



COTEQ179^(a)

A MEDIÇÃO DE MASSA EM MOVIMENTO UTILIZANDO EXTENSÔMETROS

Luciano Bruno Faruolo¹, José Luiz Fernandes².

Copyright 2005, Trabalho apresentado na 8ª COTEQ - Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, Bahia, 2005. As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do (s) autor(es)

Abstract

This work seeks to demonstrate the characteristics of the mass measurement in movement with the use of applied electronic strain gage in transdutores of force. Initially above the importance of the measurement of the mass in general, on the cultural and commercial aspects. Then it is made an explanation on the different forms of equipments that use mass force transducers measurement in movement. For exemple the verification of a system of measurement of weight of trucks is used in movement, composed of a display case, a weighting platform with load cells and equipment transmitter of signs, commonly installed in highways for the fiscalization of limit of weight of transport vehicles to avoid the wear and tear of the tracks and consequently the occurrence of accidents in the highways. The registrations are approached with statistics demonstrating the standard deviation and the difference among different situations, considering the measurement with the satisfactory situation and the measurement in uneven conditions and instability, for values in the speeds of 2km/h at 6km/h o'clock. Concluding the need to adapt the instruments to conditions of safety and stability of the platform of use of the equipment to reach satisfactory reliability levels.

Keywords: Measurement, Strain gage, Transducer.

Sinopse

Este trabalho visa demonstrar as características da medição de massa em movimento com o uso de extensômetros eletrônicos aplicados a transdutores de força. Inicialmente relata a importância da medição da massa em geral, sobre os aspectos culturais e comerciais. Depois é feita uma explanação sobre as diferentes formas de equipamentos que utilizam transdutores de força na medição de massa em movimento. Para exemplificação é utilizada a verificação de um sistema de medição de peso de caminhões em movimento, composto de um mostrador, uma plataforma de pesagem com células de carga e equipamento transmissor de sinais, comumente instalados em rodovias para a fiscalização de limite de peso de veículos de transporte para evitar o desgaste das pistas e conseqüentemente a ocorrência de acidentes nas estradas. Os registros são abordados estatisticamente demonstrando o desvio padrão e a diferença entre diferentes situações, considerando a medição com a situação satisfatória e a medição em condições de desnivelamento e instabilidade, para valores nas velocidades de 2km/h à 6km/h. Concluindo a necessidade de adequar os instrumentos a condições de segurança, estabilidade e nivelamento da plataforma de utilização do equipamento para atingir níveis de confiabilidade satisfatórios.

Palavras Chaves: Medição, Extensômetros, Transdutor.

¹ Mechanical Engineering, INMETRO, lbfaruolo@inmetro.gov.br

² Mechanical Engineering, D.Sc. Professor CEFET-RJ, jlfernandes@cefet-rj.br

1- Introdução

Este trabalho aborda as formas de medição de massa em movimento com o uso de extensômetros. Como principais aplicações têm-se o uso em esteiras transportadores para a pesagem de minério, para a pesagem de mercadorias embaladas; em ferrovias para a medição de massa de mercadorias transportadas através de vagões além do uso em rodovias. Para exemplificação é utilizada a verificação de um sistema de medição de peso de caminhões em movimento, geralmente instalados em rodovias para a fiscalização do limite de peso de veículos de transporte para evitar o desgaste das pistas e conseqüentemente a ocorrência de acidentes nas estradas. Sendo demonstradas duas situações de avaliação de instalações de sistemas de medição, sendo uma situação reprovada e outra apresentando uma instalação de sistema apropriado ao uso do instrumento. São abordados os aspectos de vibração, transmissão de sinais, pressão de pneus como parâmetros de influência para a confiabilidade da medição.

2- Formas de Medição de Massa em Movimento

Segundo Kumme (1996) a massa é medida através da ação de uma força aplicada em um transdutor instalado estrategicamente na posição onde se pretende captar o efeito da massa do mensurando. A medição em movimento implica em considerar outras forças além do efeito da gravidade. A ação da força que chega ao transdutor durante a medição em movimento é considerada uma ação dinâmica como representado na fórmula(1) [1], onde: F representa a força devido à massa, m_l é a massa a ser medida, x_m a aceleração da massa, m_a a massa da plataforma ou suporte para a medição, m_e a massa do transdutor de força, x_a a aceleração da plataforma ou suporte para a medição.

$$F = m_l \cdot x_m + (m_a + m_e) \cdot x_a \quad (1)$$

O instrumento de medição utilizado no processo influencia na qualidade da medição, principalmente pelo fator sensibilidade do equipamento, no qual pode-se qualificar a percepção do sinal elétrico em proporção à excitação da força, proveniente do movimento da massa a qual é o mensurando, pode ser descrito pela fórmula segundo Park, et al. (2002) onde: S sensibilidade U_v relação de sinal F força devido à massa, conforme [2].

$$S = \frac{U_v}{F} \quad (2)$$

Kumme (1996) e Park, et al. (2002) investigaram as componentes de força e o momento em três direções distintas utilizando sensores de excitação harmônica, realizando ensaios, integrados no mesmo bloco de provas, para fins de calibração. Entretanto, a força medida pelo transdutor sofre algumas influências devido à diferentes fatores. Para facilitar o entendimento utilizou-se como exemplo a utilização em um instrumento de medição de massa em veículos rodoviários, os quais pode-se destacar os seguintes componentes:

3- Fatores de influência

Temperatura

As variações de temperaturas provocam dilatações e alterações de desempenho. Segundo Pereira (2000) [3] e Fernandes (2004) [4] são verificadas alterações na sensibilidade da liga metálica que compõe o transdutor, contração ou alongamento do material. Isto faz com que na construção destes instrumentos se instalem resistores para a compensação do efeito da variação da temperatura. Um estudo também é realizado sobre a influência da temperatura na calibração de instrumentos.

Vibração

Quando a medição é dinâmica, a massa a ser medida sofre influência da inércia e da aceleração, proveniente do veículo, provocando a vibração do sistema. A vibração do sistema é parte do processo de medição do equipamento, entretanto a correta captação da frequência produzida pelas rodas representa a boa qualidade do instrumento de pesagem, sendo as interferências provenientes de problemas da suspensão dos veículos, estabilidade dos equipamentos e devido a desnivelamento da pista de aproximação formas de influenciar no resultado da medição da massa. Para a interpretação do efeito da vibração nos sistemas pode-se utilizar a fórmula conforme Thomson (1978) [5], onde: ω é a frequência natural, k é o coeficiente de elasticidade e m é a massa, conforme em (3).

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

A variação da frequência é proporcional a massa, e inversamente proporcional a variação do coeficiente de elasticidade, o qual varia conforme as condições de estabilidade e nivelamento do instrumento de medição. Desta forma a má instalação do equipamento interfere na frequência produzida durante a medição da massa.

Segundo Ono et al. (1998) [6], a frequência captada pelo instrumento pesagem de veículos representa um sinal elétrico conforme a figura 1a. Nesta figura as duas senoides representam diferentes massas em um instrumento de medição. Sendo que $\lambda_1 W$ representa a medição da massa de um eixo mais pesado que o eixo representado por $\lambda_2 W$, os dois picos de onda detectados pela linha inferior do gráfico representam o momento do contato da força com o transdutor, os quais são registrados no equipamento. Na figura 1b destaca-se a massa do eixo versus o sinal elétrico correspondente o intervalo de tempo de contato da massa com o instrumento de medida, pela curva representativa da força e pelos instantes inicial e final.

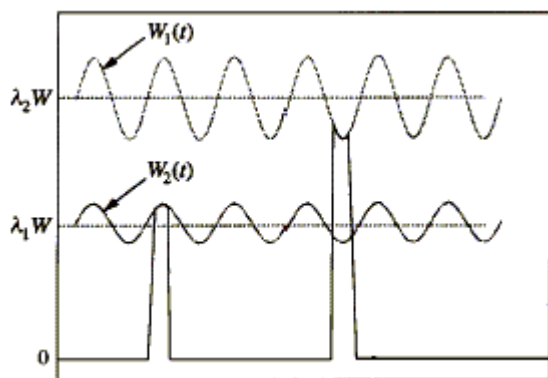


Figura 1a



Figura 1b

Figura 1 – (a) tempo entre o peso do eixo e o sinal proveniente da plataforma de pesagem;
(b) período enquanto o eixo está sobre a plataforma de pesagem.

Estes sinais podem sofrer interferências de ordem magnética e mecânica, devido a impactos e descargas elétricas fora do previsto pelo projeto do instrumento mascarando o resultado da medição.

Influencia dos Pneus

o contato do pneu do caminhão com a plataforma de pesagem, ou placa de pesagem é importante para a transmissão da força, pela qual será calculada a massa do veículo, de forma que a pressão do pneu é parte importante do processo. Hyunz-gyn Jun, et. al. (2004) [7] mostrou que o pneu com maior pressão interna amortece a força transmitida da suspensão do veículo conforme demonstrado no gráfico a seguir:

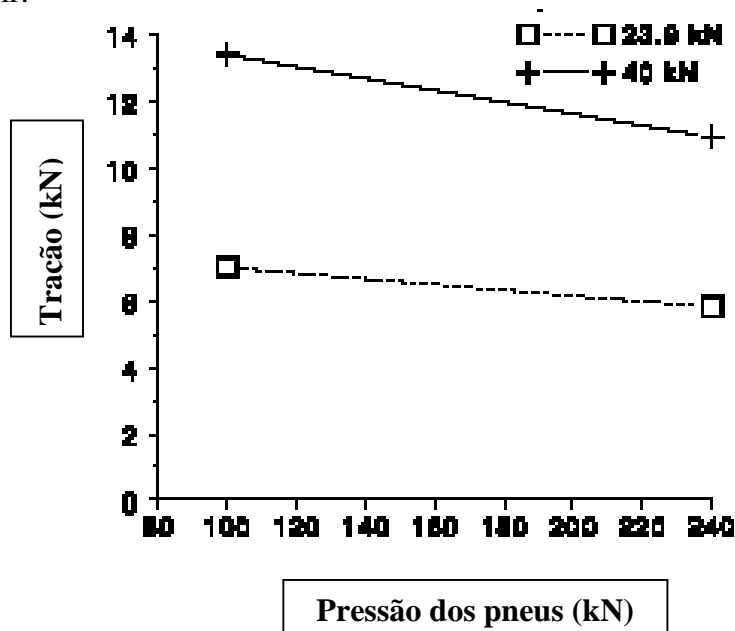


Figura 2 – A figura demonstra a variação da carga registrada em função da pressão interna do pneu.

Na figura 2 é representado um ensaio onde são aplicadas duas cargas constantes sobre o pneu variando-se sua pressão interna. Verifica-se que quando atuam pressões maiores e constantes no pneu são registradas forças menores, no transdutor, como pode ser observado para as cargas aplicadas de 23,9kN e 40,0kN. Representa uma relação decrescente da força transmitida pelo pneu para crescentes pressões internas nos mesmos.

4- Tipos de Sistemas de Pesagem

Os sistemas de pesagem consistem basicamente da medição do peso do material por transdutores de força, através da ação da gravidade, onde a medição é interpretada por programas de computação e microprocessadores que analisam o sinal enviado do transdutor e indicam o valor da massa. Dentre os equipamentos conhecidos no mercado de medição de massa em movimento podem-se destacar as aplicações em:

- Esteiras transportadoras onde o equipamento é composto por uma plataforma de pesagem situada em um conjunto no qual uma esteira transporta a mercadoria, ou material, a ser objeto de medição da massa em baixa velocidade, como exemplo 6 km/h, que é transportada pela esteira. [8]
- Ferrovias, onde o equipamento de forma parecida ao anterior é composto por uma plataforma de pesagem situada em um conjunto no qual o vagão transporta a mercadoria, ou material, a ser objeto de medição da massa em baixa velocidade, como exemplo 10 km/h, que é transportada pelo trem na ferrovia. [9]
- Rodovias, por um equipamento semelhante aos anteriores é composto por uma plataforma de pesagem situada em um conjunto no qual um caminhão transporta a mercadoria, ou material, a

ser objeto de medição da massa em baixa velocidade, como exemplo 12 km/h, que é transportada pelo veículo na rodovia. [10]

Para a exemplificação do uso de sistemas de pesagem destacamos o uso da medição de massa na fiscalização de limite de peso em veículos, para evitar o excesso de peso e o desgaste das pistas. Existem quatro tipos de sistemas de pesagens rodoviária, que podemos classifica-los como:

1. Pesagem rodoviária estática, onde o veículo é pesado inteiramente, com todos eixos, sobre a plataforma.
2. Pesagem rodoviária estática por eixo, onde o equipamento pesa um eixo de cada vez.
3. Pesagem rodoviária dinâmica fixa, onde a medição é realizada com o veículo em movimento, e a plataforma de pesagem está instalada de forma fixa no local.
4. Pesagem rodoviária dinâmica portátil, onde a medição é realizada com o veículo em movimento, e a plataforma de pesagem está instalada de forma a poder ser transportada, facilmente, para outro local autorizado.

Os instrumentos de pesagem dinâmica utilizam transdutores de força os quais são dimensionados para a verificação do peso por eixos do veículo, utilizando-se para isto artifícios matemáticos para o cálculo do peso bruto total do veículo, após a passagem do mesmo sobre o sistema de pesagem, somando-se os pesos de cada eixo do veículo. O sistema de pesagem pode ser fixo na pista ou pode ser móvel podendo-se desloca-lo para outro posto de pesagem.

O sistema com maior exatidão, entre os quatro tipos de equipamentos, o sistema estático onde a massa total do veículo é medida em uma só pesagem. Neste grupo de instrumentos, o de menor exatidão é o sistema de pesagem dinâmica de instalação portátil, utilizado como exemplo. Isto se da pelo fato de que os diferentes sistemas atuam em diferentes aplicações e condições de uso. Podendo ser evidenciado através de cálculos estatísticos utilizando a fórmula(4) para a média e a fórmula(5) para o desvio padrão dos valores medidos. [11]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}]^2} \quad (5)$$

Pode-se avaliar o sistema de pesagem de veículos conforme a legislação pertinente aplicada para este tipo de equipamento.[12] [13]. A seguir estão representados as figura 3 e 4 de sistemas de pesagem dinâmica portátil, nas velocidades aproximadas de 2, 4 e 6Km/h. Considerando a margem de desvio padrão de 1,5 % para a medição por eixo e 1% para a média dos valores da soma dos eixos em relação ao valor do Peso Bruto Total de referência, previamente estabelecido. Com uma amostra de 30 medições em um sistema instalado em dois locais distintos. Sendo um dos gráficos o demonstrativo de um sistema de pesagem portátil em condições insatisfatórias e outro em condições apropriadas.

Na comparação entre as duas situações é verificada a diferença na relação entre os valores, sendo demonstrado que o mesmo equipamento em diferentes locais de utilização apresenta valores diversificados devido aos fatores de influência.

A tabela 1 resume os principais valores utilizados nas verificações onde foram gerados os gráficos obtidos durante as medições, conforme a legislação pertinente onde a média do peso bruto total com valor calculado de 12195,37kg apresentou erro de 2,48% em relação ao padrão de referencia 11900kg, acima do limite de 1% estabelecido, caracterizando condições insatisfatórias para a atividade projetada do equipamento. Sendo a possível causa da diferença entre atuação do mesmo

equipamento em locais diferentes os fatores de vibração e desnivelamento do provocados pela instalação do mesmo.

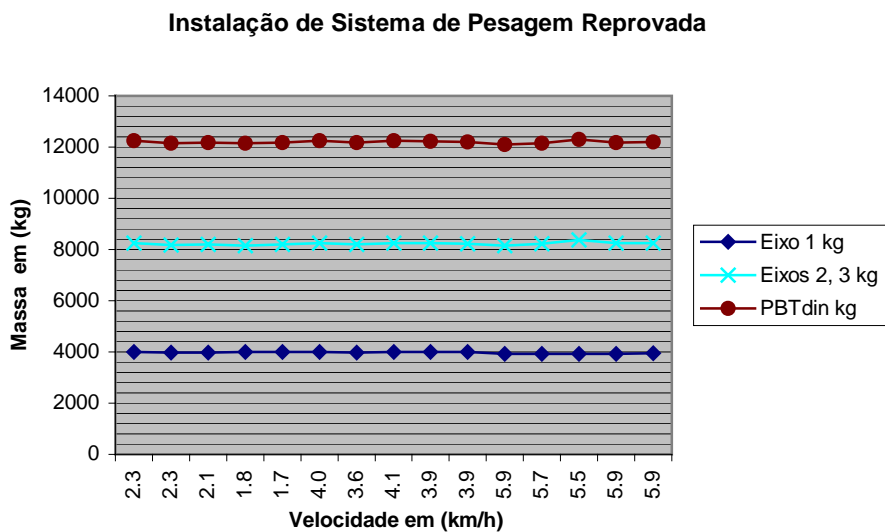


Figura 3 – Figura representativa de 15 medições em um sistema de pesagem de veículos em movimento em uma instalação reprovada .

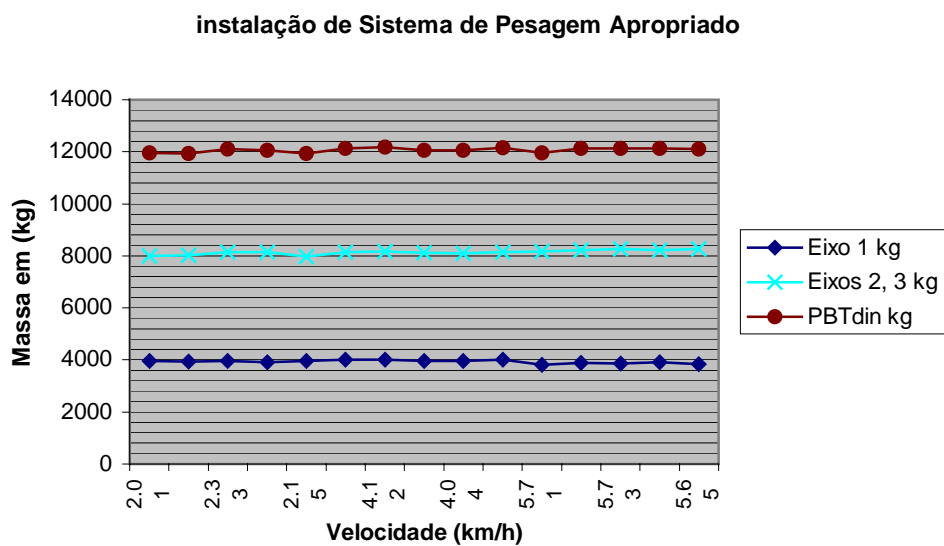


Figura 4– Figura representativa de 15 medições em um sistema de pesagem de veículos em movimento em uma instalação adequada.

Itens	Primeiro local de pesagem Peso Bruto Total (reprovado)	Segundo local de pesagem Peso Bruto Total (apropriado)
Massa de referência	11900,00 kg \pm 2,94kg	12000,00 kg \pm 2,94kg
Média das medições em movimento	12195,37 kg \pm 5,98kg	12071,33 kg \pm 5,98kg
Erro (%) entre a média e o valor de referência	2,48	0,59
Desvio padrão	52,76 kg	82,02 kg
Desvio padrão (%) em relação à média	0,43	0,68

Tabela 1 – Resumos da avaliação dos resultados.

Considerando para o cálculo da incerteza uma distribuição normal, o intervalo de abrangência $k = 2$, a resolução do instrumento de medição de referência de 10kg e do instrumento a ser avaliado também de 10 kg

5- Conclusões

A medição de massa em movimento é importante em diferentes aspectos da economia, principalmente na quantificação de produtos em relações comerciais através das medições realizadas em instrumentos instalados em portos e unidades de transbordo de mercadorias, e instrumentos de fiscalização de peso em rodovias. A qualidade dos equipamentos utilizados é fundamental para uma qualificação dos números obtidos nas medições de forma a serem fundamentais a verificação dos mesmos em conformidade com a legislação pertinente, conforme demonstradas no item formas de medição de massa. Neste trabalho foi demonstrada a influência dos pneus, da vibração, temperatura e aspectos como a estabilidade e o nivelamento dos equipamentos como fatores importantes para uma boa medição dos valores de massa transportados em veículos rodoviários.

6- Referências bibliográficas

- 1- Kumme, R. (1996), “The Determination Of The Effective Dynamic Force For The Calibration Of Force Transducers, With Due Regard To The Distribution of Mass End Acceleration”, **IMEKO – International Measurement Confederation**, Torino, Italy.
- 2- Park, Y. K., D.-I. Kang, Kumme, R. (2002), *Dynamic Investigation of Multi-Component Force Sensors Using Harmonic Excitation*. **IMEKO, – International Measurement Confederation**, – **International Measurement Confederation**, Viena, Austria.
- 3- Pereira, J. A. S. (2000), *Desenvolvimento De Uma Célula De Carga Para Medições Estáticas e Dinâmicas*, Dissertação de Mestrado, PUC-RIO.
- 4- Fernandes, J. L., Pereira, J. A. S., Cruz, J. A. da Paz, Wanderley, S. A. de S. “A Study and Metrological Evaluation of the Behavior of Dynamics Forces of Transducer, X International Conference on Industrial Engineering and Operations Management”, *X International*

Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Florianópolis, v.1. p.1 – 10.

- 5- Thomson, W. T. (1978), *Teoria da Vibração com Aplicações* - Rio de Janeiro – Interciência.
- 6- Ono, T., Fukuda, K., Yoshida, K., Uozumi, H. e Tottori, H. (1998), Mass-estimation Methods for In-motion Vehicles Using Axle Whinging System, **IMEKO - International Measurement Confederation, Tampere, Finland.**
- 7- Hyunz-gyn Jun; Way, T. R.; Bjorn Loygren; Landstrom, M.; Bailey, A. C.; Burt. E. C.; Mc.Donald, T. P. (2004), “Dynamic Load and Inflation Pressure Effects on contact pressures of a Forestry Forwarder Tire”, *Journal of Terramechanics*, 8p.
- 8- R 50-1: Continuous totalizing automatic weighing instruments (belt weighers). Part 1 : Metrological and technical requirements – Tests. Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- 9- R 106-1: Automatic rail-weighbridges. Part 1 : Metrological and technical requirements - Tests Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- 10- R 134-1: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion. Total vehicle weighing Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- 11 Spiegel, M. R., *Estatística*, Schaum Mcgraw-Hill, 2º edição - São Paulo 1985.
- 12 Portaria INMETRO/DIMEL N 153, de 22 de dezembro de 1997.
- 13 Lei federal N 9933/99. Publicada no DOU de 21.12.99. Dispõe sobre as competências do Conmetro e do Inmetro, institui a Taxa de Serviços Metrológicos, e dá outras providências.