

DESENVOLVIMENTOS DE TECNOLOGIA E DISPOSITIVO PARA A MEDIÇÃO DE TORQUE DE FIXAÇÃO DE ELEMENTOS ROSCADOS

Cristiano Stefano Mucsi, csmucsi@gmail.com

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN - CNEN/SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2241 - Cidade Universitária
CEP 050508-000 São Paulo – SP

Eduardo José Nogueira, edujnogueira@ig.com.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo campus Bragança Paulista – IFSP

Luís Cláudio Aranha, aranhaluis@usp.br

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN - CNEN/SP

Francisco Carlos Ceoni, fceoni@usp.br

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN - CNEN/SP

Edilson Rosa Barbosa de Jesus, erbjesus@ifsp.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo campus Bragança Paulista – IFSP

Jesualdo Luiz Rossi, jelrossi@ipen.br

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN - CNEN/SP

RESUMO. O objetivo deste trabalho concentra-se no desenvolvimento do conhecimento, para a medição de microtorque de fixação de elementos roscados. O controle do torque de fixação de elementos roscados constitui um problema cuja solução pode ser de grande importância, tanto para a indústria (máquinas parafusadeiras em linhas de montagem) quanto para a área de pesquisa e desenvolvimento (torque de inserção e de fixação de parafusos em geral, em especial de implantes dentários). Para este desenvolvimento estão sendo utilizados os conhecimentos da mecatrônica, para a construção de um dispositivo capaz de garantir a inserção de um elemento roscado em um substrato até um determinado valor de torque e a sua extração. Estas ações com movimentos e esforços de torção registrados digitalmente para análise e conclusões. Como resultados deste trabalho é apresentado um protótipo de equipamento, concebido, projetado e construído com alinhamento dos eixos, para torção e medição, menor que 0,05 mm (5×10^{-5} mm). São apresentados também os resultados dos procedimentos de ajustes e de calibração do dispositivo de medição de torque. A calibração do dispositivo de torque, onde ocorre a deformação mecânica correspondente ao torque foi realizada, adequando o aparelho para a medição de microtorque, entre 0 Ncm e 100 Ncm.

Palavras-chave: mecatrônica, torquímetro, microcontroladores, implantes dentários.

1. INTRODUÇÃO

O controle do torque de fixação de elementos roscados (porcas, parafusos, etc.) constitui fator importante em equipamentos utilizados na indústria, pois, se adequadamente utilizados, garantem a repetibilidade dos apertos dos elementos de fixação, nas linhas de montagem de máquinas e equipamentos. Os equipamentos deste tipo já são amplamente disponíveis e utilizados no mercado da automação. Por outro lado, há áreas em que apertos de elementos roscados devem ser realizados com igual cuidado, mas com valores muito baixos de torque, para evitar a destruição do substrato ou do próprio elemento, especialmente no caso da fixação de implantes ortopédicos e especialmente dentários, pois neste caso, estes devem sofrer apertos para torques entre 0 Ncm e 100 Ncm.

Este trabalho teve o objetivo de apresentar o processo de desenvolvimento de um protótipo de dispositivo para a medição de microtorque, para a inserção e retirada de elementos roscados, como os utilizados na área de implantes dentários. A opção pelo estudo de microtorques deve-se pela escassa literatura disponível, tornando o assunto bastante atrativo. Outrossim, este é um campo importante de estudo pois permitem a integração de diversas áreas de pesquisa, a saber: mecânica; controle; eletrônica de sinal; eletrônica de potência e; design de equipamentos.

Apresenta-se nas Figs. 1a e 1b fotos de implantes dentários osseointegrados aplicados sobre mandíbula, (a peça azul é o montador, peça usada para levar o implante ao local a ser inserido). Estas estruturas são oferecidas no comércio especializado com uma variedade imensa de formas e dimensões; a escolha do tipo ou dimensão é realizada com base no planejamento pré-cirúrgico realizado pelo profissional levando-se em conta as condições do local eleito e nas orientações do fabricante. Na sua maioria, os implantes dentários osseointegrados são cilíndricos ou cônicos, o que influencia em muito no torque de instalação desse dispositivo, suas dimensões variam de 3,5 mm a 5,0 mm de diâmetro e em altura podem ir de 5 mm a 21 mm. As Figs. 1c e 1d mostram um implante inserido num osso pré-perfurado, sendo que essa perfuração seguiu pré requisitos para não causar dano as células vitais na cicatrização e integração do dispositivo ao osso.

O osso é constituído de um cerne medular, altamente irrigado, e uma camada externa, camada cortical, Fig. 3. O desempenho do implante dentário depende em especial da estabilidade desse dispositivo durante o processo de cicatrização, osseointegração, dentro dos fatores escolhidos pelo profissional. Para atingir essa tão importante estabilidade é importante o formato do implante, a técnica cirúrgica a ser utilizada. Lioubavina-Hack *et al*, (2006) e Barewal *et al*, (2003) afirmam que na falta dessa estabilidade ocorre a formação de uma cápsula de tecido mole ao redor do implante, prejudicando a sustentação do dente que receberá uma alta carga durante a mastigação. Atualmente foi observado que altos torques de inserção podem atrapalhar o processo cicatricial em especial torques acima de 60 Ncm, em altos torques ocorre aquecimento local gerando desidratação das células e microfraturas de osso medular que geram necrose óssea e falha de cicatrização.

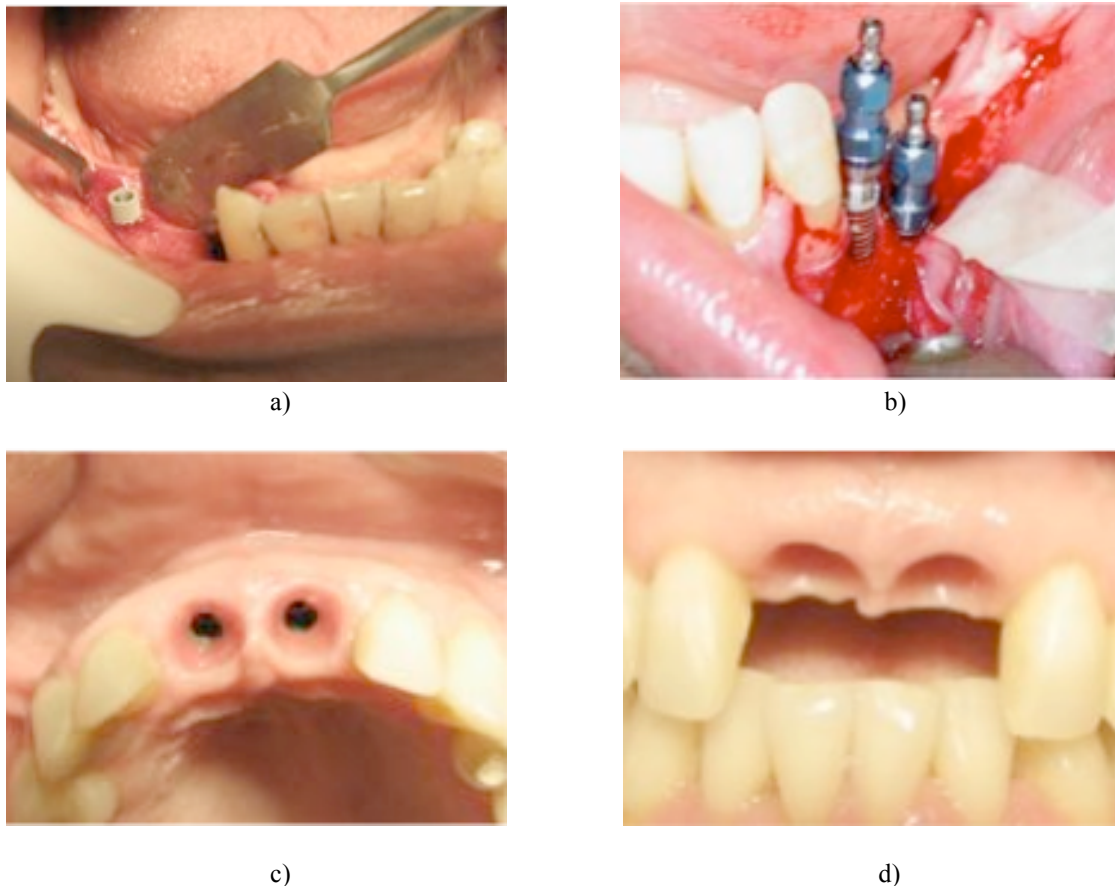


Figura 1. Aspecto de dois implantes dentários.

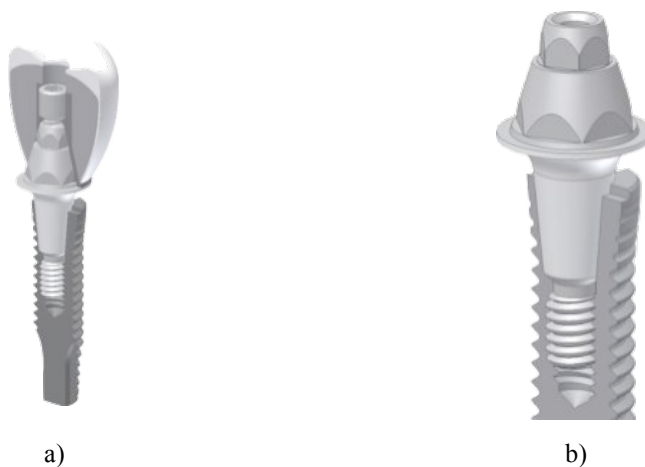


Figura 2. Em a) implante, pilar e prótese; em b) detalhe de implante e pilar cônico

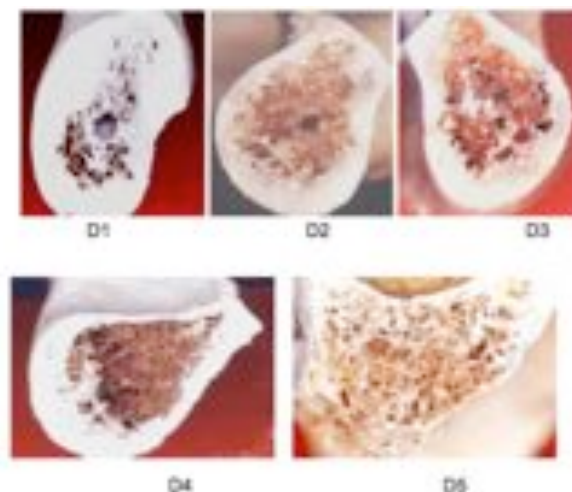


Figura 3. Aspectos da morfologia óssea (classificação de Misch quanto a densidade óssea), quanto mais cortical mais denso é o osso. As indicações D1-D5, seguem uma ordem decrescente de densidade (Santos, 2010).

Já na fase protética, após a osseointegração, um pilar é fixado através de roscas sobre o implante. Este receberá o dente artificial ou prótese dental. Nesta fase o torque também deve ser preciso no intuito de se manter o menor espaço entre as peças sem que ocorra qualquer tipo de deformação plástica, nesse espaço podem ser retidas colônias de bactérias que se tornam fatores de agressão ao osso adjacente ao implante. Isto pode causar reabsorção do osso ao redor do implante prejudicando a estética e função.

2. EXPERIMENTAL

Apresenta-se a seguir a metodologia aplicada na construção do um protótipo de equipamento, concebido, projetado e construído.

2.1 A medição do torque em uma barra cilíndrica

A medição de macro tensões, por meio de *strain gauges*, é um processo comumente utilizado na indústria e na pesquisa e desenvolvimento de processos. O torque aplicado na extremidade de uma barra cilíndrica ancorada em ponto fixo pode ser medido por extensometria resistiva. O torque irá exercer dois esforços principais na barra, torção e flexão. Se houver um apoio móvel na extremidade onde está colado o *strain gauge* o efeito de flexão é minimizado. A torção na barra em torno de seu eixo axial gera uma deformação longitudinal. Esta deformação em regime elástico (cisalhamento) ocorre a 45° em relação ao eixo axial da barra. Este cisalhamento tem comportamento que obedece a lei de Hooke a qual relaciona a deformação elástica de um sólido com a tensão aplicada. Em extensometria utiliza-se uma correlação entre lei de Hooke e a lei de Ohm para obter-se uma medição indireta da deformação. Assim pode-se estabelecer uma equivalência entre a quantidade de deformação gerada pelo torque aplicado e a variação da resistência elétrica no *strain gauge*. O *strain gauge* deve estar associado em um circuito elétrico do tipo ponte de Wheatstone. Da deformação elástica, que é proporcional a variação da resistência elétrica obtém-se um valor mV/V linearmente proporcional a microdeformação (μ). A dificuldade encontrada neste processo, encontra-se nos níveis de tensão elétrica observados nos terminais desta ponte. Para tanto, a relação sinal/ruído por ser muito baixa, demanda a utilização de pré-amplificadores de baixo ruído, como apresentado no trabalho de Ceoni *et al.*, 2012.

Na Fig. 4, apresenta-se a barra cilíndrica utilizada no protótipo para a medição de torque. Pode-se observar o *strain gauge* colado sobre a barra de torque. Na sua extremidade esquerda o mandril, que suporta a ferramenta de acionamento do implante; o implante e o substrato de teste.

2.2 Acionamento de motores de passo

Para a rotação do substrato de teste, onde é realizado o ensaio de medida de torque, utilizou-se um motor de passo. Motores de passo são dispositivos que vêm tendo grande disseminação na indústria, tanto na escala de pequenos dispositivos até em grandes equipamentos industriais. As características principais destes dispositivos encontra-se na repetibilidade de posição angular do eixo, dividindo uma volta num número inteiro de passos, e uma curva de torque bastante conhecida. A repetibilidade angular é obtida pelo alinhamento do eixo com as bobinas externas, posicionadas em intervalos constantes. O funcionamento destes dispositivos é amplamente divulgado nos meios eletrônicos de comunicação e suas características e desenvolvimentos são motivo de publicações.



Figura 4. O *strain gage* colado sobre a barra de torque, para a realização de ensaios de medição de microtorque.

Ao contrário dos motores elétricos mais comuns, os motores de passo requerem um controle eletrônico dedicado. Este controle é o que comanda a energização das bobinas externas individualmente e sequencialmente. Há várias formas de comandar o acionamento sequencial das bobinas, seja por eletrônica digital, com circuitos osciladores e circuitos integrados que acionam *drivers* de alta potência, até a utilização de versáteis microcontroladores associados às pontes do tipo Darlington, à guisa de *drives* de potência.

2.3 Projeto

O projeto do protótipo de medição de microtorque foi dividido nas seguintes fases:

- Desenvolvimento do lay-out e design;
 - Desenvolvimento da barra de torque e eletrônica de medição;
 - Desenvolvimento do conjunto de suporte da barra de torque;
 - Desenvolvimento do conjunto de acionamento;
 - Desenvolvimento da eletrônica de comando do acionamento

- Layout e design

Na Fig. 5 é apresentada uma foto com a discriminação de cada uma das partes do protótipo, para o estudo do torque em elementos roscados. Da esquerda para a direita pode-se observar o sistema de acionamento e transmissão; o suporte do substrato e o dispositivo de medida, barra de torque e acessórios. No canto inferior esquerdo é mostrada a posição da instalação do comando eletrônico, onde são instaladas outras placas e componentes. Para permitir a visualização interna, não é mostrado o painel da interface com o usuário.

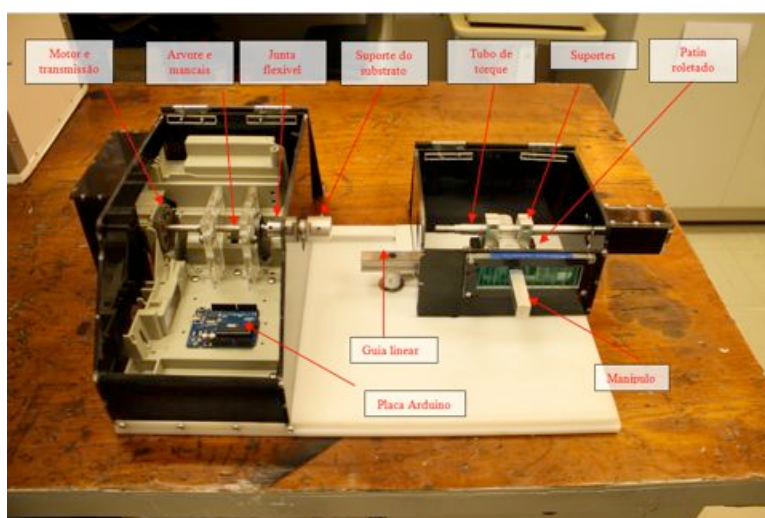


Figura 5. Foto do protótipo do dispositivo de ensaio com as discriminações das partes principais.

- A barra de torque

Para a confecção da barra de torque foi escolhida a liga de alumínio AISI 5052, com módulo de elasticidade de 70,3 GPa. As informações sobre a composição química desta liga são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. A liga de alumínio AISI 5052 e a sua composição química nominal (% em massa).

Elementos	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Al
AISI 5052	0,15 - 0,35	0,1 max	0,4 max	2,2 - 2,8	0,1 max	0,25 max	0,1 max	bal.

Na Fig. 6, é apresentada a vista explodida da barra de torque.

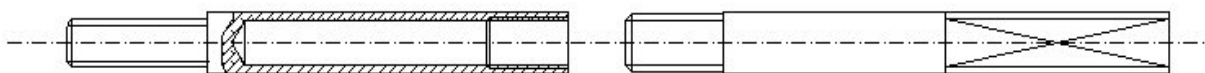


Figura 6. Desenho esquemático da barra de torque.

A barra de torque é suportada por dois apoios com padrão industrial, fixados em um conjunto guia linear retificado com 20 mm de largura e patins roletados. Este arranjo permite o deslocamento linear do conjunto e, conseqüentemente a inserção do elemento roscado no substrato, durante o ensaio.

- A calibração do strain gage

A calibração e obtenção da curva referencial foi realizada aplicando-se uma série de pesos padrões a um braço de alavanca, com 0,45 m, fixado na extremidade da barra de torque, como apresentado na Fig. 7. A medida de tensão nas extremidades da ponte de Wheatstone foi realizada utilizando-se o equipamento P3-Strain Indicator and Recorder, da Vichay Micro-Measurements. Dos valores tabelados obteve-se um gráfico da relação entre o valor do torque resultante aplicado e a microdeformação medida em mV/V. Os valores obtidos são apresentados na curva da Fig. 8.



Figura 7. Arranjo experimental para a aplicação de torques controlados na barra de torque.

- Curva de calibração do *strain gage* no tubo de torque

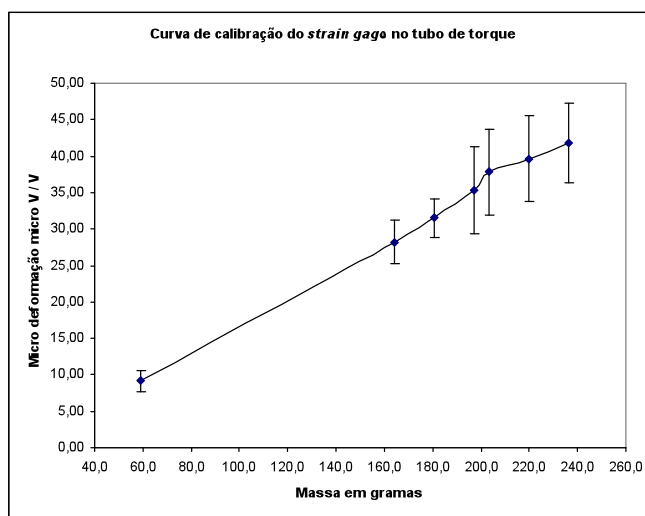


Figura 8. Curva microdeformação versus massa, para a calibração da barra de torque.

- O acionamento do motor e giro do substrato de ensaio

A barra de torque, vista nas Figs. 6 e 7, é uma das duas partes do protótipo. Esta barra tem liberdade de movimento axial, exclusivamente. A outra parte é constituída por um conjunto de motor de passo, reduções e eixos, que acionam o movimento de rotação do substrato de teste, que tem movimento de rotação, exclusivamente. Esta montagem permite que se desenvolva conjuntos mecânicos independentes, um para medida e movimento axial e, outro, com movimento de rotação controlada. O conjunto da transmissão de rotação, para o ensaio de inserção de elementos roscados foi constituído por:

- um motor de passo do tipo unipolar com quarenta e oito passos por volta, excitação de 24 V e impedância ôhmica de 30 Ω ;
- um conjunto de reduções por rodas dentadas, cilíndricas, com valor de redução final de 1:19,58, em duas etapas. (A eventual folga, *back lash*, pode ser desconsiderada pois o ensaio é programado para ocorrer em uma só direção.);
- a árvore de transmissão final é apoiada por dois rolamentos de esferas, adequadamente espaçados;
- a fixação entre a árvore de transmissão e o suporte do substrato é realizado por uma junta mecânica flexível.

Para o acionamento elétrico do motor de passo foi realizado com a utilização da plataforma microcontroladora Arduino, que utiliza um processador AVR atmega. Embora a plataforma Arduino não seja um padrão industrial, a sua escolha deveu-se a:

- baixo custo de aquisição;
- flexibilidade para a construção de interfaces de entrada e saída e;
- semelhança de sua linguagem de programação com a linguagem C, de uso científico.

Foi utilizada uma placa Arduino modelo UNO rev. 3, que utiliza um microcontrolador ATmega328. As características da placa microcontroladora são resumidas na Tab. 2.

Para as interfaces com o usuário, do equipamento, foram utilizados:

- um display de cristal líquido com 2 linhas e 16 colunas, WH 1602 A;
- 2 botões do tipo *push button*.
- 2 resistores variáveis com 10 kOhm, de resistência máxima;
- uma chave liga/desliga, com capacidade para 10 A, máx, e;
- uma chave com duas posições

Tabela 2. Especificações da placa de Arduino usada.

Processador	ATmega328
Voltagem de operação das portas	5 V
Alimentação	7-12 V
Pinos digitais de entrada e saída	14
Pinos analógicos de entrada	6
Corrente DC por pino de entrada e saída	40 mA
Memória flash	32 KB
<i>Clock</i>	16 MHz
Comprimento	68,6 mm
Largura	53,4 mm

As correntes e tensões máximas, nas saídas digitais, da placa Arduino, não foram suficientes para o acionamento do motor de passo, cujas características elétricas foram elencadas anteriormente. Para contornar este problema foi desenvolvida uma interface de potência, utilizando pontes Darlington embutidas em um circuito integrado, com a capacidade adequada à alimentação das bobinas do motor. O circuito integrado escolhido foi o ULN2068, Motorola, um chaveador Darlington com a capacidade de 1,5 A, por saída. Foram utilizados diodos 1N4007 em cada uma das bobinas do motor e terminal comum, com o objetivo de derivar as correntes induzidas em cada uma das bobinas, após os pulsos de corrente, de cada um dos passos do movimento do motor.

Um código de controle do procedimento foi desenvolvido, com uma biblioteca de funções exclusiva, permitindo o controle manual do ensaio: controle da velocidade angular do substrato; sentido da rotação e; acionamento. Este código contempla também, mas não está sendo acionado, o comando automático do processo de ensaio, para garantir a repetibilidade do processo.

3. DISCUSSÃO

O controle do torque na fixação de elementos roscados é um procedimento importante a ser estudado, de acordo com as observações e evidências experimentais realizadas durante o desenvolvimento do protótipo. Os maiores desafios encontraram-se na integração de áreas distintas da engenharia:

- A engenharia mecânica, que, devido às reduzidas dimensões dos componentes. Apresentou dificuldades na confecção de partes mecânicas com alta precisão e de alinhamento do conjunto, dividido em duas partes, acionamento e rotação. Esta configuração é adequada para estudos, mas deverá se reavaliada, para o projeto de peças que tenham aplicações comerciais, diminuindo as dificuldades técnicas e, conseqüentemente, os custos financeiros.
- A engenharia eletrônica, que por sua vez dividiu-se na solução do problema do acionamento, com a utilização do microcontrolador da plataforma Arduino e com o desenvolvimento da interface de potência. No problema da medição do torque, o sistema foi calibrado, como apresentado na Fig. 8. Está sendo desenvolvida uma aplicação para a utilização da plataforma LabView, para a interface com o usuário, em funcionamento conjunto com a plataforma de aquisição de dados da *National Instruments CompactDAQ*, com rack de quatro canais e um módulo, NI 9235, para leitura de meio ponte com 120 Ω . Com esta abordagem espera-se atingir o grau de exatidão necessário para as medidas de microtorque, necessárias ao controle de fixação proposto. A opção pela tecnologia da *National Instruments* é bastante interessante para sistemas de laboratório, pois os dispositivos CompactDAC devem ser acoplados a um computador, para sua operação. No sentido de viabilizar o desenvolvimento de um sistema de controle portátil, para o ensaio de torque, está sendo desenvolvido uma segunda plataforma de medida, utilizando um conversor analógico/digital, acoplado à uma placa Arduino, funcionando como escravo em uma nova configuração da eletrônica de operação.

4. CONCLUSÃO

O dispositivo em desenvolvimento está operando e apresentou um desempenho adequado, quanto ao alinhamento dos eixos, menor que 0,05 mm (5×10^{-5} m); quanto ao controle da operação do motor de passo; facilidade e rapidez de operação e, finalmente; facilidade de sofrer modificações, graças à abordagem de concepção em duas partes.

REFERÊNCIAS

CEONI, F.C.; ROSSI, J.L.; SOUZA, A.C.; COLOSIO, M.A. **Residual stresses measurements using strain gages - aluminum wheels**. Materials Science Forum. 2012;727-728:1925-1930.

LIOUBAVINA-HACK N., LANG N.P, KARRING T. **Significance of primary stability for osseointegration of dental implants**. Clin Oral Implants Res. 2006;17:244-50.

SANTOS, A. A. **A Qualidade óssea da Mandíbula no Edentulismo Avaliadas por Tomografia Computadorizada**. Dissertação de Mestrado, UNIVAP, São José dos Campos, 2010.

BAREWAL R.M, OATES T.W, MEREDITH N., COCHRAN D.L. **Resonance frequency measurement of implant stability in vivo on implants with a sandblasted and acid-etched surface**. Int. J Oral Maxillofac Implants. 2003; 18(5):641-51.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Sérgio Delijaicov da Faculdade de Engenharia Industrial, FEI, pelo acesso ao laboratório de ensaios mecânicos e uso de instrumentos.

NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.