

INVESTIGAÇÃO DO PROCESSO DE OSSEOINTEGRAÇÃO DE IMPLANTES DENTÁRIOS ATRAVÉS DE RESPOSTAS DINÂMICAS.

Janaína Villela*

Bolsista de Iniciação Científica PIBIC-CNPq/UFJF
janaína@numec.ufjf.br

Helena Costa Ribeiro*

Bolsista de Iniciação Científica BIC/UFJF
helenac@numec.ufjf.br

Nestor Oscar Guevara Junior*

Bolsista de Iniciação Científica BIC/UFJF
noguevara@numec.ufjf.br

Flávio de Souza Barbosa*

Prof. Adjunto do Departamento de Estruturas da Faculdade de Engenharia da UFJF
flavio@numec.ufjf.br

Luis Paulo da Silva Barra*

Prof. Adjunto do Departamento de Estruturas da Faculdade de Engenharia da UFJF
luisp@numec.ufjf.br

* NUMEC-Núcleo de Pesquisas em Métodos Computacionais em Engenharia.
UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora.
Campus Uiversitário, 36036-330, Juiz de Fora - MG - Brasil.

Resumo. *O uso de implantes dentais osseointegráveis para o tratamento de problemas odontológicos tem crescido consideravelmente nas últimas décadas. Paralelamente a esta crescente utilização, vem aumentando a pesquisa científica na área, com o objetivo de tornar tal técnica cada vez mais segura e eficiente. Um dos aspectos que vem merecendo a atenção de diversos autores diz respeito a técnicas de avaliação da osseointegração, através da análise da evolução de respostas dinâmicas envolvendo o implante.*

O presente trabalho apresenta duas estratégias aplicadas a modelos computacionais visando determinar a possibilidade de utilização das mesmas na avaliação da osseointegração de implantes dentais. Ambas se utilizam da resposta dinâmica de modelos que incluem, além do implante e da estrutura óssea em seu entorno, barras rigidamente ligadas ao primeiro, com a finalidade de amplificar as respostas. A primeira estratégia se constitui em uma análise direta da variação das frequências naturais e a segunda utiliza o Método do Indicador de Dano, que é resumidamente apresentado.

São apresentados resultados numéricos preliminares que motivam a continuidade da linha de pesquisa iniciada.

Keywords: *Implantes Dentários, Osseointegração, Elementos Finitos, Análise Dinâmica.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de implantes dentais osseointegrados têm se tornando uma alternativa freqüente no tratamento de pacientes que apresentam perda parcial ou total da dentição, fazendo com que as pesquisas no campo da implantodontia se intensificassem nas últimas décadas. A taxa de insucessos neste procedimento atualmente é bastante reduzida, podendo apresentar causas (Maarit, 1993) que incluem a idade avançada, saúde geral do paciente comprometida, complicações no ato cirúrgico, higiene oral comprometida, falhas na osseointegração e reabsorção óssea.

Entende-se por osseointegração a conexão funcional e estrutural entre o osso e a superfície do implante que ocorre nos meses seguintes a intervenção cirúrgica que instala o implante, período em que este deve ficar livre de cargas. O implante só é efetivamente colocado em uso após se ter evidências de que a integração ocorrida é capaz de suportar as cargas a serem aplicadas. Para tanto, além do acompanhamento clínico e radiológico do paciente, têm sido propostas outras metodologias (Faulkner et al., 1999, Ramp et al 2000, Ramp et al 2001) baseadas em respostas dinâmicas envolvendo o conjunto implante-estrutura óssea. Tais procedimentos, assim como o aqui desenvolvido, se baseiam no fato de ocorrer um gradativo enrijecimento da ligação osso-implante ao longo do período considerado.

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação preliminar da possibilidade de utilização de algumas técnicas de identificação dinâmica na determinação do grau de osseointegração de implantes. Desta forma, ao invés de tais técnicas serem aplicadas em dados obtidos experimentalmente, são aplicadas a resultados de modelos computacionais simples do fenômeno da osseointegração. Uma idéia utilizada é que ao invés de se observar a resposta somente do conjunto implante-osso inclui-se no modelo outra(s) barra(s) com a finalidade de amplificar as respostas dinâmicas, o que facilitaria a aquisição dos dados necessários. Desta forma, é utilizado inicialmente um modelo de barras e em seguida um modelo tridimensional mais elaborado, incluindo parte do modelo de uma mandíbula humana já utilizada em trabalhos anteriores (Barra et al., 2002, Barra et al., 2002, Ferreira, 2003). Para a avaliação da osseointegração é proposta a utilização do Método do Indicador de Dano (MID) (Cornwell et al, 1999) e (Alvandi et al, 2002) e é também analisada diretamente a variação das freqüências naturais dos modelos estudados. O MID é aqui utilizado às avessas, indicando não as partes da estrutura onde haveria perda de rigidez e sim onde a estrutura teria ficado mais rígida.

2. METODOLOGIA

A metodologia aqui adotada utiliza, ao invés do histórico do comportamento dinâmico da estrutura mandíbula/implante durante o processo de osseointegração, resultados de modelos computacionais dinâmicos discretizados pelo Método dos Elementos Finitos (MEF).

A avaliação da osseointegração de um implante será feita de duas formas distintas: pela análise da variação de freqüências naturais de vibração e pelo Método do Indicador de Dano (MID), ambos descritos nesta seção.

2.1 A variação de freqüências naturais.

É sabido pela análise dinâmica de estruturas (Clough et al, 1993) que as freqüências naturais de estruturas são diretamente proporcionais à raiz quadrada da razão entre a rigidez e a massa, ou seja:

$$\omega_i \propto \sqrt{\frac{k_i}{m_i}} \quad (1)$$

onde ω_i é a i -ésima freqüência natural de vibração, k_i é a i -ésima rigidez modal e m_i é a i -ésima

massa modal.

Considerando a hipótese de que o ganho de massa do conjunto estrutural mandíbula/implante, em função do processo de osseointegração, seja bastante inferior ao ganho de rigidez, admite-se uma relação de direta entre as frequências naturais da estrutura e o nível de osseointegração. Isto é, quando se analisa o histórico das frequências naturais do conjunto estrutural considerado ao longo do processo de osseointegração, quanto maiores forem estas frequências, maiores serão os níveis de osseointegração.

2.2 Método do Indicador de Dano - MID

Este método, já utilizado no campo da Engenharia (Cornwell et al, 1999) e (Alvandi et al, 2002), é aplicado aos resultados obtidos de uma identificação modal (quer seja de uma modelagem via MEF, quer seja de valores extraídos de medições) e é baseado na análise da variação da energia de deformação elástica dos modos próprios de vibração da estrutura antes e após alguma alteração de rigidez dos elementos estruturais. Normalmente, estas alterações de rigidez se dão com o surgimento de danos e/ou fissuras, o que justifica então o nome adotado para o método. Entretanto, este método não se limita às situações onde se busca avaliar perdas de rigidez, o que torna possível aplicá-lo ao presente caso onde tem-se um aumento da rigidez da ligação entre componentes estruturais devido ao processo de osseointegração.

Admite-se que o implante pode ser modelado por uma pequena barra engastada elasticamente no osso cortical, ao qual pode-se ainda adicionar uma outra barra (como parte do aparato experimental) onde seriam realizadas as medições. Aplica-se, então o MID a esta última barra.

Para uma barra de comportamento elástico submetida a flexão no plano xy o MID pode ser obtido a partir da consideração da expressão da energia de deformação na flexão, U :

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L EI(x) \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (2)$$

onde $EI(x)$ a rigidez a flexão, L o comprimento e y o deslocamento transversal da barra. Considerando-se o i -ésimo modo próprio de vibração da estrutura, a energia de deformação associada a este modo se escreve:

$$U_i = \frac{1}{2} \int_0^L EI(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (3)$$

A energia de deformação para um elemento j de uma viga discretizada se escreve de uma maneira idêntica:

$$U_{ij} = \frac{1}{2} \int_{a_j}^{a_{j+1}} EI(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (4)$$

onde a_j, a_{j+1} são os limites do elemento j . Definindo-se a fração entre a energia de deformação da barra e a energia de deformação do elemento j , escreve-se:

$$F_{ij} = \frac{U_{ij}}{U_i} \quad (5)$$

sendo

$$\sum_{i=1}^n F_{ij} = 1 \quad (6)$$

onde n é o número de modos utilizados.

As expressões (3),(4) e (5) podem ser escritas de forma análoga para o caso de uma barra submetida a alguma alteração de rigidez:

$$U_i^* = \frac{1}{2} \int_0^L EI^*(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (7)$$

$$U_{ij}^* = \frac{1}{2} \int_{a_j}^{a_{j+1}} EI^*(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (8)$$

$$F_{ij}^* = \frac{U_{ij}^*}{U_i^*} \quad (9)$$

onde o sobrescrito(*) denota o caso da barra com alguma alteração na rigidez a flexão. Para casos de pequenas variações de rigidez a aproximação de primeira ordem fornece:

$$F_{ij}^* = F_{ij} + \text{termos de ordem superior} \quad (10)$$

Obtém-se então dividindo-se F_{ij}^* por F_{ij} e desprezando os termos de ordem superior:

$$1 = \frac{U_{ij}^*/U_i^*}{U_{ij}/U_i} = \frac{\int_{a_j}^{a_{j+1}} EI_j^*(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L EI^*(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx}{\int_{a_j}^{a_{j+1}} EI_j(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L EI(x) \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx} \quad (11)$$

Utilizando-se o teorema do valor médio generalizado, para uma função f contínua e uma função g não negativa e integrável, tem-se:

$$\exists \hat{x} \in [a, b] \mid \int_a^b f(u)g(u)du = f(\hat{x}) \int_a^b g(u)du \quad (12)$$

Aplicando este teorema na Eq.11 tem-se:

$$1 = \frac{U_{ij}^*/U_i^*}{U_{ij}/U_i} = \frac{\hat{E}I_j^* \int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx / \hat{E}I^* \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx}{\hat{E}I_j \int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx / \hat{E}I \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx} \quad (13)$$

Considerando-se uma alteração de rigidez pequena e localizada, pode-se simplificar a Eq.13 por:

$$\frac{\hat{E}I_j}{\hat{E}I_j^*} = \frac{\int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx}{\int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx} \quad (14)$$

Considerando-se o valor médio para o número de modos naturais utilizados obtém-se:

$$\beta_j = \frac{\hat{E}I_j}{\hat{E}I_j^*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i^*}{\partial x^2} \right) dx}{\int_{a_j}^{a_{j+1}} \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx / \int_0^L \left(\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} \right) dx} \quad (15)$$

onde β_j é chamado de indicador de dano do elemento j . Para maiores valores de β_j tem-se maiores perdas de rigidez e, obviamente, para maiores valores de $1/\beta_j$ tem-se maiores ganhos de rigidez. A metodologia proposta analisa a evolução dos valores do coeficiente $1/\beta_j$ na avaliação do processo de osseointegração em um implante dentário modelado como uma barra engastada elasticamente no osso cortical.

3. RESULTADOS

3.1 Viga engastada elasticamente

O exemplo analisado, mostrado na Fig.1, é constituído de uma barra parcialmente apoiada sobre apoios elásticos. Este modelo busca simular o comportamento de um implante dentário ao qual foi rigidamente conectada uma barra elástica, com a finalidade de aumentar a flexibilidade do conjunto e conseqüentemente amplificar os deslocamentos e diminuir suas frequências naturais. Tais características facilitaríam a obtenção experimental de medidas, o que seria necessário para a efetiva utilização da metodologia proposta.

Foi considerada apenas a rigidez axial destes apoios, com o valor inicial de $5,04 \times 10^9$ N/m cada um, sendo as demais características físicas do modelo apresentadas na Tabela 1.

O objetivo desta análise é verificar se a metodologia adotada é capaz de detectar pequenas alterações na rigidez dos apoios elásticos o que permitiria uma avaliação da osseointegração para um conjunto estrutural como o modelado no presente exemplo.

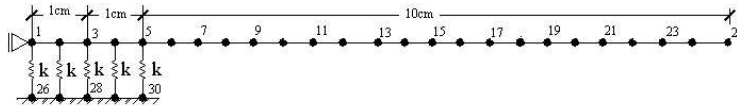


Figura 1: Viga Parcialmente apoiada sobre apoios elásticos.

Tabela 1: Viga parcialmente apoiada: características físicas	
Módulo de elasticidade do material	70×10^9 Pa
Momento de Inércia da seção	$8,33 \times 10^{-20}$ m ⁴
Área da seção transversal	1 mm ²

Fazendo-se sucessivos aumentos de 1, 2, 3 e 4% na rigidez dos apoios elásticos, pode-se calcular a evolução das frequências naturais (Tab.2) e dos modos de vibração da estrutura, os quais são apresentados na Fig.2 de forma resumida (apenas para a estrutura original e para um aumento de rigidez de 4%), pois as diferenças são praticamente imperceptíveis graficamente.

Tabela 2: Evolução das frequências naturais com o ganho da rigidez axial dos apoios elásticos.

Ganho de rigidez	1º modo	2º modo	3º modo
0%(Original)	502,3821	3152,4743	8489,4099
1%	502,3821	3152,4747	8531,3656
2%	502,3822	3152,4752	8573,4515
3%	502,3823	3152,4756	8615,8356
4%	502,3824	3152,4761	8658,3359

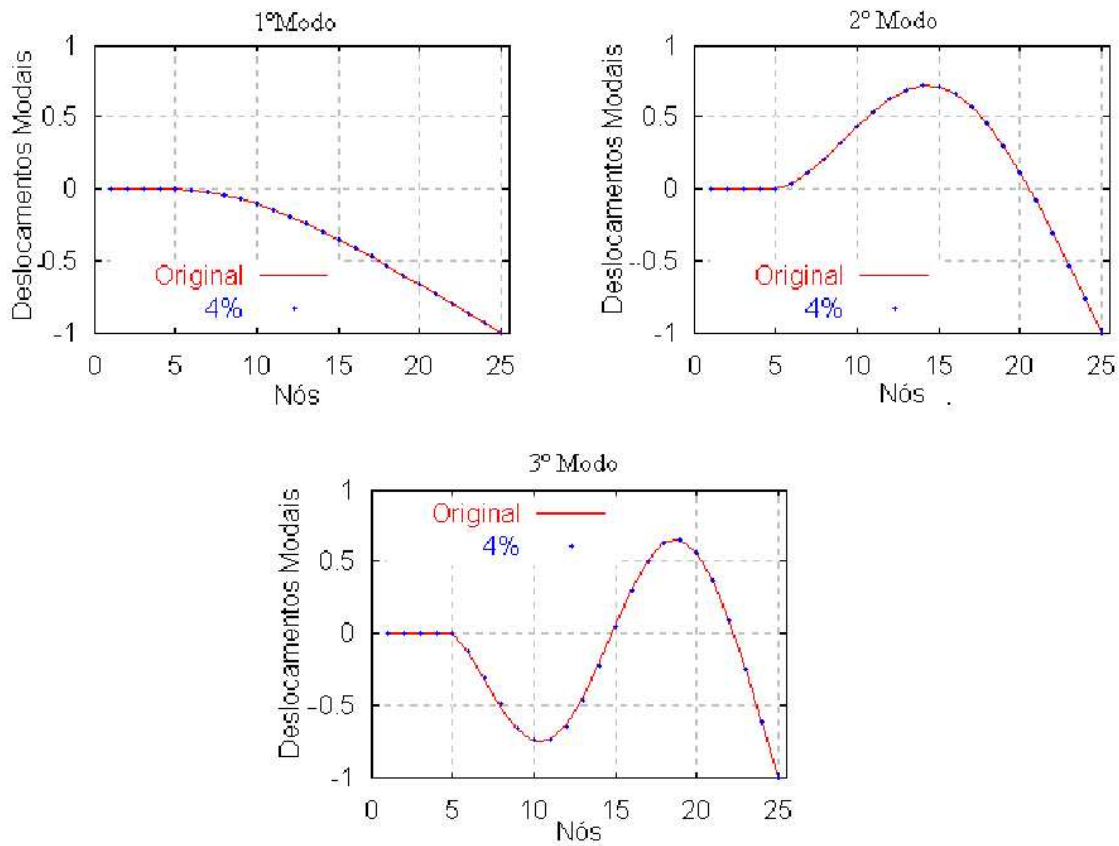


Figura 2: Primeiros modos de vibração.

As variações das frequências naturais da viga, apesar de pequenas, conforme se verifica na Tab. 2, seguem a tendência de aumento à medida que se cresce a rigidez dos apoios elásticos, o que já era esperado, quando se analisa a Eq.(1). Entretanto variações desta ordem de grandeza, sempre inferiores a 2% com as maiores variações nas maiores frequências, dificilmente seriam detectadas experimentalmente.

Considerando-se apenas o histórico do comportamento dinâmico do primeiro modo de vibração na aplicação do MID, pode-se chegar ao gráfico da Fig.3 que apresenta a variação do coeficiente $1/\beta$ (Eq.15) para cada elemento da viga em cada estágio de ganho de rigidez dos apoios elásticos. Analisando esta figura, fica claro que os valores de $1/\beta$ são crescentes com o ganho de rigidez e estes valores máximos ocorrem junto aos elementos sobre os apoios elásticos, mostrando que, neste caso, o MID foi capaz não somente de localizar como também de quantificar a variação de rigidez dos apoios.

Apesar de apresentarem maiores variações percentuais de frequências, as análises do MID para o segundo e terceiro modos não apresentaram resultados satisfatórios. Isto pode estar relacionado a maior imprecisão numérica na determinação de formas modais associadas às frequências mais elevadas.

3.2 Modelo tridimensional

Analisa-se agora um modelo tridimensional obtido a partir de uma tomografia computadorizada da mandíbula humana mostrada na Fig.4, com o implante localizado na região do pré-molar esquerdo. Esta figura mostra também um corte da mandíbula detalhando a região do implante e mostrando a sua estrutura óssea que é composta, basicamente, de dois tipos de

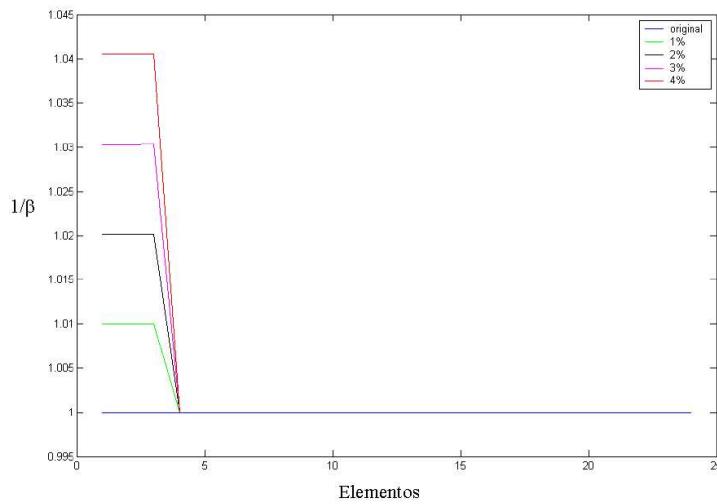


Figura 3: Avaliação da perda de rigidez dos apoios elásticos

materiais. Internamente tem-se osso trabecular, com um módulo de elasticidade cerca de dez vezes menor que o do osso cortical, localizado na parte externa. Uma vez instalado o implante dentário, inicia-se o processo de osseointegração com o desenvolvimento progressivo de uma ligação que impede os deslocamentos relativos entre o implante e a estrutura óssea. Posteriormente, em grande parte dos implantes bem sucedidos (Brinkmann, 1980), a estrutura óssea da região em seu entorno assume características semelhantes ao osso cortical, passando a se chamar *lamina-dura*.

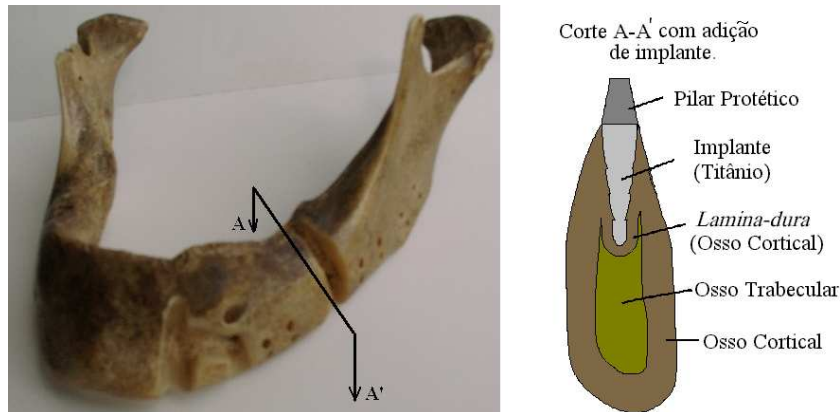


Figura 4: Mandíbula humana e detalhe da locação do implante.

Primeiramente analisou-se um modelo completo que compreende a discretização de toda a mandíbula com elementos isoparamétricos tetraédricos de 10 nós, totalizando 90 289 elementos e 128 251 nós e mostrado na Fig.5a. Por demandar um grande esforço computacional em sua resolução, optou-se então por um modelo simplificado mostrado na Fig.5b, no qual se considera apenas uma parte da mandíbula. Tal modelo não causou modificações significativas aos resultados estáticos obtidos em análises anteriores (Barra et al., 2002), atendendo ao caráter preliminar deste trabalho e resultando numa redução significativa do esforço computacional.

Para avaliar o grau de osseointegração do implante na estrutura óssea, três modelos foram utilizados. Estes modelos constituem-se basicamente no acoplamento de uma barra de alumínio de seção transversal 2 cm × 3 cm ao pilar protético do modelo representado na Fig.5-b em três

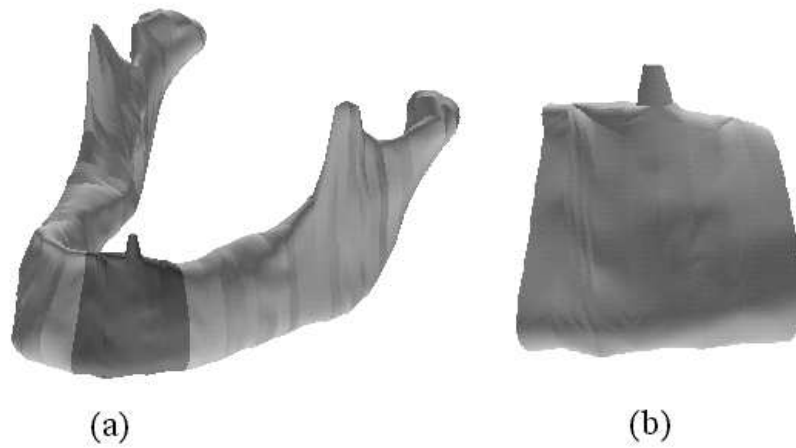


Figura 5: (a) Modelo completo; (b) Modelo simplificado.

configurações distintas, conforme mostrado na Fig.6. Os comprimentos das barras são: 40 cm para os modelos (a) e (b) e 20 cm para o modelo (c).

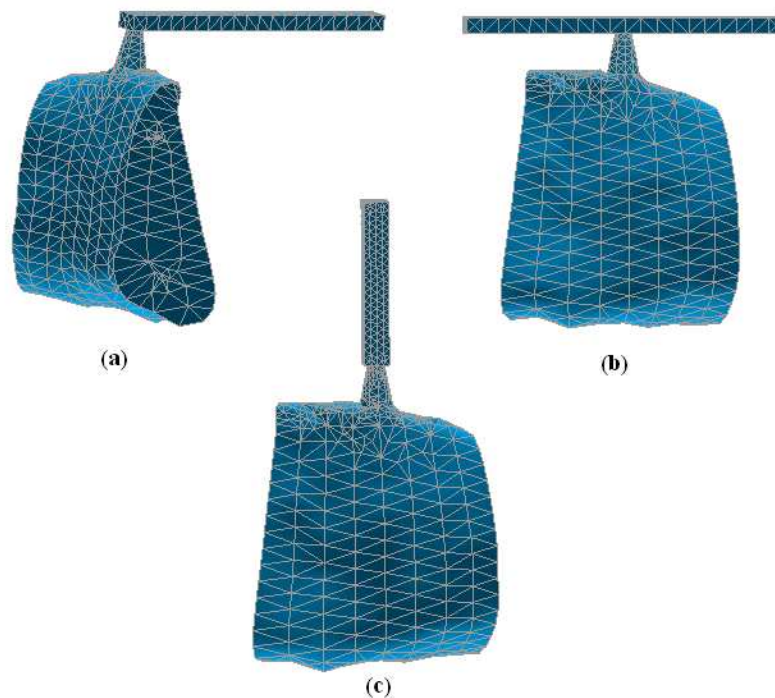


Figura 6: Modelo (a): barra com apoio na extremidade; Modelo (b): barra com apoio no meio do vão e; Modelo (c): barra na direção longitudinal do implante.

Em todos os três modelos considerou-se a hipótese de que o implante e a estrutura óssea estão completamente ligados e que a simulação da evolução do processo de osseointegração se dá através de aumentos sucessivos do módulo de elasticidade numa região no entorno do implante (ver Fig.4). Admite-se que a osseointegração completa acontece para o caso onde o módulo de elasticidade desta região ($E_{lamina-dura}$) seja igual à do osso cortical ($E_{cortical}$) e que a osseointegração inicial (logo após a colocação do implante) se dá para $E_{lamina-dura} = 10\%$

$E_{cortical}$. As características elásticas de cada material utilizado nos modelos são mostradas na Tab.3.

Tabela 3: Propriedades dos Materiais.

Materiais	Módulo de Elasticidade	Coefficiente de Poisson	Referências
Osso Cortical	13700 MPa	0,3	(Cook et al, 1982)
			(Borchers, 1983)
			(Masahiko et al, 1988)
			(Van Rossen et al, 1990)
			(Meijer et al, 1992)
Osso Trabecular	1370 MPa	0,3	(Constanti, 1994)
			(Lozada et al, 1994)
			(Borchers, 1983)
			(Van Rossen et al, 1990)
Titânio (implante)	110000 MPa	0,33	(Meijer et al, 1992)
			(Lozada et al, 1994)
			(Van Rossen et al, 1990)
Lamina-dura	Variável	0,30	(Lewinstein et al, 1995)
Alumínio (barra conectada)	70000 MPa	0,33	(Van Zil et al, 1995)
			(Baiamonte et al, 1996)
			(Borchers, 1983)

As evoluções das frequências naturais para os três modelos adotados podem ser observadas nas Figs.7 (modelo a), 8 (modelo b) e 9 (modelo c). Todas as três figuras apresentam no eixo horizontal a razão $E_{lamina-dura}/E_{cortical}$ (variando entre 0,1 e 1) e no eixo vertical tem-se as razões entre as i -ésimas frequências naturais (f_i), calculadas para os sucessivos valores de $E_{lamina-dura}$, e as respectivas frequências naturais, obtidas para a osseointegração completa (fr_i).

Em todos os três modelos pode-se observar que houve aumento das frequências com o aumento da rigidez da *lamina-dura*, porém o modelo (a) apresentou diferenças mais significativas na evolução das frequências naturais, o que facilita uma indicação mais precisa do grau de osseointegração para o tipo de análise adotada.

Para a aplicação do MID nos modelos adotados tomou-se os deslocamentos modais transversais do primeiro modo de vibração dos nós situados nas retas AB (modelo a), CD (modelo b) e EF (modelo c) conforme indicado na Fig. 10.

Ao contrário do representado nos gráficos de evolução das frequências, na aplicação do MID o caso de osseointegração inicial foi considerado como referência em todas as análises, com isso na Eq.(15) tem-se: ϕ_1 associado a $E_{lamina-dura} = 10\%E_{cortical}$ e ϕ_1^* associado a $E_{lamina-dura} > 10\%E_{cortical}$

Os resultados obtidos aos modelos (a) e (b) não foram satisfatórios pois foram detectadas apenas perturbações provindas possivelmente de erros numéricos em algumas partes da barra, sem deixar clara qualquer região onde ocorreu ganho de rigidez. Um explicação para isso pode ser o fato de que o aumento da rigidez da região no entorno do implante não cau-

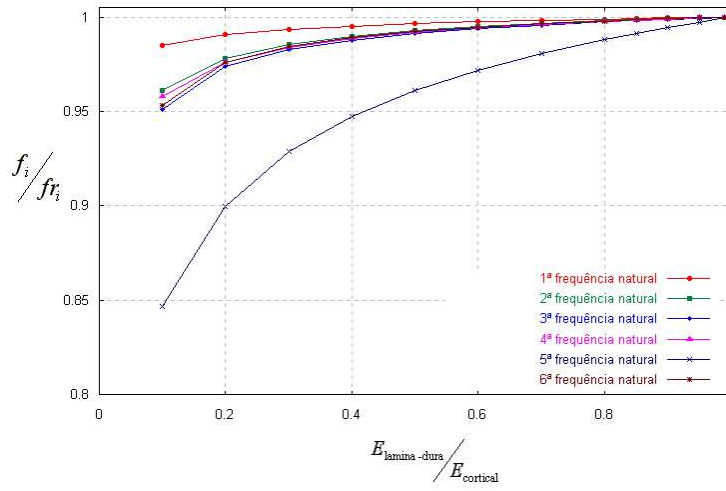


Figura 7: Evolução das frequências - modelo (a).

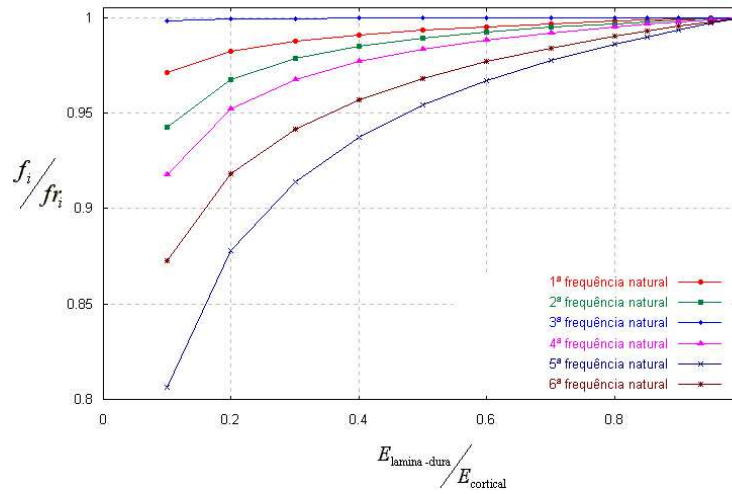


Figura 8: Evolução das frequências - modelo (b).

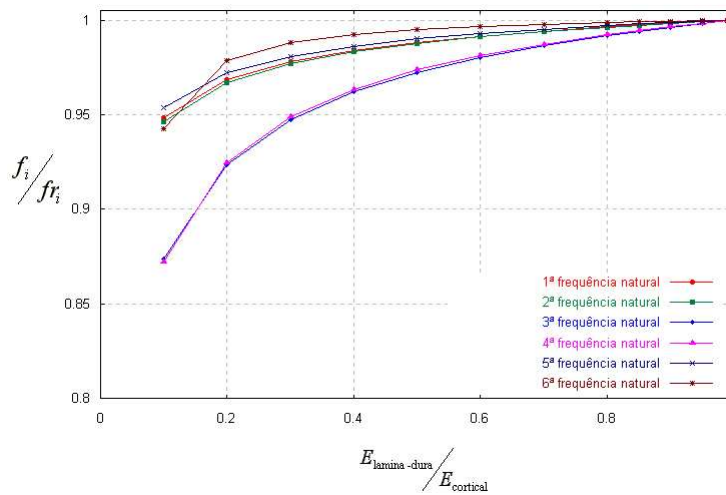


Figura 9: Evolução das frequências - modelo (c).

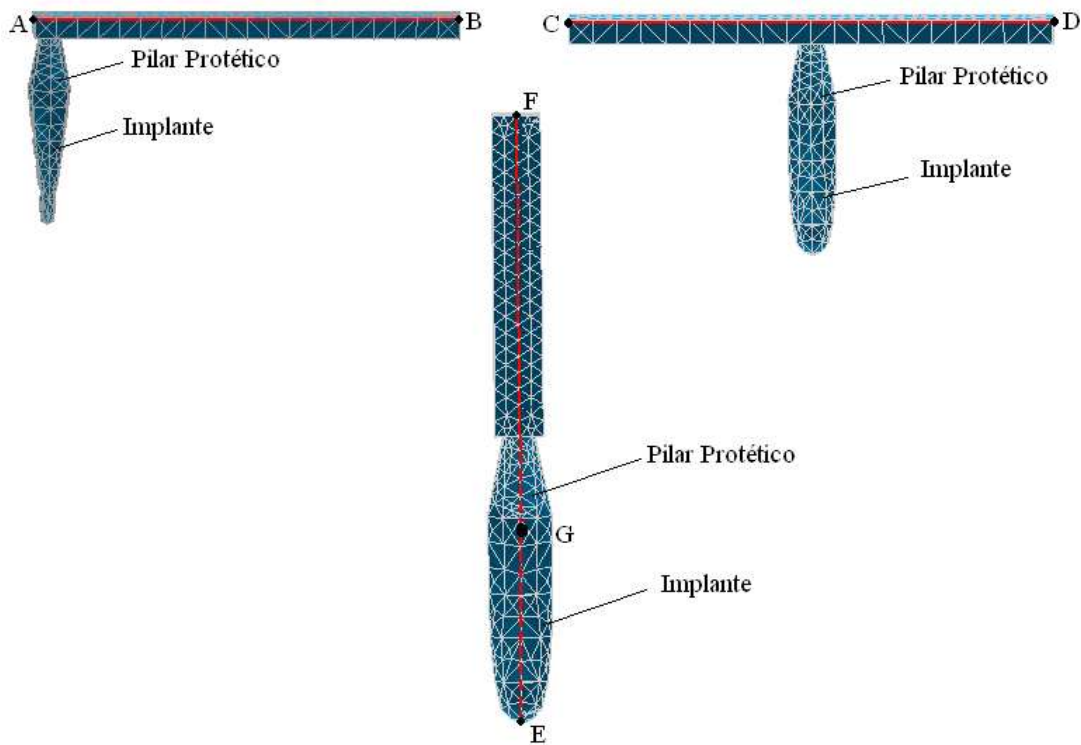


Figura 10: Eixos de nós usados para aplicação do MID

sou mudanças significativas na energia elástica de deformação à flexão na região da ligação barra/pilar protético.

Já a aplicação do MID para o modelo (c) apresentou melhores resultados conforme se verifica na Fig(11). Pode-se notar que os valores de $1/\beta$ na região do implante (Reta EG - Fig.10) são mais significativos apontado que houve ganho de rigidez. Observa-se também que os valores de $1/\beta$ convergem para os valores da osseointegração completa, fato que pode ser apontado com um indicador da osseointegração numa análise via MID.

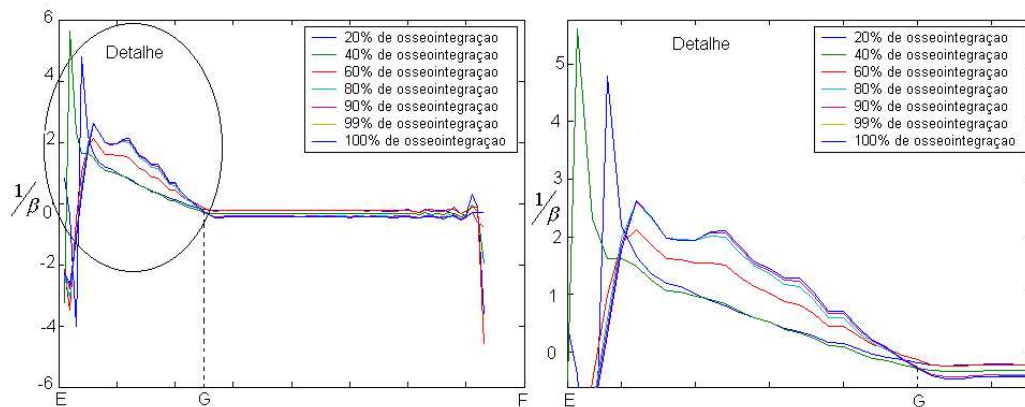


Figura 11: Qualificação do ganho de rigidez entorno do implante.

4. Conclusões

O presente trabalho apresentou duas estratégias utilizando respostas dinâmicas de modelos numéricos visando determinar a possibilidade da utilização das mesmas na avaliação da

osseointegração de implantes dentais. A primeira estratégia, que faz uma análise direta da variação das frequências, apresentou resultados consistentes em todos os casos analisados, sempre permitindo estabelecer uma relação entre os valores obtidos para as frequências naturais e a osseointegração. Entretanto, as variações das frequências podem ser tão pequenas a ponto de não serem detectadas experimentalmente. A segunda estratégia, que utiliza o MID, se apresentou eficiente em alguns casos, mas em determinadas situações não detectou aumento do nível de osseointegração.

É importante destacar que apesar do MID não ter apresentado bons resultados em alguns casos, houve situações em que este método detectou, com valores significativos de $1/\beta$, pequenas variações de rigidez do sistema analisado, permitindo, nestas situações, uma determinação mais sensível do grau de osseointegração do que com o estudo da evolução de frequências.

Apesar dos resultados obtidos neste trabalho não serem plenamente satisfatórios pode-se concluir que a análise dinâmica é uma ferramenta em potencial na avaliação da osseointegração de implantes dentais, o que fomenta a continuidade desta linha de pesquisa.

Referências

- Akagawa, Y., Wadamoto, M., Sato, Y. e Tsuru, H., 1992, "The three-dimensional bone interface of an osseointegrated implant: A method for study.", *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.68, n.5, pp.813-816.
- Alvandi, A., Cremona, C., 2002, "Reliability of bridge integrity assessment by dynamica testing.", *First European Workshop on Structural Health Monitoring*, Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- Baiamonte, T., Abbate, M.F. e Pizzarelo, F., 1996, "The experimental verification of the efficacy of finite element modeling to dental implant system", *Journal of Oral Implantology*, vol.22, n.2, pp.104-110.
- Barra, L.P.S., Toledo, E.M. e Silva, C.E., 2002, "Experimentos na modelagem Biomecânica de implantes dentários", *Anais do V SIMMEC - Simpósio Mineiro de Mecânica Computacional*, pp.119-127.
- Barra, L.P.S., Toledo, E.M. e Silva, C.E., 2002, "Modelling experiments in biomechanical behaviour of dental implants", *Anais do I MECOM - First South American Congress on Computational Mechanics*, pp.119-127.
- Borchers, L. & Reichart, P., 1983, "Three-dimensional Stress Distribution Around a Dental Implant at Different Stages of Interface Development", , vol.62, n.2, pp.155-157.
- Branemark, P.I., Hansson, B.O., Adell, R., Breine, U., Lindström, J., Hallén, O. e Öhman, A., 1977, "Osseointegrated Implants in the Treatment of the Edentulous Jaw - experience from a 10-year period.", *Scand J Plast Reconstr Surg*, vol.16, pp.7-132.
- Brinkmann, E., 1980, "Enossale Implantate aus Aluminiumoxid-keramik", *Journal of Dental Research*, vol.62, n.2, pp.155-157.
- Canay, S., Hersek, N., Akpınar, L. e Asik, Z., 1996, "Comparison of Stress Distribution Around Vertical and Angled Implants with Finite Element Analysis", *Quintessence International*, vol.27, n.9, pp.591-598.
- Clough, R.W., Penzien, J., 1993, "Dynamic of structures", McGraw-Hill.

- Constanti, E.U., 1994, "Investigação do estado de tensões em ossos usando o método dos elementos finitos", Mestrado em Estruturas Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília.
- Cook, S.D., Weinstein, A.M. e Klawitter, J.J., 1982, "A Three-dimensional Finite Element Analysis of a Porous Rooted Co-Cr-Mo Alloy Dental Implant", *Journal of Dental Research*, vol.61, n.1, pp.25-29.
- Cornwell, P.J., Doebling, S.W. e Farrar, C.R., 1999, "Application of the Strain Energy Damage Detection Method to Plate-Like Structures", *Journal of Sound and Vibration*, vol.224, n.2, pp.359-374.
- Faulkner, M.G., Wolfaardt, J.F. e Chan, A., 1999, "Measuring abutment/implant integrity with the Periotest instrument", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol.15, n.5, pp.681-688.
- Faulkner, M.G., Giannitsios, D., Lipsset, A.W. e Wolfaardt, J.F., 2001, "The use and abuse of the Periotest for 2-piece implant abutment systems", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol.16, n.4, pp.486-494.
- Ferreira, P.C., 2003, "Modelagem do comportamento estrutural de uma mandíbula edêntula com implantes vertical e angulado", 2003, Dissertação de mestrado, UFMG, MG, Brasil.
- Inou, N., Iioka, Y., Fujiwara, H. e Maki, K., 1996, "Functional Adaptation of Mandibular Bone", Springer-Verlag, pp.23-42.
- Lewintein, I., Banks-Sills, L. e Eliase, R., 1995, "Finite element analysis of a new system (il for suporting an implant-retained cantilever prothesis)", *Journal of Oral Implantology*, vol.10, n.3, pp.355-366.
- Lozada, J.L., Abbate, M.F., Pizzarello, F.A. e James, R.A., 1994, "Comparative Three-dimensional Analysis of Two Finite-element Endosseous Implant Design", *Journal of Oral Implantology*, vol.20, n.4, pp.315-321.
- Maarit, A.M.S. & Virtanen, K., 1993, "Failures in the Osseointegration of Endosseous Implants", *Oral Maxillofac Implants*, n.8, pp.92-97.
- Masahiko, T., Tsutsumi, S., Fukunaga, S., Takamori, Y., Harada, S., Kurokawa, F., Takashima, F. e Maruyama, T., 1988, "Stress distribution around dental implants: influence of superstructure, lenght of implants and height of mandible", *Journal Osaka Univ. Dent. Sch*, vol.28, pp.73-82.
- Meijer, H.J.A., Kuiper, J.H., Starmans, F.J.M. e Bosman, F., 1992, "Stress Distribution Around Alumina, Hydroxyapatite and Plasma-sprayed Titanium Dental Implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.68, n.?, pp.96-102.
- Meijer, H.J.A., Kuiper, J.H., Starmans, F.J.M. e Bosman, F., 1992, "Stress "Distribution Around Dental Implants: Influence of Superstructure, Length of Implants and Height of Mandible", *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.68, n.96, pp.96-102.
- Privitzer, E., Widera, O. e Tesk, J.A., 1974, "Some Factors Affecting Dental Implants Desig", VI Annual Biomaterials Symposium.

- Ramp, L.C., Reddy, M.S., Jeffcoat, R.L., 2000, "Assessment of osseointegration by non-linear dynamic response.", *Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol.15, n.2, pp.197-208.
- Ramp, L.C., Jeffcoat, R.L., 2001, "Dynamic Behaviour of Implants as a Measure of Osseointegration.", *Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol.16, n.5, pp.637-645.
- Sahin,S., Wadamoto,M., Akagawa.Y e Sato,Y., 1992, "The three-dimensional bone interface of an osseointegrated implant. II: A morphometric evaluation after three months of loading.", *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.76, n.?, pp.176-180.
- Schnitmann, P.A., Schulmann, L.B., 1980, "Recommendations of the Consensus Development Conference on Dental Implants", *Jornal Am. Dent. Association*,vol.98, pp.373-377.
- Tesk,J.A. & Widera,O.,1973, "Stress Distribution in Bone Arising from Loading on Endosteal Dental Implants" *IntJournal of Biomedical material Research*, vol.7, n.3, pp.251-261.
- Van Rossen, I.P.,Braak, L.h., Putter, C., Groot, K.,1973, "Stress-absorbing elements in dental implants" *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.64, n.2, pp.198-205.
- Van Zyl, P. P., Grudling, N.L. e Jooste, C.,1995, "Three-dimensional finite element model oh a human mandible incorporating six osseointegrates implants for stress analysis of mandibular cantilever prostheses" *International Journal of Oral & Maxillofacial Implant*, vol.10, n.4, pp.51-57.
- Young,C.J. & Chong,H.H.,1996, "A 1-Year Radiographic Evaluation of Marginal Bone Around Dental Implants", *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol.11, pp.811-81.
- Wadamoto, M., Akagawa.Y, Sato,Y. e Kubo,T.,1996, "The three-dimensional bone interface of an osseointegrated implant. I: A morphometric evaluation in inicial healing.", *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol.76, n.2, pp.170-175.
- Weinstein, A.M., Klawitter, J.J., Anannd, S.C. e Shuessler, R.,1976, "Stress Analysis of Porous Rooted Dental Implants.", *Journal of Dental Research*, vol.55, pp.772-777.
- Widera,G.E.O., Tesk,J.A. and Privitzer,E.,1796, "Interaction Effects Among Cortical Bone, Cancellous Bone and Periodontal Membrane of Natural Teeth and Implant", *Journal Biomed. Mat. Res. Symp.*, vol.7, pp.613-623.