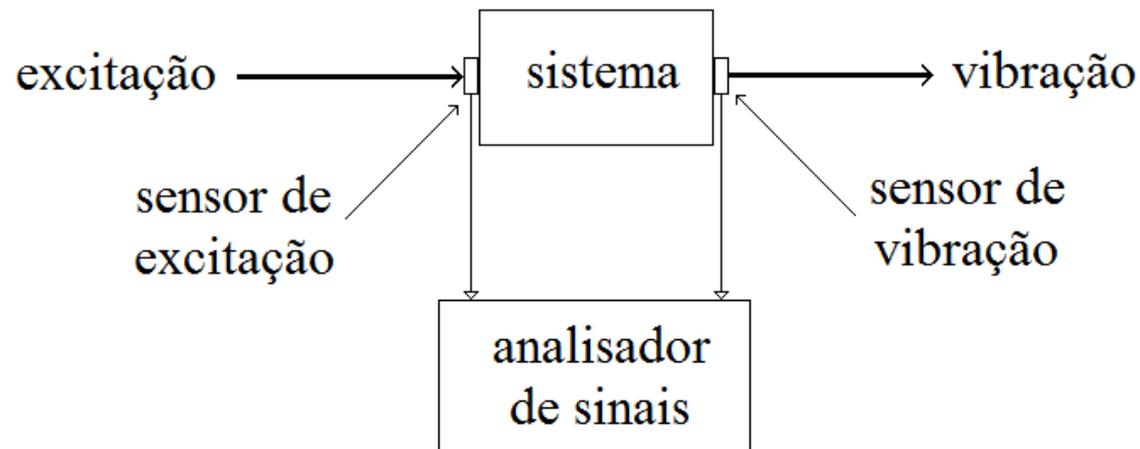


# MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES E EXCITAÇÕES

## CADEIA EXPERIMENTAL TÍPICA

Uma **cadeia experimental típica** para medição de excitações e vibrações em sistemas mecânicos é ilustrada na figura abaixo.

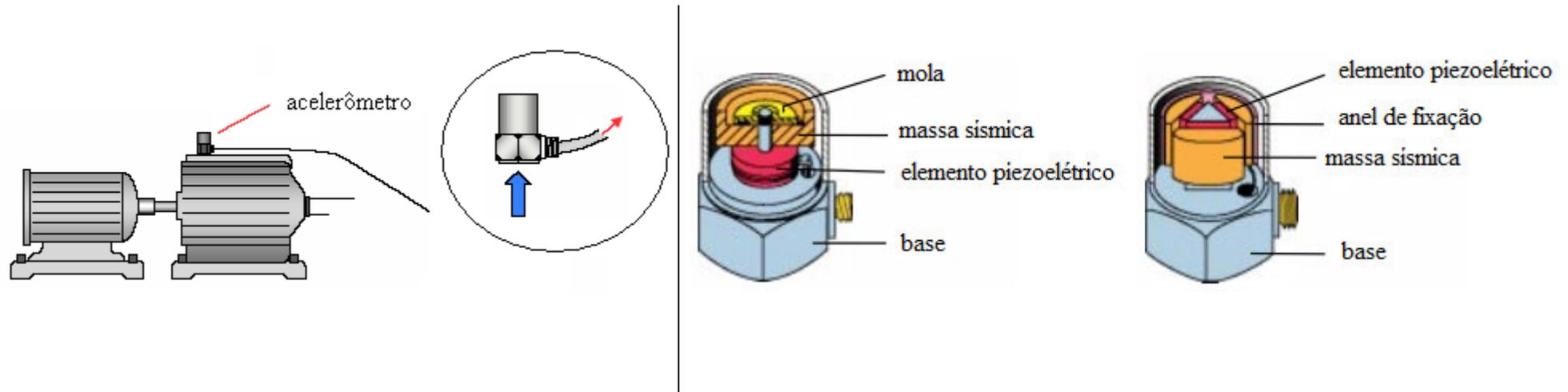


*Cadeia experimental típica*

Os sensores de excitação e vibração captam, respectivamente, os sinais de entrada e saída do sistema. Esses sinais são enviados para o analisador, que, conectado a um computador, faz o processamento e fornece os resultados correspondentes.

## CAPTAÇÃO DE VIBRAÇÃO

Os sensores mais utilizados para a captação de vibração são os sensores piezoelétricos de aceleração, ou simplesmente **acelerômetros**.

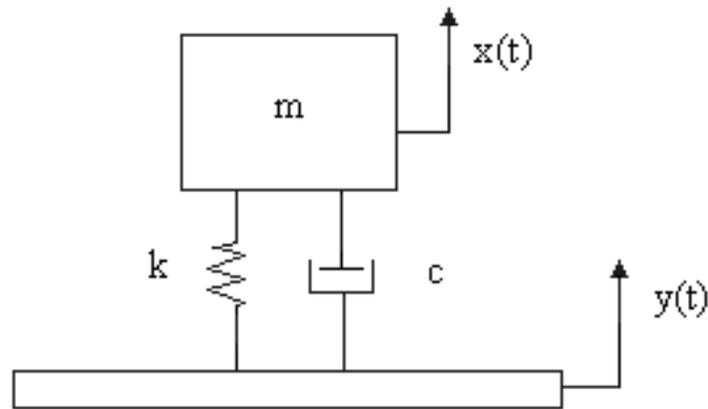


*Acclerômetro piezoelétrico: (a) uso; (b) formas construtivas (Copyright © Brüel & Kjær)*

Os elementos piezoelétricos dos sensores geram cargas elétricas proporcionais às deformações relativas experimentadas por eles. Cada carga pode ser associada a uma tensão correspondente, por meio de um circuito eletrônico integrado (denominado icp ou iepe) ao sensor. Essa tensão constitui a saída do sensor.

## CAPTAÇÃO DE VIBRAÇÃO (cont.)

Ilustra-se, na figura abaixo, um **modelo usual para um acelerômetro**.



*Sistema com um grau de liberdade com base em movimento*

O elemento piezoelétrico, descrito pela mola e pelo amortecedor, sofre uma deformação relativa de amplitude  $Z$ . Ela é diretamente proporcional à amplitude  $Y_A$  da aceleração da base em que se encontra o acelerômetro, de modo que

$$Z \cong \left( \frac{1}{\omega_n^2} \right) Y_A \quad (\text{validade: } \omega \ll \omega_n, \omega_n = \text{freq. natural do sistema})$$

## CAPTAÇÃO DE VIBRAÇÃO (cont.)

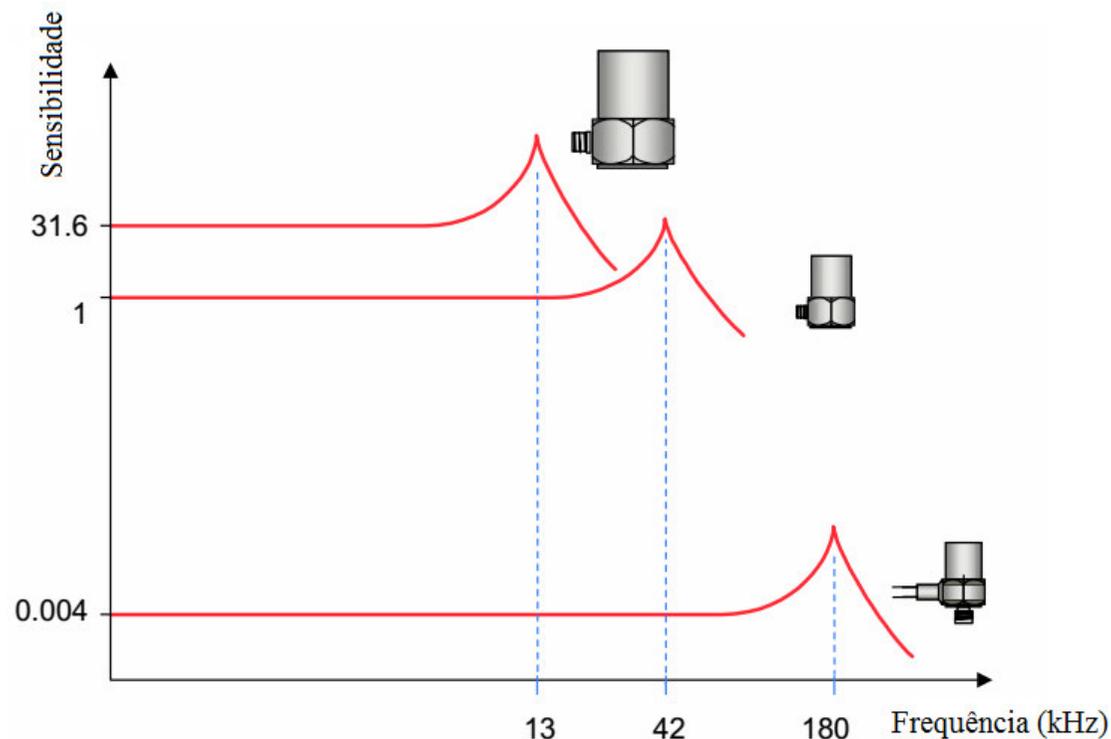
Para um acelerômetro, a **sensibilidade de tensão**  $S_V$  é expressa como

$$S_V = \frac{\text{amplitude de tensão (mV)}}{\text{amplitude de aceleração da base (m / s}^2\text{)}}$$

- a **sensibilidade** do acelerômetro é **inversamente proporcional ao quadrado de sua frequência natural**  $\omega_n$ , ou seja, há proporcionalidade direta com a sua massa e inversa com a sua rigidez;
- os acelerômetros de grande sensibilidade tendem a ser maiores, ao passo que os de pequena sensibilidade, menores;
- os acelerômetros de grande sensibilidade (com  $\omega_n$  menor) tem faixa de utilização menor do que os de pequena sensibilidade, pois  $\omega \ll \omega_n$ .

## CAPTAÇÃO DE VIBRAÇÃO (cont.)

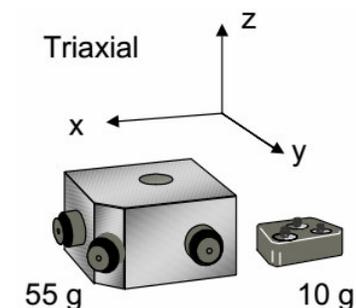
Um **acelerômetro ideal** teria **máxima sensibilidade**, **mínima massa** e **máxima faixa de frequência utilizável**. Esse acelerômetro, porém, é impossível de ser construído, pois os fatores acima mencionados são contraditórios.



*Sensibilidade e faixa de frequência de acelerômetro (Copyright © Brüel & Kjær)*

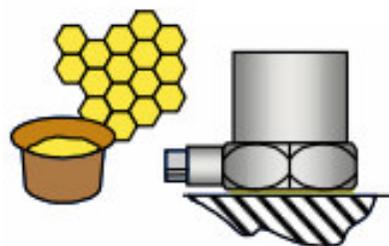
## CAPTAÇÃO DE VIBRAÇÃO (cont.)

Cabe destacar que **acelerômetros triaxiais** não só já existem há algum tempo como têm sido bem usados.

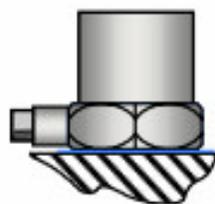


São ilustradas abaixo algumas formas usuais de **fixação de acelerômetros**.

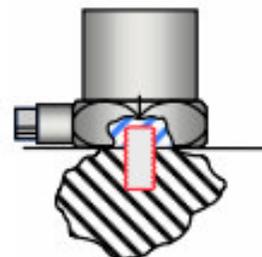
Conexões por rosca, cera e base magnética são largamente empregadas.



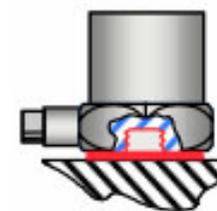
cera de abelha  
(máx. 40 C)



fita adesiva  
de dupla face



pino rosqueado



base rosqueada

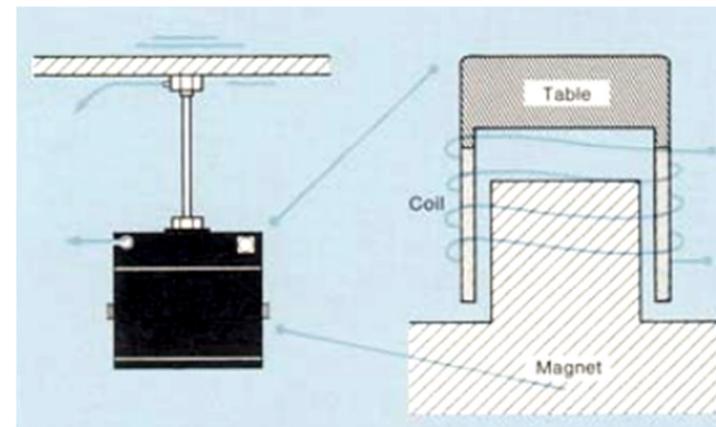
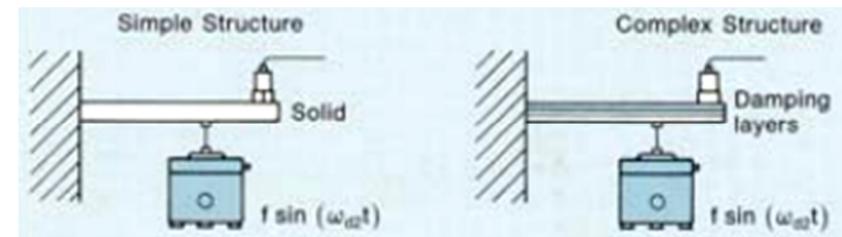
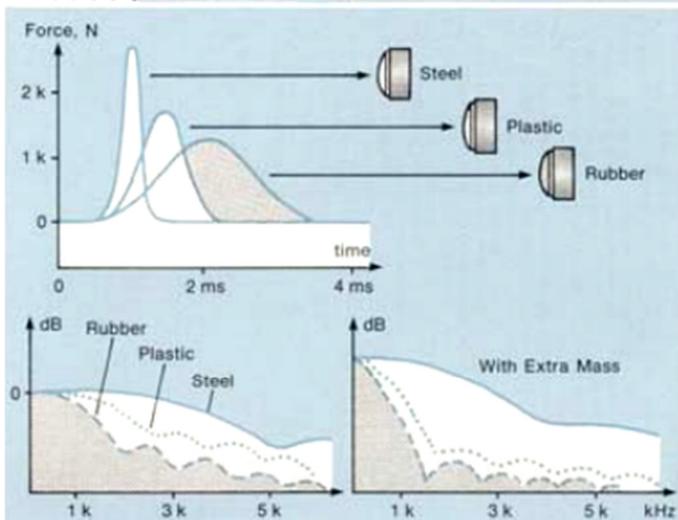
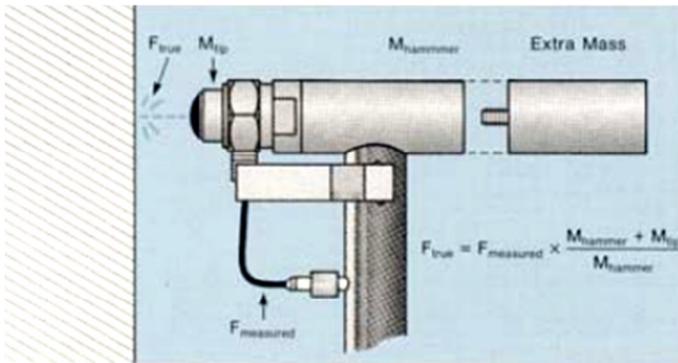
*Fixação de acelerômetros (Copyright © Brüel & Kjær)*

Como qualquer sensor, **acelerômetros devem ser manuseados com cuidado**, em especial no tocante a choques e quedas.



# GERAÇÃO DE EXCITAÇÃO

As duas formas principais de se excitar um sistema mecânico são através de **martelos de impacto** e de **excitadores de vibração** (“shakers”).

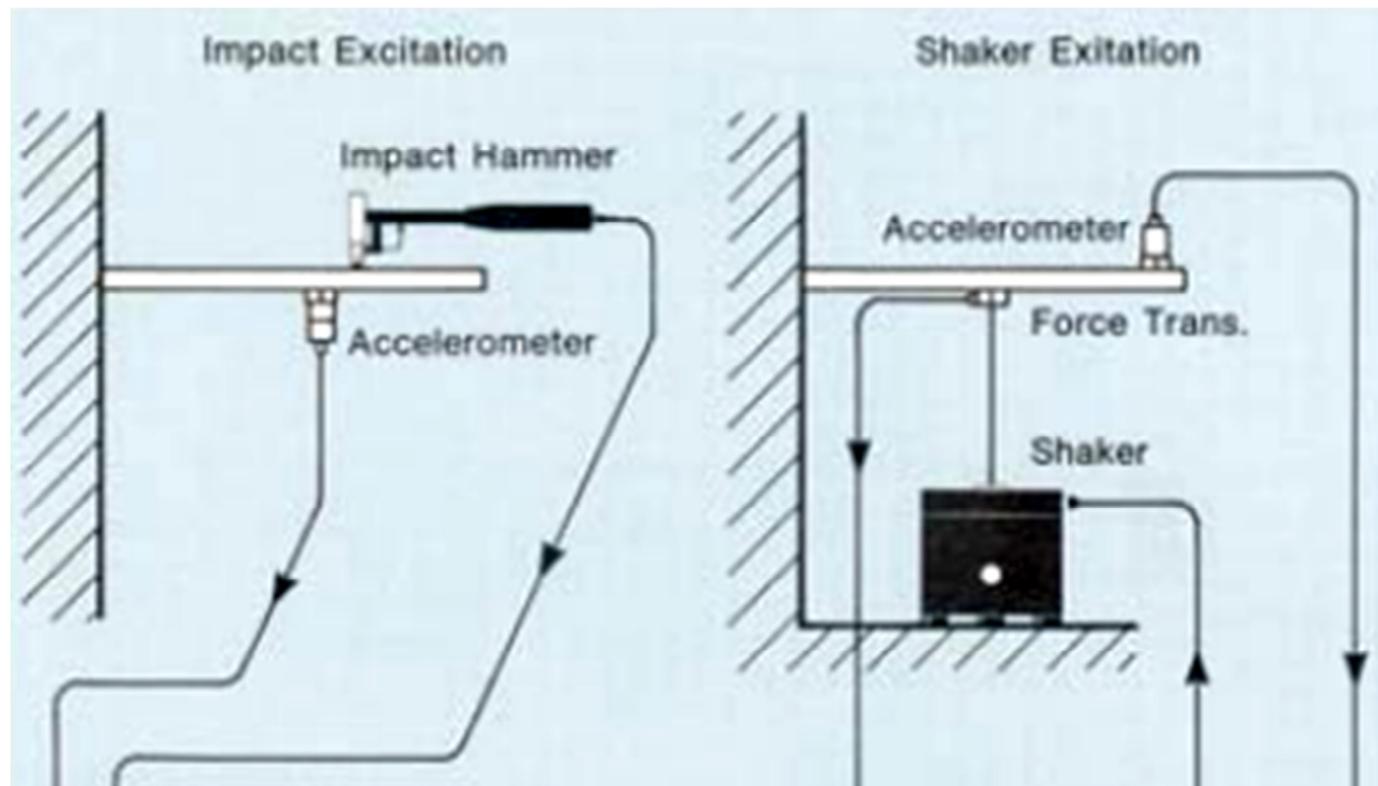


*Excitador de vibração  
(Copyright © Brüel&Kjær)*

*Martelo de impacto (Copyright © Brüel&Kjær)*

## GERAÇÃO DE EXCITAÇÃO (cont.)

O **martelo de impacto** tem as vantagens da **praticidade** e da **flexibilidade**. Já o **excitador de vibração**, por seu lado, pode gerar uma **gama variada de sinais de excitação**, até sob programação do usuário.



*Excitação por martelo de impacto e excitador de vibração (Copyright © Brüel&Kjær)*

## GERAÇÃO DE EXCITAÇÃO (cont.)

Ao contrário do martelo de impacto, o excitador de vibração sempre fica em contato com o sistema sob teste, através de uma haste (“stinger”).

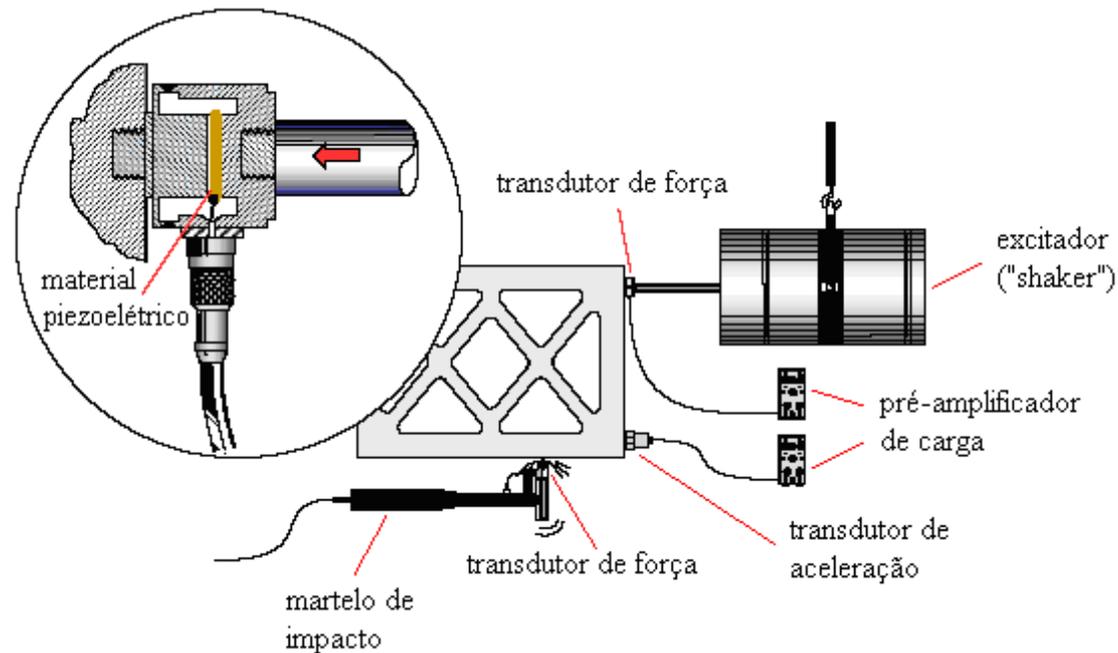
Como ilustrado abaixo, há martelos de impacto e excitadores de vibração para distintas aplicações, com, conseqüentemente, distintas capacidades.



*Martelos de impacto e excitadores de vibração (Copyright © Brüel&Kjær)*

## CAPTAÇÃO DE EXCITAÇÃO

A excitação produzida por martelos e excitadores pode ser captada por sensores piezoelétricos de força, ou apenas **transdutores de força**.



*Transdutor piezoelétrico de força (Copyright © Brüel&Kjær)*

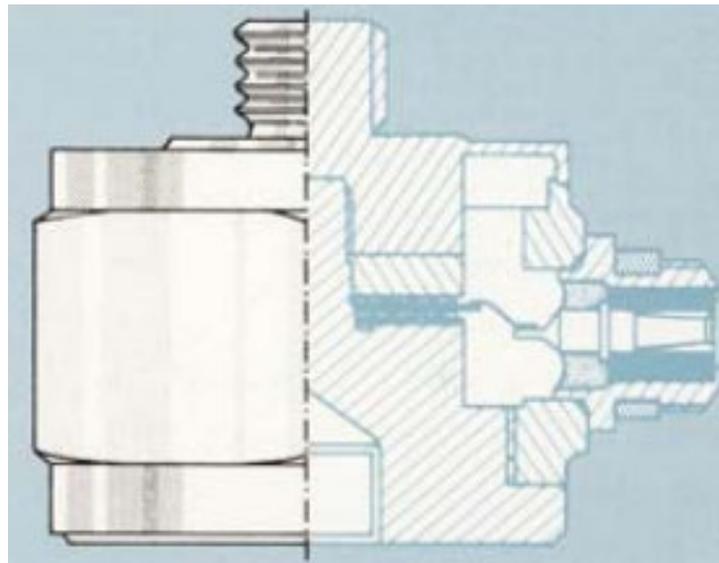
Nos sensores piezoelétricos de força, são geradas cargas e, na sequência, tensões proporcionais às forças aplicadas, via circuitos eletrônicos integrados (icp/iepe).

## CAPTAÇÃO DE EXCITAÇÃO (cont.)

No caso, a **sensibilidade de tensão**  $S_V$  é expressa por

$$S_V = \frac{\text{amplitude de tensão (mV)}}{\text{amplitude de força aplicada (N)}}$$

Graças à grande rigidez dos elementos piezoelétricos, os **sensores de força** podem ser **usados em largas faixas de frequência**, a partir de 0 Hz.



*Transdutor piezoelétrico de força (Copyright © Brüel&Kjær)*

## ANALISADOR DE SINAIS

Um **analisador digital de sinais** adquire sinais de tensão analógicos, associados a vibrações e/ou excitações de interesse, para filtrar, digitalizar e processar esses sinais. Eventualmente, além de **canais de entrada**, o analisador pode possuir também **canais de saída** (adquirir / gerar sinais).

Dos sinais que são processados, resultam seus **espectros** e ainda funções resposta em frequência (**FRFs**) do sistema investigado.

Ilustra-se acima um analisador digital de sinais que opera interfaceado com um computador portátil. Ele possui 4 canais de entrada e 1 canal de saída.



*Analisador digital de sinais*

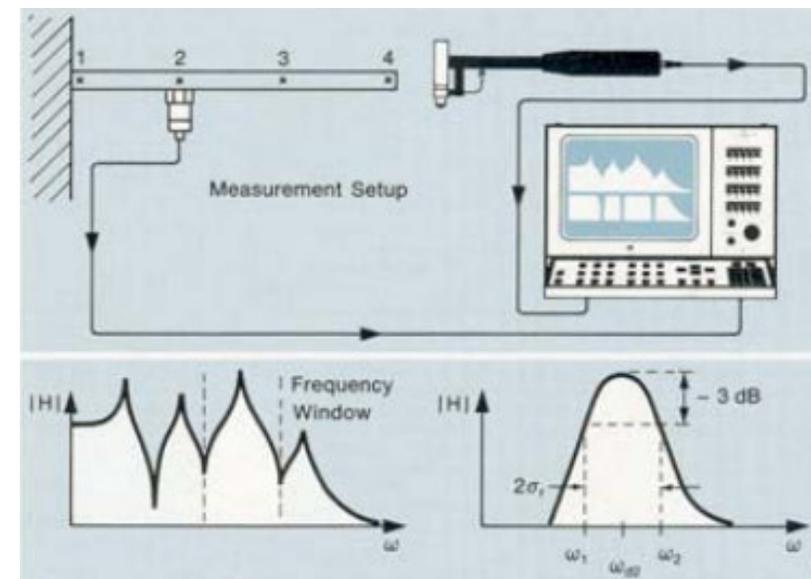
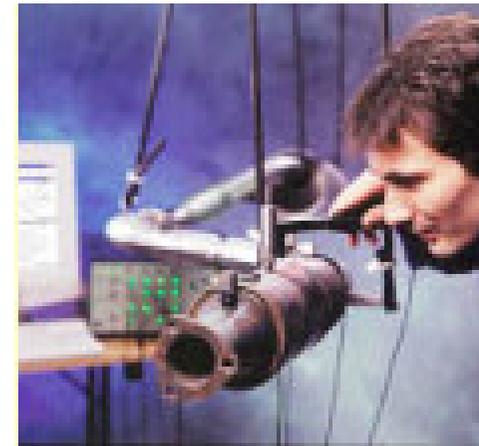
*(Copyright © National Instruments)*

## ANALISADOR DE SINAIS (cont.)

Considere-se, por exemplo, o caso típico em que um martelo de impacto excita uma estrutura com uma força impulsiva  $f(t)$ , força que é captada por seu sensor, enquanto a vibração  $\ddot{x}(t)$  resultante é captada por um acelerômetro.

O analisador pode computar as transformadas de Fourier  $\bar{F}(\omega)$  e  $\bar{X}_A(\omega)$  associadas e a FRF  $\left[ \bar{X}_A(\omega) / \bar{F}(\omega) \right]$ .

Essa FRF é conhecida como inertância, ou acelerância (aceleração / força).



*Medição de FRF e Identificação  
(Copyright © Brüel&Kjær)*

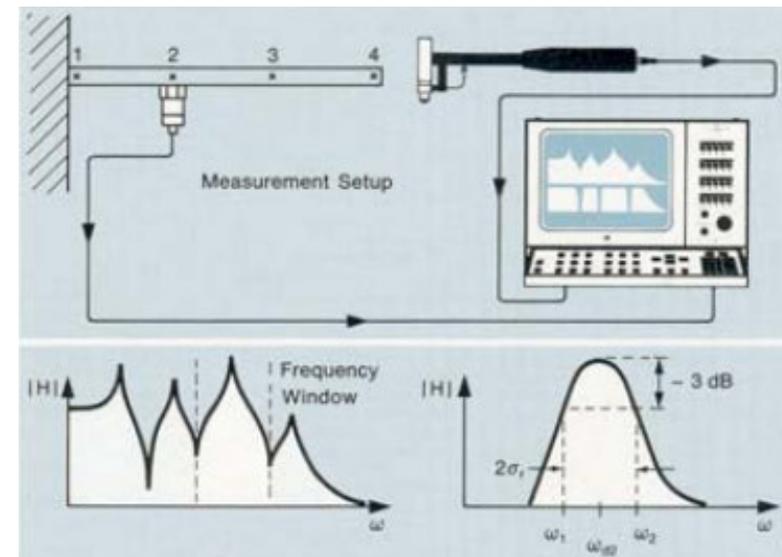
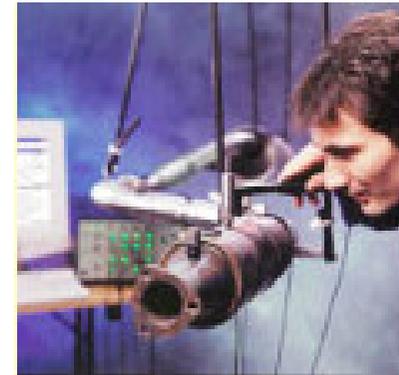
## ANALISADOR DE SINAIS (cont.)

As informações oriundas de um analisador podem ser utilizadas de várias formas.

Podem ser obtidas, dentre outras, **estimativas dos parâmetros modais** (frequências naturais, fatores de amortecimento e modos de vibrar) de um sistema mecânico de interesse.

Pode-se também se verificar se uma dada **vibração** está ou não **acima do limite aceitável** para o caso em estudo.

→ Materiais da Brüel&Kjær: <https://www.bksv.com/pt-BR/Knowledge-center> .



*Medição de FRF e Identificação  
(Copyright © Brüel&Kjær)*

## SENSORES E EQUIPAMENTOS – FAIXAS TÍPICAS DE PREÇO (US\$)

	Acelerômetros	800 – 2.000
	Sensores de força	1.300 – 1.700
	Martelos de impacto	2.000 – 3.000
	Excitadores (“shakers”)	3.200 – 90.000
	Analísadores	2.000 (NI, 4I/1O) 20.000 (B&K, 4I/2O)

*(Copyright © Brüel&Kjær)*