

Desenvolvimento de um torquímetro de precisão para o estudo do desempenho de implantes osseointegrados

Eduardo Carlos Bianchi

*Prof. Livre Docente do Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, Bauru, SP, Brasil.
E-mail: bianchi@feb.unesp.br*

Paulo Roberto de Aguiar

Prof. Livre Docente do Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP, Bauru, SP, Brasil

Marcelo de Almeida Souza Santos

Engenheiro Mecânico pela UNESP, Bauru, SP, Brasil

João Roberto Gonçalves

Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP - Departamento de Clínica Infantil, SP, Brasil

Darceny Zanetta Barbosa

Universidade de Uberlândia - Departamento de Cirurgia, MG, Brasil

Rodrigo Eduardo Catai

Doutorando em Engenharia Mecânica na UNESP, Guaratinguetá, SP, Brasil

Resumo

Esse artigo tem como objetivo apresentar o projeto, a construção e os resultados obtidos no estudo da osseointegração com um torquímetro de alta precisão. Esse torquímetro, especialmente desenvolvido para este tipo de pesquisa, pode ser usado para desenvolver pesquisas odontológicas da osseointegração de implantes dentários. Os implantes foram feitos em sete coelhos que foram avaliados após 21 e 42 dias. Alguns coelhos sofreram estimulações ultra-sônicas em seus implantes, enquanto outros foram analisados sem se submeterem a estas estimulações. Os resultados mostraram o bom funcionamento do torquímetro e que o torque para remover o implante do coelho é diretamente proporcional ao tempo de osseointegração e que as estimulações ultra-sônicas podem influenciar o torque necessário para remover o implante em alguns casos.

Palavras-chaves. Torquímetro, odontologia, osseointegração, implantes dentários.

Abstract

This paper has as objective, to present the project, the construction and the results obtained in the study of the osseointegration with a torque gauge of high precision. The torque gage, especially developed for this research type, was used to improvement of odontological research on osseointegration of dental implant. The implants were done in seven rabbits that were available after 21 and 42 days. In some rabbits were made ultra-sonic stimulations at rabbits' implants. The results showed that the torque to remove the implant of the rabbits is directly proportional at the time of osseointegration and that the ultra-sonic stimulations can also influence the torque in some cases.

Keywords: Torque gauge, odontological research, osseointegration, dental implant.

1. Introdução

De acordo com Correia (1999), deve-se ressaltar que nos últimos anos vem sendo possível e cada vez mais frequente a reposição de dentes ausentes por implantes osseointegrados como suporte para próteses. A substituição de partes perdidas do corpo humano por materiais aloplásticos tem sido uma grande preocupação da humanidade. Os implantes, para substituição de dentes, constituem uma das situações mais delicadas entre todas as aplicações da implantologia, pois convivem com problemas inerentes aos mesmos como, por exemplo, a rejeição por parte do sistema imunológico, os efeitos da corrosão do material implantado, a liberação de íons metálicos e a resistência a altos níveis de carga mecânica.

Na área odontológica, especialmente nas pesquisas em osseointegração de implantes dentários, o alto índice de sucesso dos chamados implantes de Branemark (1969) tem sido atribuído ao contato direto do tecido ósseo com o implante, capaz de resistir às grandes forças geradas durante a mastigação.

De acordo com Albrektsson e Zarb (1993), a osseointegração pode ser definida como um processo através do qual a fixação de um material que seja aloplástico e permaneça imóvel clinicamente possa se manter integrado ao tecido ósseo após a conexão da prótese e incidência das cargas oclusais. Segundo Correia (1999), esse processo de osseointegração, embora ainda não seja muito bem definido, no contexto científico, o sucesso clínico dos implantes como estruturas rígidas e seguras, já se encontra bem difundido.

Para se medir a capacidade mecânica do implante em resistir às forças de desenroscar, muitas vezes não é possível a adaptação de um instrumento convencional, pois, geralmente, são utilizadas cobaias como coelhos para a realização dos ensaios. Nesse caso, a opção encontrada foi o desenvolvimento de um aparelho específico que atendesse as necessidades de tais pesquisas.

A compra de um aparelho convencional fabricado em larga escala, o qual

tem suas características construtivas, ergométricas e aplicações especificadas pelo seu fabricante, implica a adaptação de testes ou até mesmo mudanças laboratoriais, para que tal instrumento possa vir a cumprir sua função.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o projeto, a construção e os resultados obtidos no estudo da osseointegração com um torquímetro de precisão, especialmente desenvolvido para esse tipo de pesquisa.

Trata-se de um instrumento equipado com extensômetros elétricos, que possibilita a aquisição de dados comparativos de tempo e intensidade da osseointegração, medindo o torque necessário para ocorrer a ruptura da ligação osso-metal, correlacionando o torque de soltura com o grau de osseointegração desses implantes, especialmente aqueles fabricados em titânio puro, material este o mais aceito nos dias atuais para a confecção de implantes, devido às suas características de biocompatibilidade. De acordo com Aragonés (1996), deve-se ressaltar que os implantes com titânio apresentam características de biocompatibilidade altamente desejáveis para o organismo humano, sendo que outra característica interessante desse elemento é sua alta resistência à corrosão.

2. Importância do teste de torque

Entre os testes que podem-se realizar com os implantes colocados no tecido ósseo, situa-se o teste de torque, que consiste em desenroscar um implante com formato de parafuso para medir a força necessária para ocorrer a ruptura da ligação osso-metal. Esse teste, apesar de estar sujeito a variações como a qualidade do tecido ósseo em que o material encontra-se implantado e o módulo de elasticidade do material deste, proporciona uma avaliação da capacidade mecânica do implante em resistir às forças mastigatórias que serão impingidas ao conjunto implante/prótese dental.

Através da avaliação da resistência ao desenroscamento, pode-se ter uma idéia bastante aproximada, não ape-

nas da quantidade de contato osso-metal, mas também da própria resistência do osso hospedeiro às forças mecânicas, em uma simulação do que ocorre durante os esforços mastigatórios.

Johansson e Albrektsson (1992) relataram que implantes com forma de parafuso colocados na tíbia e fêmur de coelhos ofereciam resistência crescente ao desenroscamento até 12 meses pós-operatórios. Verificaram, por meio de testes de torque, que com 20 dias de pós-operatório eram necessários 0,10 a 0,15 N.m para mobilizar os implantes, sendo que após um ano foram necessários 0,85 a 0,90 N.m. Paralelamente a esse fato, notaram também que havia nesse período um aumento do contato osso-metal.

Sennerby et al. (1992) estudaram simultaneamente a influência da quantidade e o tipo de tecido ósseo em contato com o implante. Para tanto fizeram testes de remoção por torque e avaliaram morfologicamente implantes colocados na tíbia e na porção femural da articulação do joelho de coelhos aos 42 dias, 90 dias e 180 dias. O torque necessário para remover os implantes intra-articulares aumentou com o tempo, mas esse aumento não foi intenso como nos implantes colocados na tíbia. Com 42 dias era necessária menor força para remover os implantes intra-articulares apesar de haver uma quantidade significativamente maior de osso em contato com as espiras desses implantes, quando comparados com aqueles colocados na tíbia. Os resultados indicaram que a resistência ao desenroscamento é dependente da quantidade de osso cortical ao redor do implante.

Segundo Aragonés (1996), também as texturas superficiais dos implantes foram analisadas por Carlsson et al. (1988). Estes fizeram 28 implantes no fêmur de 7 coelhos, dos quais 14 implantes foram eletropolidos (rugosidade de 10nm) e 14 implantes eram rugosos (rugosidade de 1000nm). Pode-se concluir que a média do torque utilizada para a remoção dos implantes lisos foi de 17,2Ncm e para os rugosos foi de 26,4Ncm, após 6 semanas da implantação. Portanto, quanto mais rugoso era o implante, maior era o torque necessário para retirar esse implante.

3. Materiais e métodos

Para a realização dos ensaios de osseointegração, utilizaram-se 8 coelhos brancos da raça NORSORK, onde foram usados implantes (na tíbia desses animais) de 3,5mm de diâmetro e 5,0mm de comprimento, com forma de parafuso, feitos de titânio comercialmente puro. Inicialmente foram esterilizados por raios gama emitidos pelo Cobalto 60 e estimulações ultra-sônicas em um dos lados operados durante 20 minutos diários por um período de 20 ou de 41 dias, dependendo do tempo de osseointegração, através de um aparelho estimulador de crescimento ósseo modelo 1131-E, com 200 ms de largura de pulso, modo pulsado com 1.000 Hz de frequência de repetição, frequência fundamental de 1,5 MHz e intensidade de 31 mW/cm².

4. Seleção de materiais para construção do torquímetro

Para a obtenção de uma rigidez torsional apropriada do elemento sensor (eixo onde serão colados os extensômetros), foram feitos inicialmente cálculos para a utilização de aço carbono ABNT 1010 de seção transversal anelar. Por esse metal possuir um módulo de rigidez à torção relativamente alto, chegou-se a um elemento sensor de seção transversal anelar de espessura reduzida, que impossibilitava a fixação do extensômetro através de colagem. Isto inviabilizou o seu uso, e de outros materiais como o aço ABNT 4340 ou ABNT 8640 com elevado módulo de rigidez, pela dificuldade em construí-lo.

Foram então recalculadas as dimensões do elemento sensor, utilizando-se o latão C_uZ_n37 cujo módulo de rigidez é de aproximadamente 50% com relação ao do aço carbono. Portanto, o diâmetro para a colagem dos extensômetros foi significativamente aumentado, possibilitando sua colagem.

O dimensionamento do elemento sensor foi realizado de tal forma que o local onde são colocados os extensô-

tros elétricos resistivos (na região central do eixo principal) tenha a área de menor rigidez à torção, se comparada às demais, cujas dimensões foram tomadas usando esse critério, conforme é apresentado na Figura 1.

As formas arredondadas e os raios de concordância entre os diferentes diâmetros do elemento sensor têm como principal função evitar o acúmulo de tensões que geralmente são encontradas em peças que contêm cantos vivos, podendo prejudicar a linearidade da deformação do elemento sensor. Para reduzir o atrito entre o invólucro, que protege e sustenta o elemento sensor, optou-se pelo uso de um rolamento de esferas.

Para a seleção desse rolamento, foram considerados dois aspectos básicos: o seu diâmetro interno foi o maior possível para garantir a máxima rigidez no elemento sensor e, simultaneamente, o menor diâmetro externo para não aumentar o diâmetro externo do torquímetro, o que prejudicaria sua versatilidade em pequenos espaços. As pontas utilizadas no aperto dos implantes, que se acoplam ao elemento sensor, foram projetadas para que tivessem a maior intercambiabilidade possível.

Para isso, optou-se por parafusos com sextavado interno de cabeça abaulada e com recartilhada cilíndrica fina, como mostra a Figura 2.

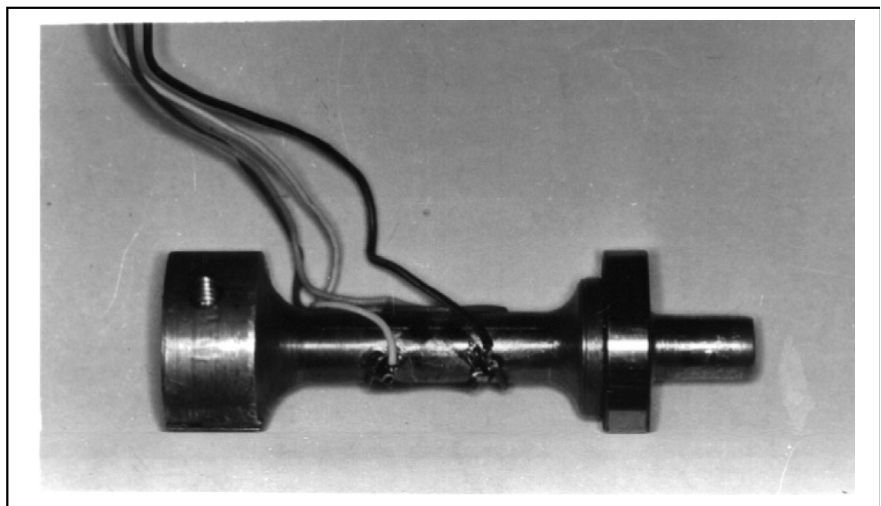


Figura 1 - Eixo principal onde é colocado os extensômetros elétricos resistivos, elemento denominado de elemento sensor.

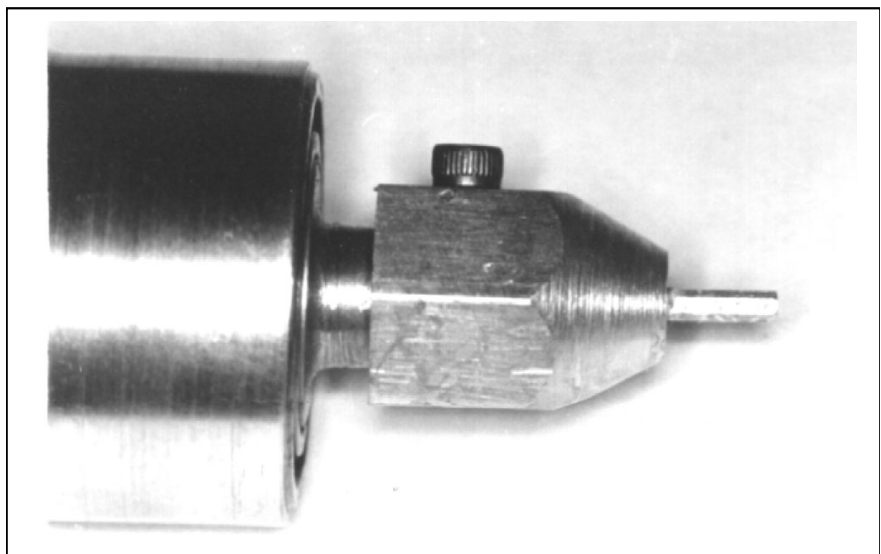


Figura 2 - Ponta intercambiável acoplada ao elemento sensor.

5. Construção do torquímetro

O elemento sensor foi usinado de forma a proporcionar os melhores resultados possíveis. Após um equacionamento detalhado, obtiveram-se as seguintes características principais (Beer et al., 1982):

Limite de tensão à torção	$T_{\text{tmax}} = 80 \text{ MPa}$
Módulo de rigidez à torção	$G = 42000 \text{ MPa}$
Torque máximo solicitado	$M = 1,500 \text{ N.m}$
Deformação angular do eixo principal	$\varphi = 16,46 \times 10^{-6} \text{ rad}$
Alongamento linear de cada extensômetro	$\zeta = 82,13 \mu\text{m}$

Sendo a deformação mínima possível de ser registrada pelo extensômetro usado $20 \mu\text{m}$, a seção escolhida preenche os requisitos necessários. O invólucro que fixa o elemento sensor foi obtido a partir de um tubo de aço de baixo carbono, tendo como fundo um recorte circular de uma chapa de mesmo material que foi fixado por meio de solda oxi-acetilênica, formando, então, uma geometria semelhante a um “corpo cilíndrico”. Esse fundo foi furado para dar acesso aos fios que ligam os extensômetros à ponte amplificadora de sinais.

A face externa do invólucro foi recartilhada com o propósito de evitar-se o escorregamento do aparelho da mão do seu usuário. Como operação final, o invólucro recebeu um banho de zinco para evitar-se oxidação.



Figura 3 - Ferramentas utilizadas para a fixação do implante.

Quanto aos fios de ligação entre os extensômetros e a ponte amplificadora, foi usado inicialmente um cabo tipo telefônico (multi-fio) de alumínio, que acarretava em oscilações nas leituras finais dos esforços de torção. Posteriormente foi utilizado um cabo tipo “Flat Cable”, que permitiu o controle de tais oscilações, dentro de valores aceitáveis para esse projeto. As Figuras 3 e 4 apresentam um detalhe das ferramentas utilizadas para a fixação do implante e colagem dos extensômetros.

A reta de calibração do torquímetro foi determinada aco-
plando-se à extremidade do mesmo uma haste de 200 mm de comprimento, confeccionada em aço baixo carbono, simetricamente posicionada no sentido transversal desta, formando-se, assim, um braço de alavanca. Na extremidade dessa haste foram colocados vários pesos, devidamente calibrados em uma balança de precisão, de modo a gerar esforços torcionais conhecidos, que foram calculados e comparados com seus respectivos gráficos.

6. Experimentação e resultados obtidos

O principal valor requerido na experimentação é o valor do torque máximo de desenroscamento do implante osseointegrado, que se dá instantaneamente, antes do rompimento da osseointegração entre o implante e a tíbia da cobaia.

Na Figura 5 é apresentada um foto no momento onde o torquímetro está desenroscando um implante osseointegrado da tíbia de um coelho.

Ressalta-se que no início do desrosqueamento, o torque tende a aumentar até o momento que chega no seu máximo, que corresponde à máxima capacidade de fixação do implante. Posteriormente, o valor do torque decresce acentuadamente, chegando ao valor zero.

Em um grupo de coelhos, designado “controle”, não foi realizado nenhum tipo de estimulação; enquanto que nos coelhos designados “experimental” houve estimulações ultrassônicas para estimular o crescimento ósseo.

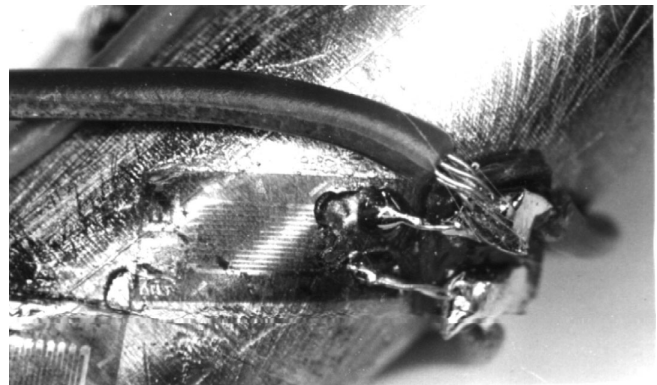


Figura 4 - Detalhe da colagem dos extensômetros.

As médias para cada tempo e grupo estão representadas na Figura 6 e os valores obtidos nas medições dos esforços torcionais de desenroscamento dos implantes estão expressos na Tabela 1.

Esses resultados foram realizados através de estimulações ultra-sônicas durante vinte minutos diários por um período de 21 ou de 42 dias, dependendo do prazo desejado para analisar a osseointegração.

Analisando-se a Figura 6, notam-se diferenças significativas nos torques obtidos em função do tempo transcorrido dos implantes, tanto para os coelhos denominados "controle" (sem nenhuma estimulação ultra-sônicas) e os denominados "experimental" (com estimulações ultra-sônicas de 20 minutos diários). No caso dos coelhos de controle, obteve-se o valor médio de torque de 17,84 N.m após 21 dias de implante e de 25,54 N.m após 42 dias de implante, perfazendo-se um aumento do torque obtido em torno de 30%. Já o aumento de torque para os coelhos denominados de experimental foi de cerca de 36% para o aumento de número de dias de 21 para 42 dias.

Assim, as amostras testadas aos 42 dias após a inserção do implante precisaram de maiores esforços de torção para serem mobilizadas do que aquelas testadas aos 21 dias.

Em relação às diferenças existentes entre os grupos de controle e experimental, as mesmas são muito reduzidas quando analisadas após 21 dias de implante, porém são expressivas, em torno de 12%, quando os coelhos são analisados após 42 dias.

7. Conclusões

Pode-se concluir que o torquímetro de precisão, desenvolvido especificamente para o estudo de implantes osseointegrados, apresentou um bom desempenho, possibilitando a medição do torque de desenroscamento dos implantes.

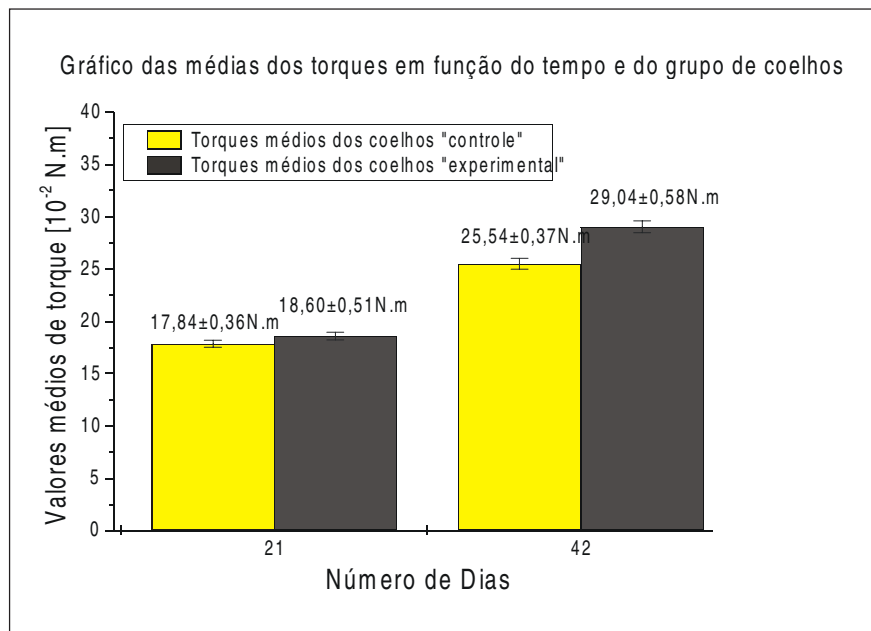


Figura 7 - Valores médios dos esforços de torção obtidos para os ensaios realizados com o grupo de coelhos denominados "controle" (sem nenhuma estimulação ultra-sônica) e os denominados "experimental" (com estimulações ultra-sônicas), após 21 e 42 dias, sendo que o erro dos valores é 2%.

Tabela 1 - Valores dos esforços de torção obtidos para os ensaios realizados com o grupo de coelhos denominados "controle" (sem nenhuma estimulação ultra-sônica) e os denominados "experimental" (com estimulações ultra-sônicas), após 21 e 42 dias.

Número do Coelho	Valores de Torques Obtidos (10 ⁻² N.m)			
	Controle		Experimental	
	21 dias	42 dias	21 dias	42 dias
1	21,4	27,2	16,5	31,3
2	15,6	27,5	24,0	28,2
3	20,0	25,1	13,1	27,4
4	19,6	24,4	18,3	26,8
5	15,2	25,4	18,8	32,6
6	16,3	21,0	16,4	30,0
7	16,8	28,2	23,1	27,0
Valor médio do torque (10⁻² N.m)	17,84	25,54	18,6	29,04



Figura 5 - Integração entre o torquímetro e tibia na posição de ensaio. Momento em que o torquímetro está desenroscando um implante osseointegrado da tibia de um coelho.

Durante os ensaios não foi observada nenhuma falha técnica do instrumento.

Quanto à análise odontológica, pode-se concluir que o torque de desrosqueamento de implantes é diretamente proporcional ao tempo de ósseointegração, pois o torque necessário para o desrosqueamento dos implantes aumentou em função do tempo.

Analisando-se a influência das estimulações ultra-sônicas, tem-se que, quando estas foram aplicadas durante 21 dias, não se obteve uma grande diferença dos torques entre o grupo de coelhos designados de “controle” e “experimental”. Porém, quando os coelhos sofreram estimulações durante 42 dias, notou-se que o torque necessário para desrosquear o implante foi cerca de 13% maior, em relação aos coelhos que não sofreram estimulações ultra-sônicas durante esses 42 dias.

8. Agradecimentos

Manifestamos nossos agradecimentos ao CNPq pelo apoio financeiro concedido à realização desse trabalho.

9. Referências Bibliográficas

- ALBREKTSSON, T., ZARB, G. A. Current interpretations of the osseointegration response: clinical significance. *Int. J. Prosthodont.*, v. 6, n. 2, p. 95-105. 1993.
- ARAGONES, L. C. A. *Análise comparativa do comportamento de implantes de Ti cp com diferentes tratamentos de superfície. Análises microscópica e de torque de remoção.* Bauru: USP, 1996. 132p. (Tese de Doutorado).
- BEER, F. P. et al. *Resistência dos materiais.* v. 1, p. 113-178. 1982.
- BRANEMARK, P. I. et al. Intraosseous anchorage of dental prothesis. Experimental studies. *Scand. J. plast. reconstr. Surg.*, v. 3, p. 81-93. 1969.
- CARLSSON, L. V., RÖSTLUND, T., ALBREKTSSON, B., ALBREKTSSON, T.

Removal torque for polished and rough titanium implants. *Int. J. Oral & Maxillofac. Implants*, v. 3, n. 1, p. 21-24. 1988.

CORREIA, S. M. B. Acompanhamento longitudinal do sucesso das próteses suportadas por implantes osseointegrados do sistema Napio. Bauru: USP, 1999. 305p. (Tese de Doutorado).

JOHANSSON, C., ALBREKTSSON, T. Integration of screw implants in the rabbit. A 1-year follow-up of removal torque of titanium implants. *Int. Oral Maxillofac. Implants*, v.7, p.62-71. 1992.

SANTOS, M. A. S., BIANCHI, E. C. Desenvolvimento de um torquímetro de alta precisão em pesquisas odontológicas. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE - NORDESTE, Belém/PA, Brasil, p. 344-347. 1994.

SENNERBY, L. et al. Amorphometric and biomechanic comparison of titanium implants inserted in rabbit cortical and cancellous bone. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, v.7, p.62-72. 1992.

**Artigo recebido em 03/07/2003 e
aprovado em 04/08/2003.**



1936 - 2003

Não esconda seu trabalho.

Publique-o na REM.

67 anos divulgando ciência.

www.rem.com.br

www.scielo.br