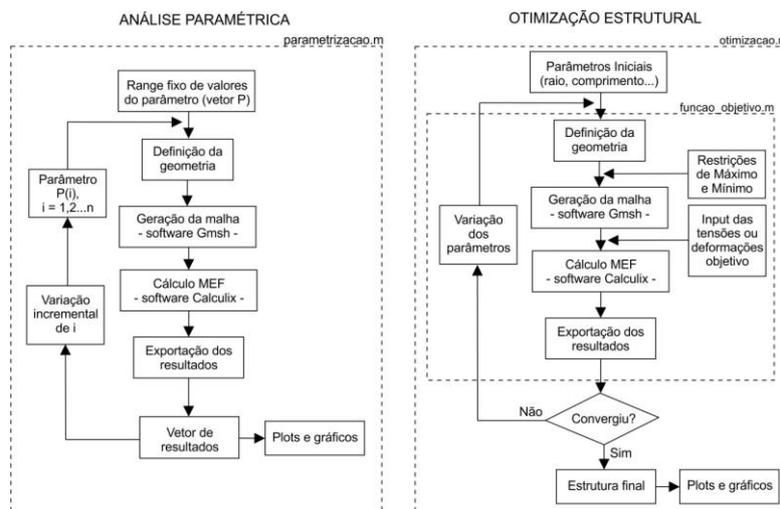


Figura 1. Fluxogramas dos algoritmos de análise paramétrica (esquerda) e otimização estrutural (direita)

Como fica claro na Fig. (1), dois estudos foram realizados. A Análise Paramétrica não exige convergência numérica, uma vez que seu estudo baseia-se dentro de um range fixo de valores determinado pelo usuário. Para isso, um vetor com os valores das variáveis é construído para o parâmetro que se pretende estudar. O comportamento então é expresso a partir dos resultados calculados pelo solver de elementos finitos. Cada iteração varia o parâmetro geométrico desejado, que atualiza assim o arquivo base que gera a malha MEF no software Gmsh e posteriormente exporta essa malha, para o solver Calculix, capaz de implementar junto aos elementos, as condições de contorno e carregamento aplicadas no modelo. O exemplo de uma das iterações e sua malha correspondente está apresentado na Fig. (2).

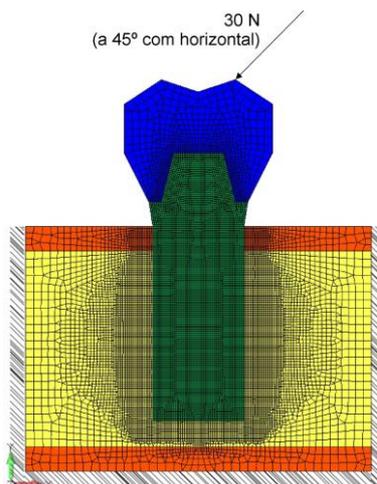


Figura 2. Exemplo de iteração com máximo diâmetro e comprimento aplicados

O conjunto é simplificado por duas camadas de osso cortical, uma camada central de osso medular, um implante e no topo do implante uma coroa. A discretização é construída com elementos bidimensionais em estado plano de tensões, com engastamento nas bordas do osso. A força aplicada na coroa equivale a 30 N com inclinação de 45° com o eixo horizontal. A análise aplicada foi linear estática e consideraram-se os materiais com propriedades isotrópicas. A região de obtenção de tensões para o estudo restringiu-se nas áreas do topo do osso, na interface implante-osso cortical, onde ocorrem os primeiros desgastes que desencadeiam a desestabilização do sistema.

A Tabela (1) fornece os dados dos materiais adotados para o modelo.

Tabela 1. Propriedades isotrópicas de materiais adotadas para o modelo.

Material / Componente	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson
Ti6Al4V ASTM-F-136 / Implante	110×10^3	0.34
Cerâmica Feldespática / Coroa	68.9×10^3	0.28
Osso medular / Osso central	1×10^3	0.30
Osso cortical / Osso externo	14×10^3	0.30

3. RESULTADOS

O trabalho desenvolvido até o momento tem servido como embasamento teórico da metodologia de cálculo e análise estrutural para o problema em questão. Tendo isso em vista, os resultados são parciais, sugerindo um acompanhamento mais detalhado, o qual será feito em breve. No entanto, o estudo realizado até agora sugere que a limitação das dimensões máximas e mínimas podem ocasionar ausência de convergência numérica. Com os testes realizados para comprimento e diâmetro, observa-se um comportamento mais sensível para o comprimento, quando comparado com o raio.

A Figura (3) apresenta um dos testes de otimização unidimensional para o raio do implante, onde é apresentado o comportamento do raio para cada iteração. A Fig. (4) apresenta o comportamento da função objetivo que busca otimizar as tensões de Von Mises na interface osso-implante. Já a Fig. (5) retrata a variação das tensões no modelo em cada iteração, assim como a Fig. (6) que apresenta os caminhos até a convergência, da tensão de Von Mises objetivada.

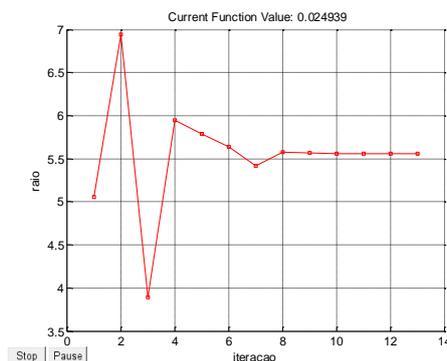


Figura 3. Otimização unidimensional do raio

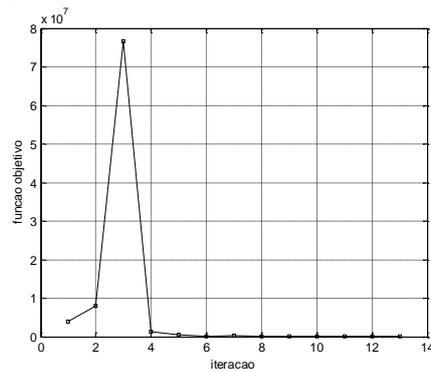


Figura 4. Comportamento da função objetivo (MPa²) com a variação do raio

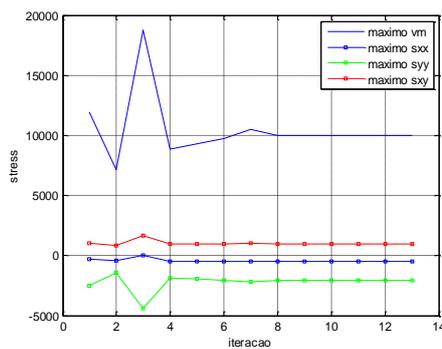


Figura 5. Variação das tensões (interface do osso cortical com implante) (MPa) no modelo a cada iteração

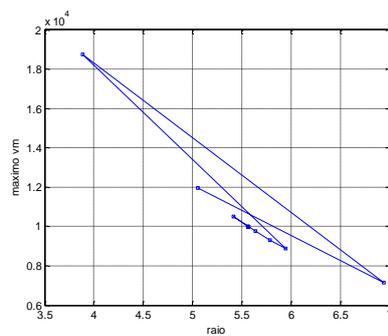


Figura 6. Convergência para a tensão de Von Mises objetivo (MPa)

Foram testadas também as variações em conjunto do raio e comprimento, de forma que objetivasse-se uma tensão reduzida para a interface osso-implante. As tensões de uma das iterações estão plotadas na Fig. (7), enquanto que os valores mínimos de raio e comprimento encontrados podem ser verificados na Fig. (8).

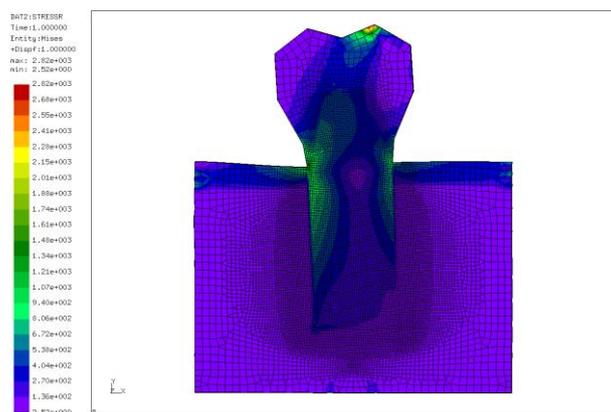


Figura 7. Tensões de uma das iterações plotadas no Calculix CGX (MPa)

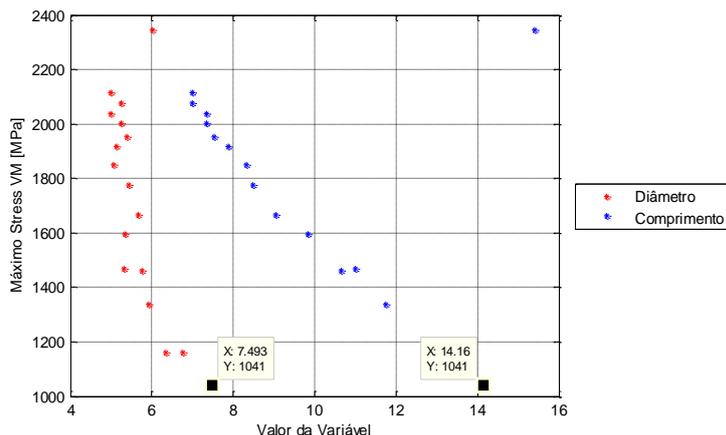


Figura 8. Comportamento dos parâmetros a cada iteração no que diz respeito às tensões de Von Mises

A implementação do método vem sendo testado com otimização unidimensional e bidimensional, além da análise de sensibilidade realizada pela parametrização geométrica do diâmetro e comprimento do raio. Até o momento, a rotina numérica vem apresentando resultados considerados ótimos quando se excluem do domínio as dimensões restritivas apesar de não haver convergência. Mesmo assim, a análise com tensões coletadas no osso cortical, apresenta uma sensibilidade maior para o comprimento, o que se deve ao fato de se aumentar a área de contato na interface osso-implante, distribuindo assim a tensão de forma mais igualitária.

4. REFERÊNCIAS

- El-Anwar, M.I, El-Zawahryei, M.M., 2011, “A three dimensional finite element study on dental implant design”, *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, Vol.9, pp. 77-82.
- Fyhrie, D.P., Carter, D.R., Schurman, D.J., 1988, “Effects of ingrowth, geometry, and material on stress transfer under porous-coated hip surface replacements”, *Journal of Orthopaedic Research*, Vol.6, pp. 425-433.
- Holmgren, E.P., Seckinger, R.J., Kilgren, L.M., 1998, “Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis”, *Journal of Dental Research*, Vol.77, pp. 245.
- Hoshaw, S.J., Brunski, J.B., Cochran, G.V.B., 1994, “Mechanical loading of Branemark implants affects interfacial bone modeling and remodeling”, *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol. 9, pp. 345-360.
- Li, T., 2011, “Optimum selection of the dental implant diameter and length in the posterior mandible with poor bone quality – A 3D finite element analysis”, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.35, pp. 446-456.
- Orr, T.E., Beaupre, G.S., Carter, D.R., Shurman, D.J., 1990, “Computer predictions of bone remodeling around porous coated implants”, *Journal of Anthroplasty*, Vol.5, pp. 191-200.
- Van, R.B., Weinans, H., Polman, B.J., Huiskes, R., 1996, “Computational strategies for iterative solution of large FEM applications employing voxel data”, *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, v. 39, pp. 2743-2767.

5. ABSTRACT

In recent decades dental implants have been well accepted by patients and dentists since its great capacity for rehabilitation of function and esthetics. Search the stability of the implant for a good osseointegration. The main study area is the bone-implant interface where interactions occur responsible for the success of this process. The work in question seeks parametric analysis of the structure (dimensions) of a dental implant unit as well as its structural optimization targeting the stresses and deformations in great bone-implant interface.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.