

Calibração e outras considerações práticas

Micro-acelerômetros (MEMS)

- Nem sempre precisas
 - danos
 - ambiente
 - envelhecimento
- Não considera outros elementos da cadeia

~ Calibration Certificate ~

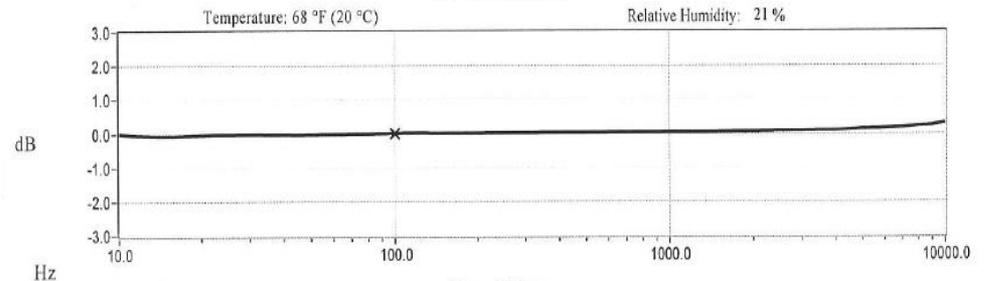
Per ISO 16063-21

Model Number: 352C22
 Serial Number: 69361
 Description: ICP® Accelerometer Method: Back-to-Back Comparison Calibration
 Manufacturer: PCB

Calibration Data

Sensitivity @ 100.0 Hz 9.13 mV/g Output Bias 10.3 VDC
 (0.931 mV/m/s²) Transverse Sensitivity 0.5 %
 Discharge Time Constant 2.7 seconds Resonant Frequency 91.1 kHz

Sensitivity Plot



Data Points

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10.0	-0.1	300.0	0.2	7000.0	2.0
15.0	-0.9	500.0	0.2	10000.0	3.6
30.0	-0.3	1000.0	0.4		
50.0	-0.3	3000.0	0.7		
REF. FREQ.	0.0	5000.0	1.4		

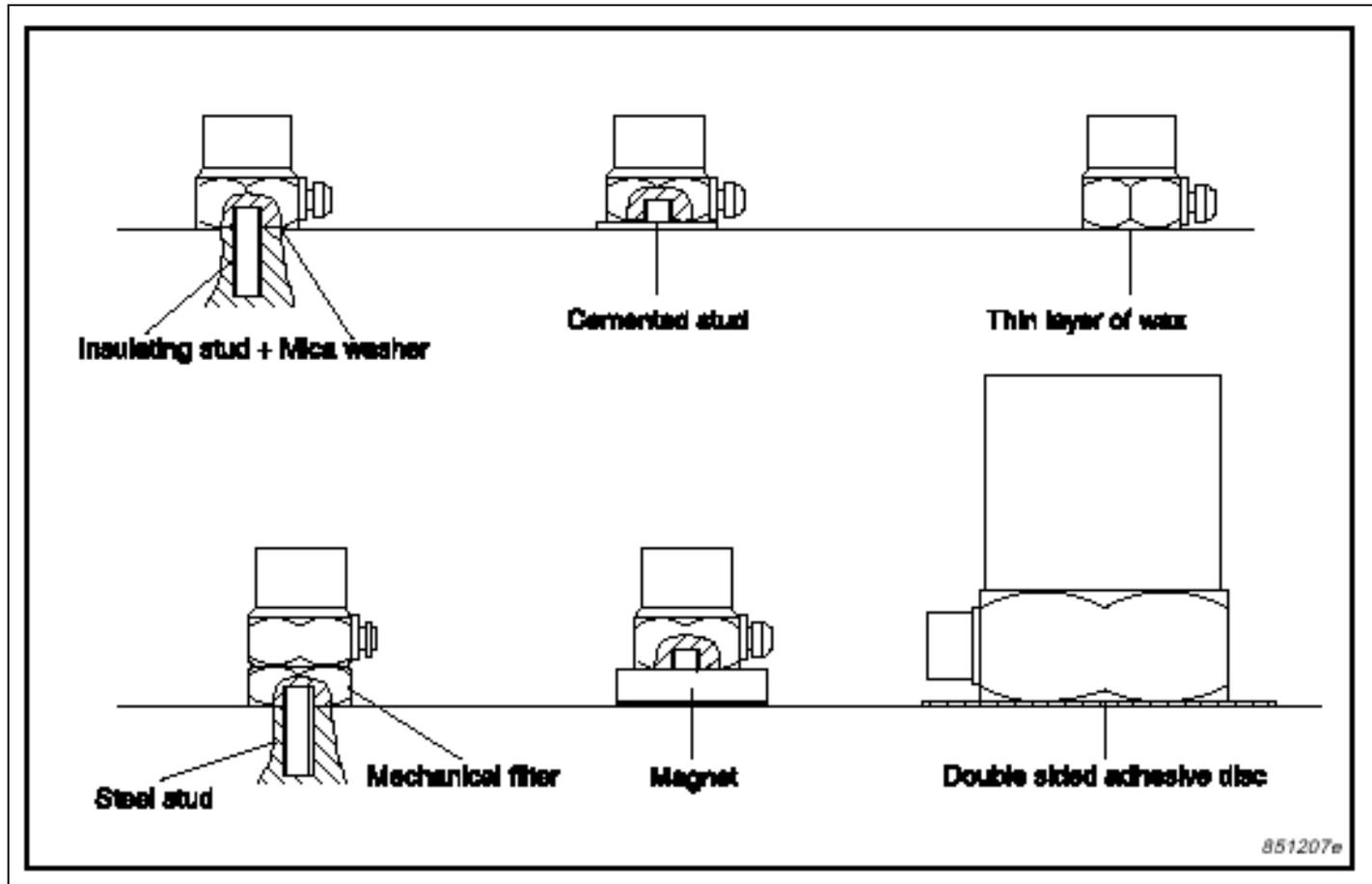
Mounting Surface: Tungsten Adapter Fastener: Cyanoacrylate Adhesive
 Acceleration Level (ms)²: 10.0 g (98.1 m/s²)
*The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the listed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.010 x (freq).

Fixture Orientation: Vertical

*The gravitational constant used for calculations by the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s².

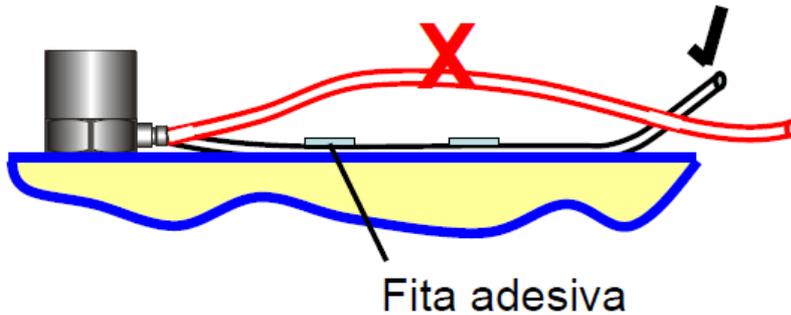
Condition of Unit

Fixação



E os sensores MEMS?

Alguns Cuidados



- efeito ***tirboelétrico***: A vibração do cabo pode gerar cargas por efeito tribo-elétrico.
- ***tensão elétrica*** induzida na presença de campos magnéticos
- ***momento de flexão*** pode ser transmitido pro sensor causando erros na medida

Calibração

É o processo no qual uma entrada conhecida é aplicada à um dado instrumento e sua resposta à esta entrada é medida a fim de se estabelecer as relações de entrada e saída para o instrumento e obter sua sensibilidade à tensão

Serão abordados os seguintes métodos:

- Calibração de sensores com entrada senoidal
- Calibração de sensores com entrada transiente

Estes procedimentos serão aplicados na calibração de acelerômetros e transdutores de força

Calibração de acelerômetros

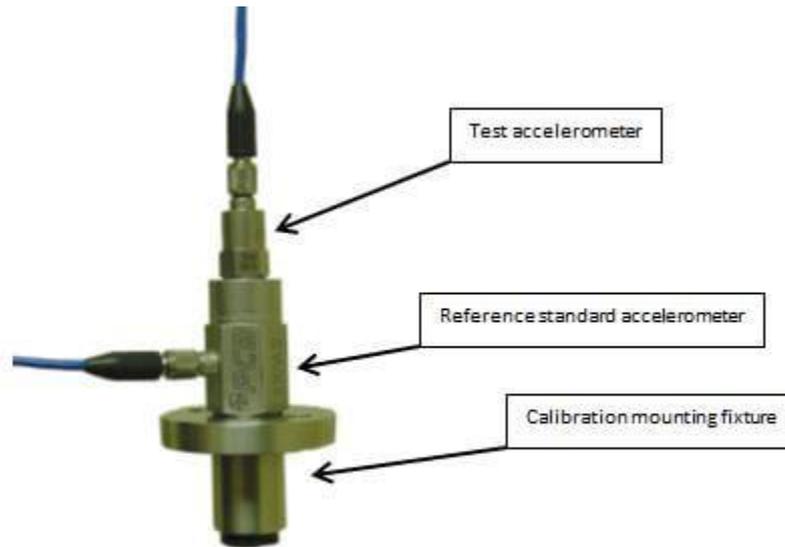


Figure 7: Typical back-to-back calibration setup

- Frequentemente chamada de calibração “**back to back**”
- Sensibilidade do acelerômetro de referência deve ser mantida constante: use um bom acel de calibração!
- Excitador de boa qualidade (armadura estável)
- Montagem adequada

Calibração de acelerômetros

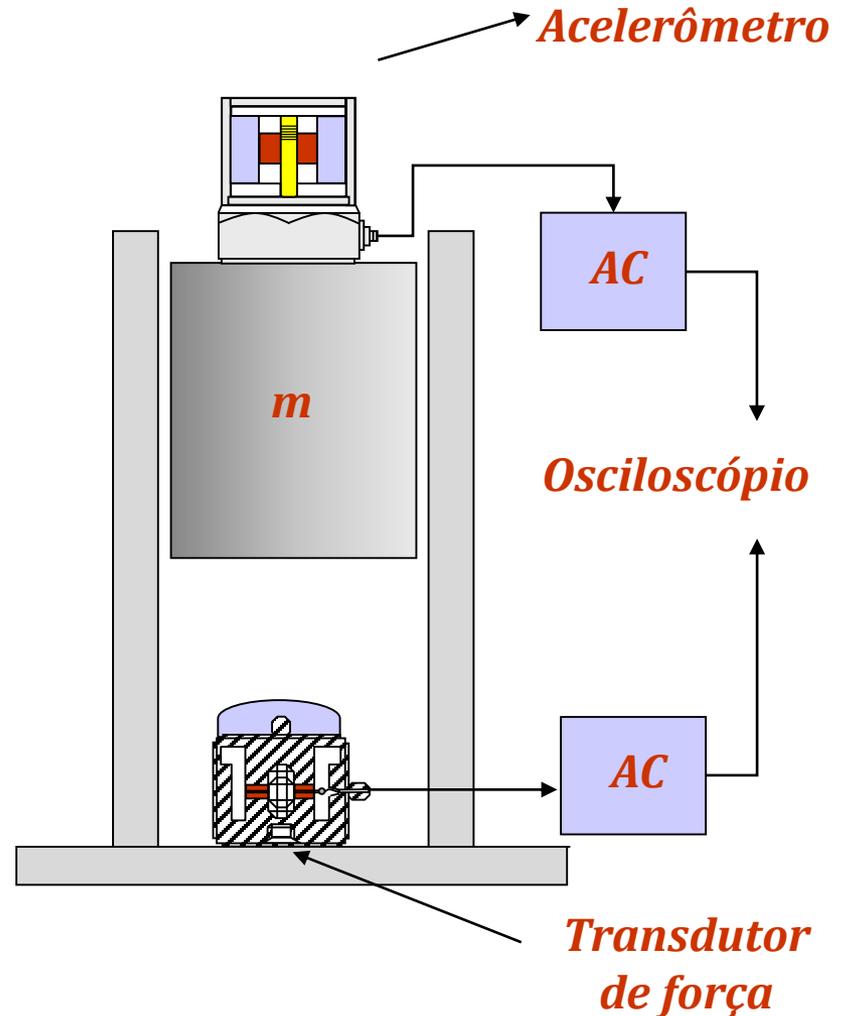
- Mais conhecida por *calibração gravimétrica*

- Três etapas:

- 1-) Posicionamento da massa rígida sobre o transdutor de força

- 2-) Remoção súbta da massa rígida e posterior medição do sinal de força do transdutor de força: E_{mg}

- 3-) Queda livre da massa rígida e acelerômetro sobre o transdutor de força. Medição de E_f e E_a



Calibração de acelerômetros

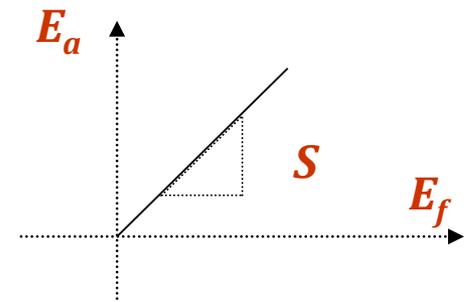
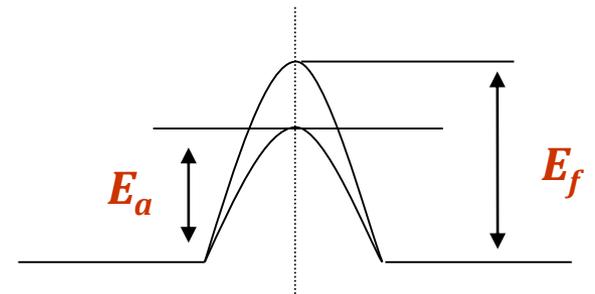
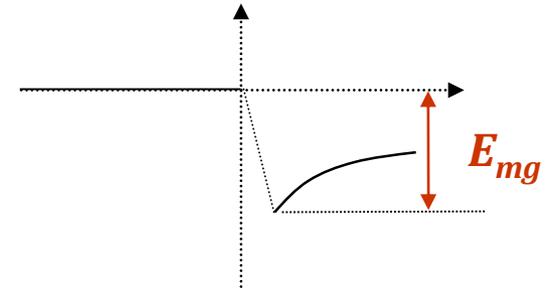
2ª etapa: $F_{mg} = mg = W = \frac{E_{mg}}{S_f}$

3ª etapa: $F = \frac{E_f}{S_f}$ e $\frac{a}{g} = \frac{E_a}{S_a}$

Então usando-se: $F = mg \left(\frac{a}{g} \right)$

$$\frac{E_f}{S_f} = \frac{E_{mg}}{S_f} \frac{E_a}{S_a}$$

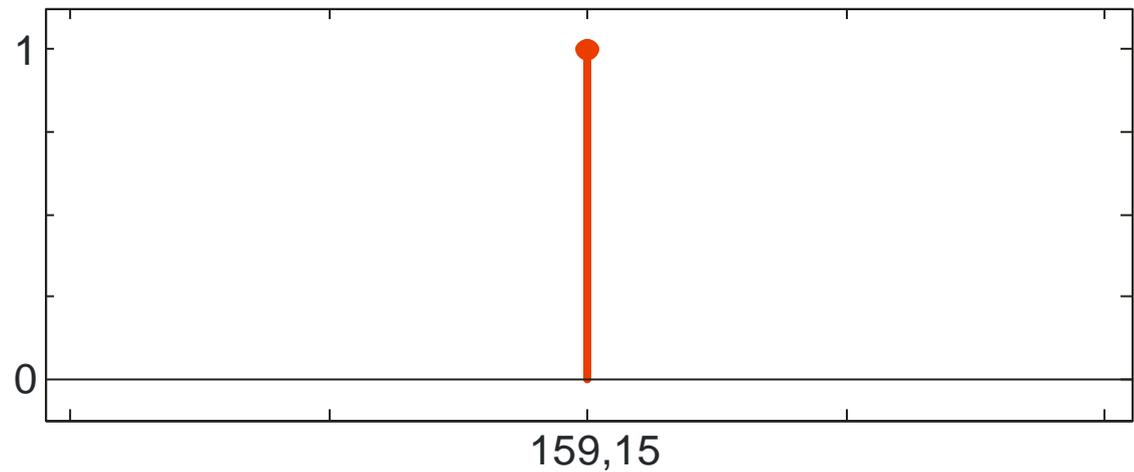
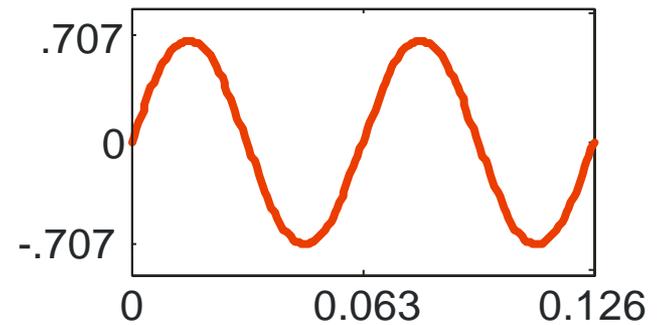
$$S_a = \frac{E_a}{E_f} E_{mg}$$



Calibração de acelerômetros



$f = 159.15 \text{ Hz}$
 $a = 1g$



Calibração de Transdutor de Força

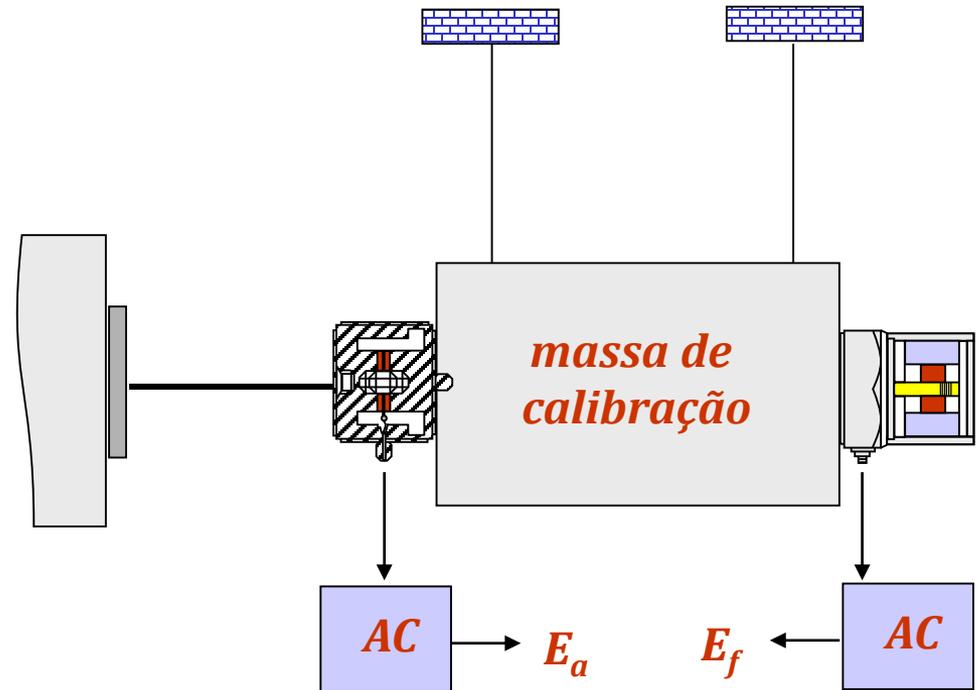
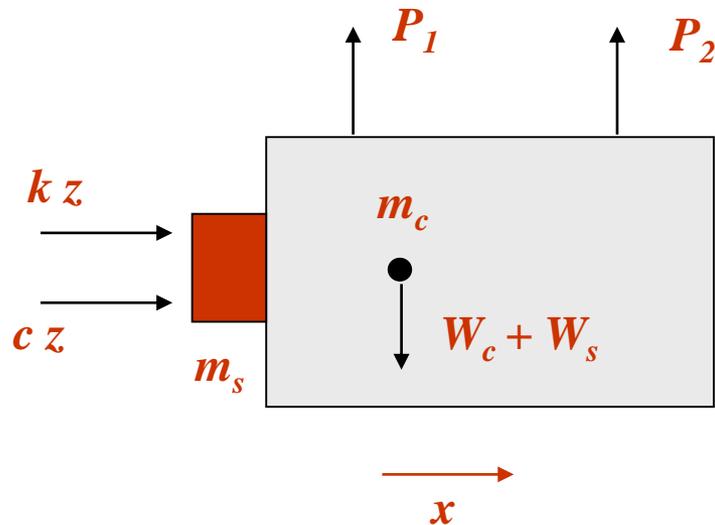


Diagrama de corpo livre para massa de calibração

Calibração de Transdutor de Força

$$c \dot{z} + k z = m_c \ddot{x} + m_s \ddot{x}$$

Tensões de saída para o transdutor de força e acelerômetro:

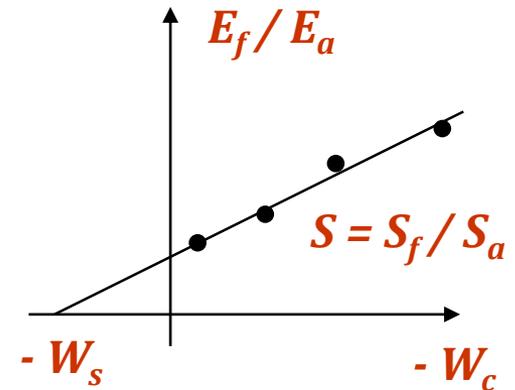
$$E_f = H'_f(\omega) S_f [m_c g + m_s g] \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ g \end{bmatrix}$$

$$E_a = H_a(\omega) S_a \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ g \end{bmatrix}$$

Razão de tensões elétricas:

$$\frac{E_f}{E_a}(\omega) = \frac{H'_f(\omega) S_f}{H_a(\omega) S_a} (m_c g + m_s g) = \frac{S_f}{S_a} (W_c + W_s)$$

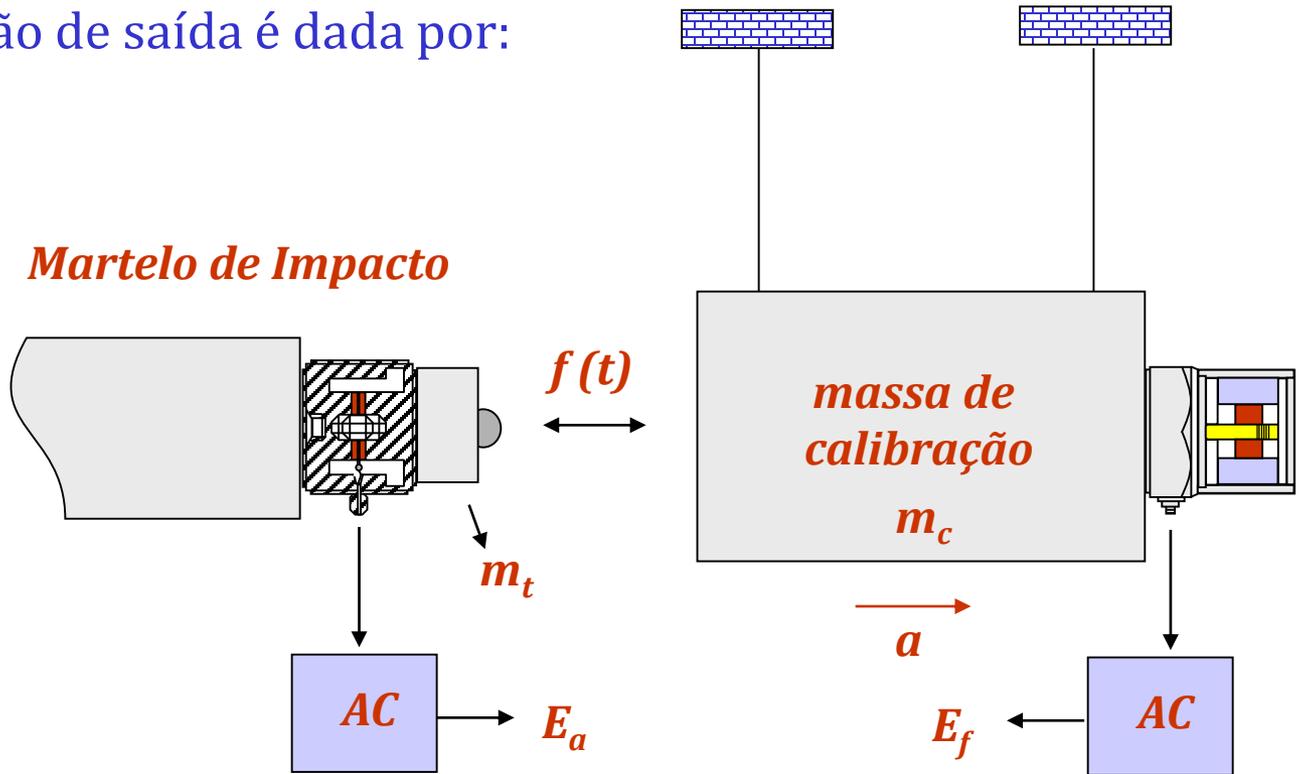
Para $m_c \gg m_s$:



$$S_f = \left(\frac{E_f}{E_a} \right) \left(\frac{S_a}{W_c} \right)$$

Calibração de Transdutor de Força

Neste caso, a tensão de saída é dada por:



$$E_f = \left(\frac{m_2 S_f}{m_1 + m_2} \right) H_f(\omega) F = S_f^* H_f(\omega) F$$

$$S_f^* = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right) S_f$$

Calibração de Transdutor de Força

E também:

Para o acelerômetro:
$$H_f(\omega) = \left[\frac{jT_f \omega}{1 + jT_f \omega} \right] \left[\frac{1}{1 - r^2 + j2\zeta r} \right]$$

De acordo com a 2a lei de Newton:
$$E_a = H_a(\omega) S_a \left(\frac{\ddot{x}}{g} \right)$$

Obtem-se finalmente:
$$E_f = \left(\frac{H_f(\omega)}{H_a(\omega)} \right) \left(\frac{S_f^*}{S_a} \right) m_c g E_a$$

$$S_f^* = \left(\frac{H_a(\omega)}{H_f(\omega)} \right) \left(\frac{E_f}{E_a} \right) \left(\frac{S_a}{W_c} \right) \cong \left(\frac{E_f}{E_a} \right) \left(\frac{S_a}{W_c} \right)$$

FIM do Tópico

*continuem se cuidando
espero revê-los em breve*