

PMR 3411 - Projeto de Máquinas

# Princípios de projeto de máquinas

Gilberto F. Martha de Souza

Julio Cezar Adamowski

agosto/2023

# Projeto de máquina

## Especificações:

tipo de máquina

dimensões

velocidades, acelerações

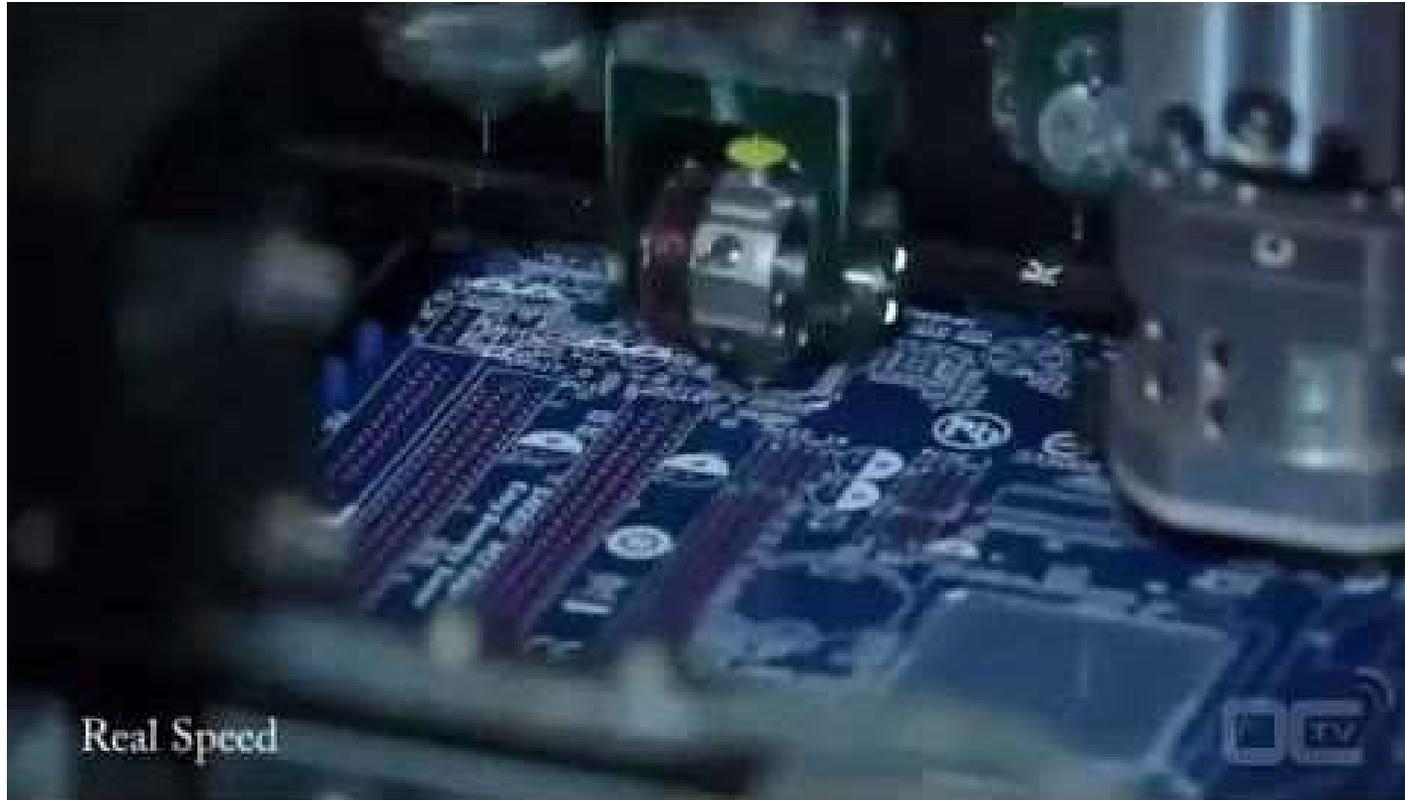
precisão (acurácia)

## Custo

## Exemplos de máquinas

### Montagem de placas de circuito impresso





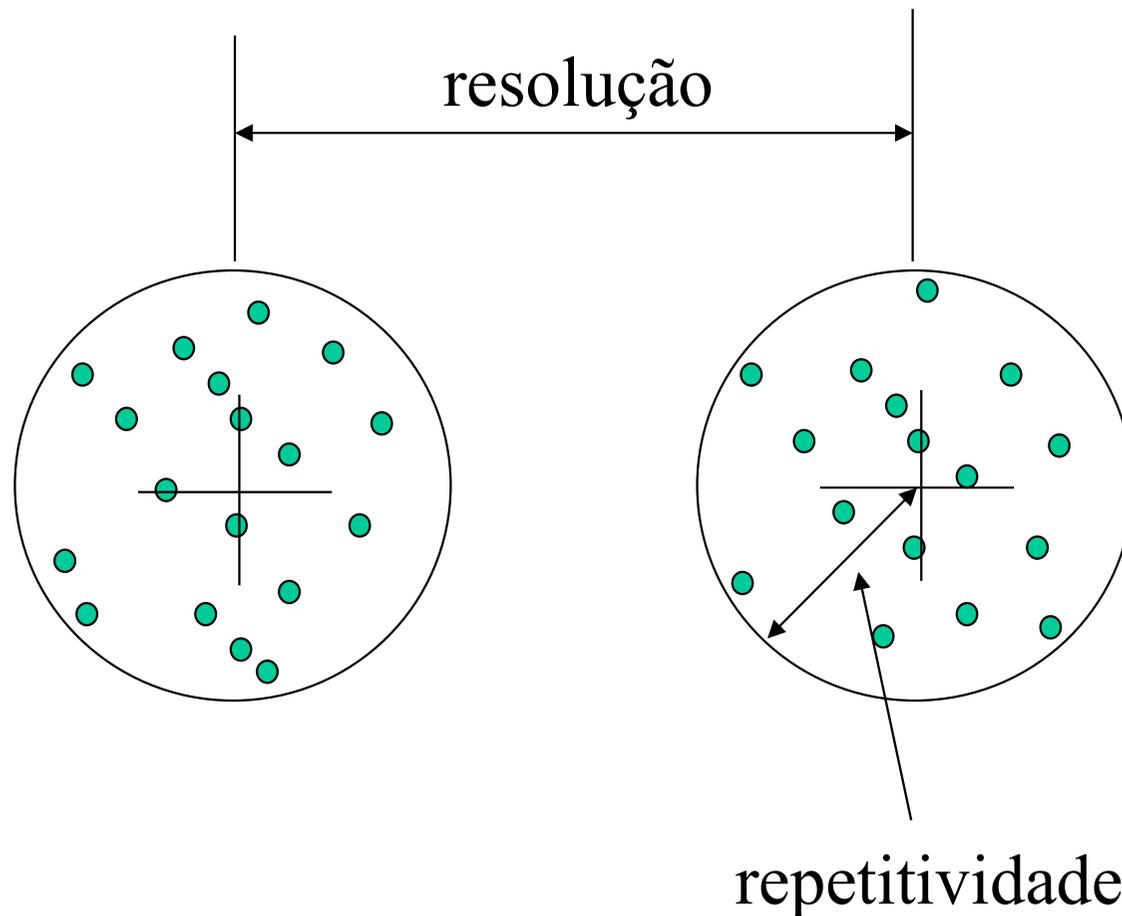
<https://www.youtube.com/watch?v=yQ6RU>  
KAZRvs

# Precisão e acurácia

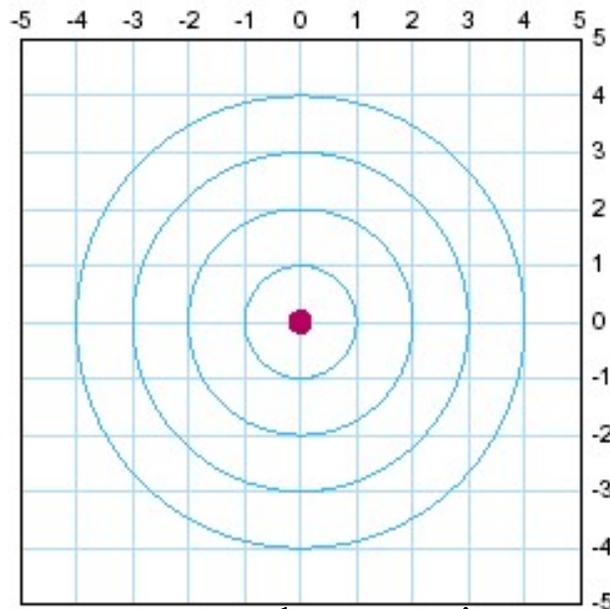
Precisão: capacidade de repetir o mesmo deslocamento

Acurácia: exatidão ( padrão de medição)

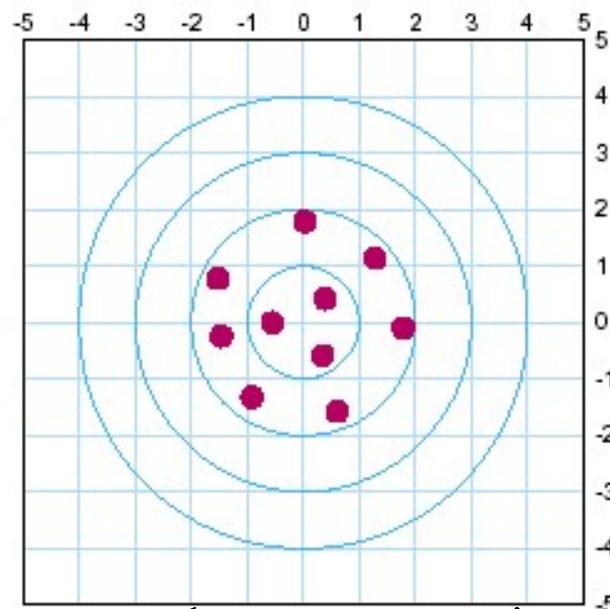
Resolução: menor deslocamento medido pela máquina



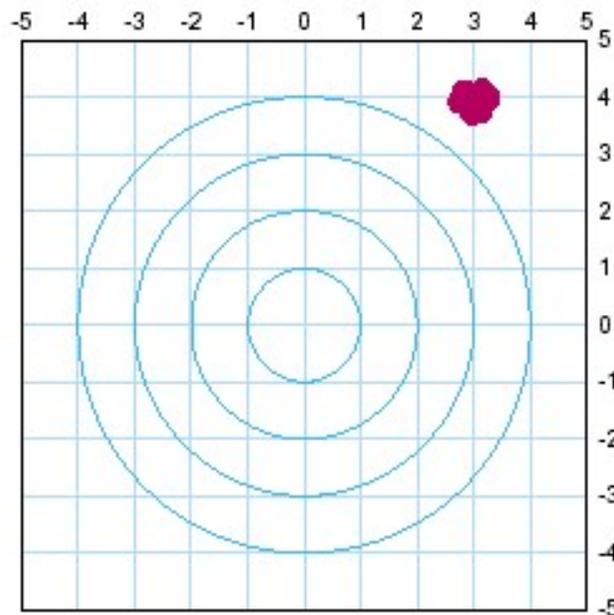
# Precisão e acurácia



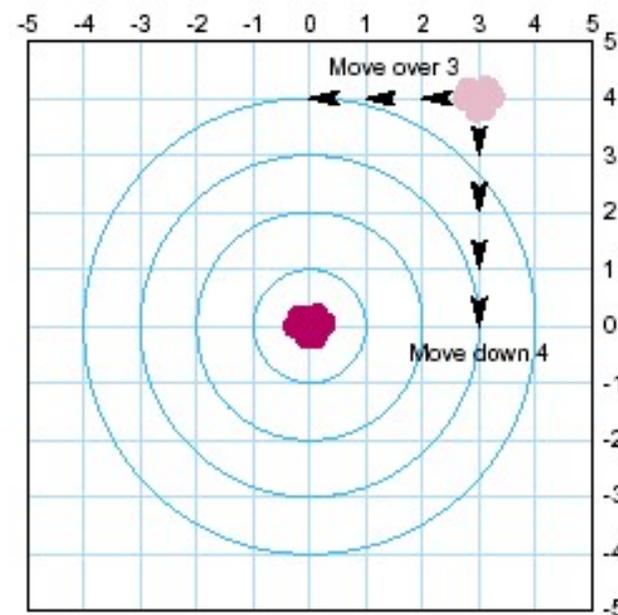
acurado e preciso



acurado e pouco preciso



preciso e não acurado



compensação de erro

# Precisão de movimento

Componentes mecânicos:

guias (lineares, circulares)

fusos, cremalheiras

redutores (engrenagens)

Problemas:

Folga

Atrito

Resposta dinâmica:

estrutura, transmissão, atuador

Erros aleatórios

Erros sistemáticos: correção por software

# Resolução e precisão

## Resolução:

Menor deslocamento medido pela máquina

Sensor de posição: por exemplo régua óptica (0,0001mm)

Nossa máquina: posição angular dada pelo motor de passo

Acionamento micro-passo do motor → 2000 posições por volta

Fuso de esferas recirculante → passo 5mm/volta

resolução com motor energizado:  $5\text{mm}/2000 = 0,0025\text{mm}$

## Precisão:

movimentação sem desenergizar o motor de passo (máquina sempre ligada)

≠

movimentação a partir de posição que o motor foi desenergizado (motor de passo de 4 fases tem 50 posições quando não energizado)

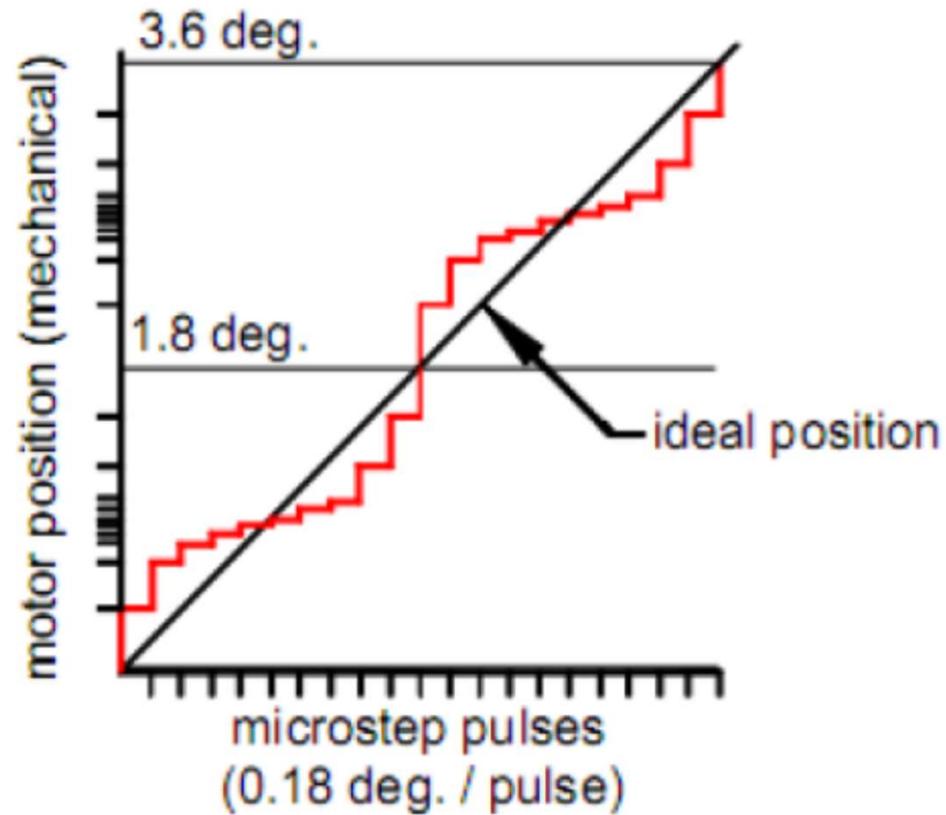
## Folga

Variação do passo do motor

Variação do passo do fuso de esferas recirculantes

# Motor de passo PMR3411

## Comportamento do motor acionado com micro passo



# Fusos de esferas recirculantes

## Classes de precisão

Table 3.3 Variation per 300mm( $e_{300}$ ) and Wobble Error( $e_{2\pi}$ ) (JIS B 1192)

Unit :  $\mu\text{m}$

Grade	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C10
$e_{300}$	3.5	5	7	8	18	50	210
$e_{2\pi}$	2.5	4	5	6	8		

Por exemplo: um fuso classe C5 tem um erro máximo de 0,018mm em um deslocamento de 300mm e um erro máximo de 0,008mm em uma volta

O fuso usado em PMR3411 é trefilado e tem uma classe de precisão acima de C10. Isto é, se fosse classe C10 poderia ter um erro máximo de 0,21mm em 300mm de curso.

Fusos de esfera laminados com diâmetros de 16 a 40 mm:

**folga máxima de 0,08 mm**

Fig. 2.15 Preload from spacer

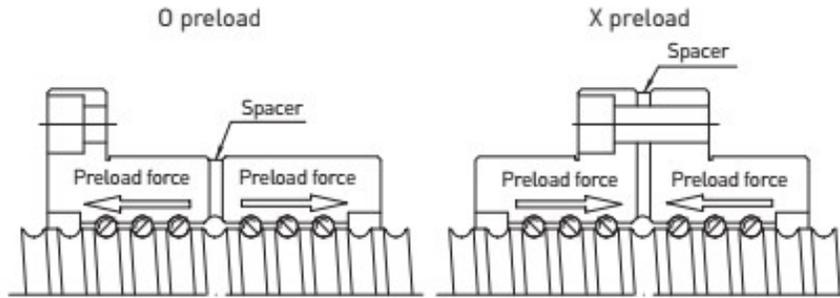


Fig. 2.16 Preload from ball size

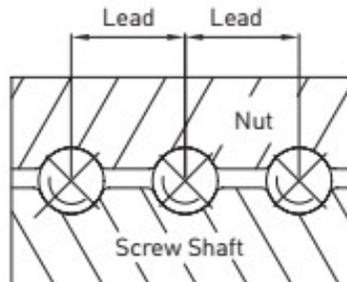
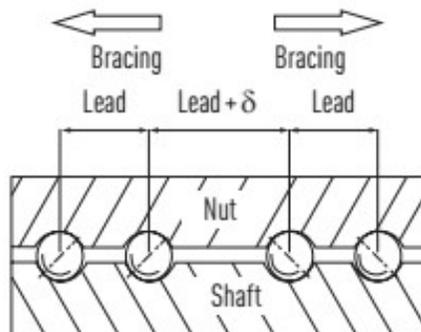


Fig. 2.17 Preload from lead offset

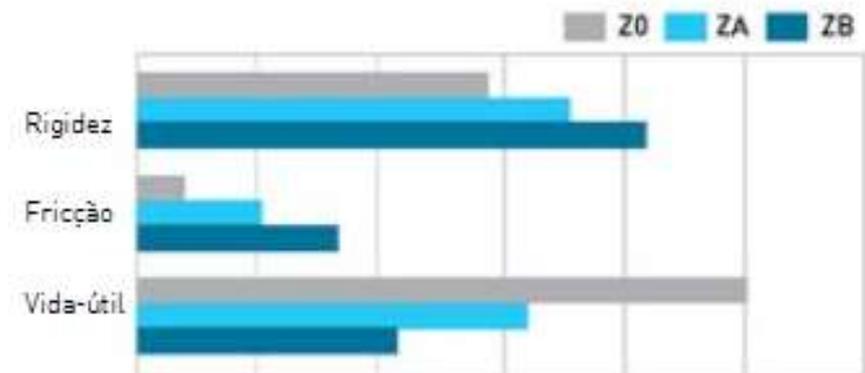


Redução de folga na castanha do fuso de esferas recirculantes

Tabela 2-7-13

Classes	Código	Pré-carga	Condições
Pré-carga Leve	Z0	0.02C–0.04C	Direção determinada de carga, baixo impacto, baixa precisão requerida
Pré-carga Média	ZA	0.07C–0.09C	Baixa carga e alta precisão requerida
Pré-carga Pesada	ZB	0.12C–0.14C	Alta rigidez necessária, com vibração e impacto

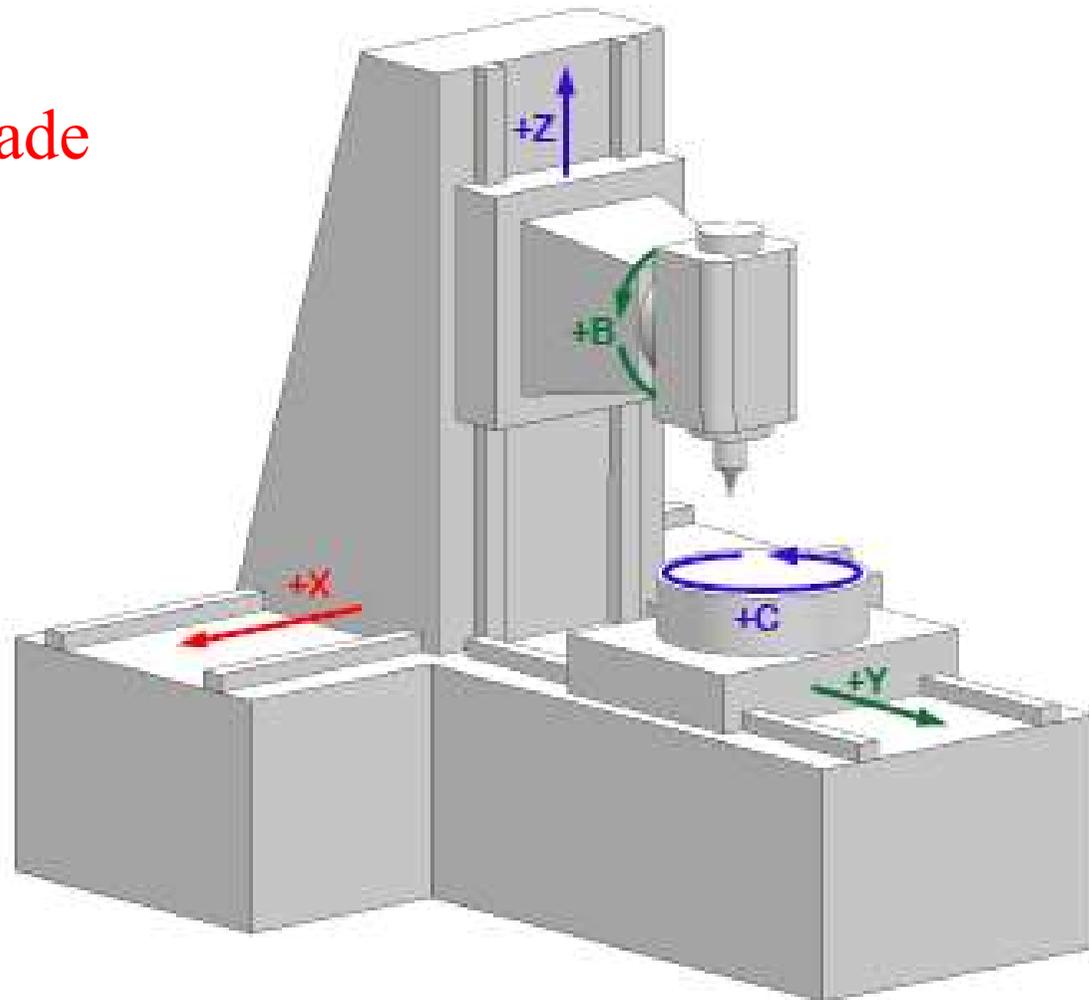
A figura ao lado mostra a relação entre a rigidez, o atrito e a vida nominal. A pré-carga não superior a ZA é recomendada para modelos de dimensões menores para assim evitar o excesso de pré-carga que pode afetar a vida-útil da guia linear.



## Utilização da Pré-Carga – Guias Lineares Irwin

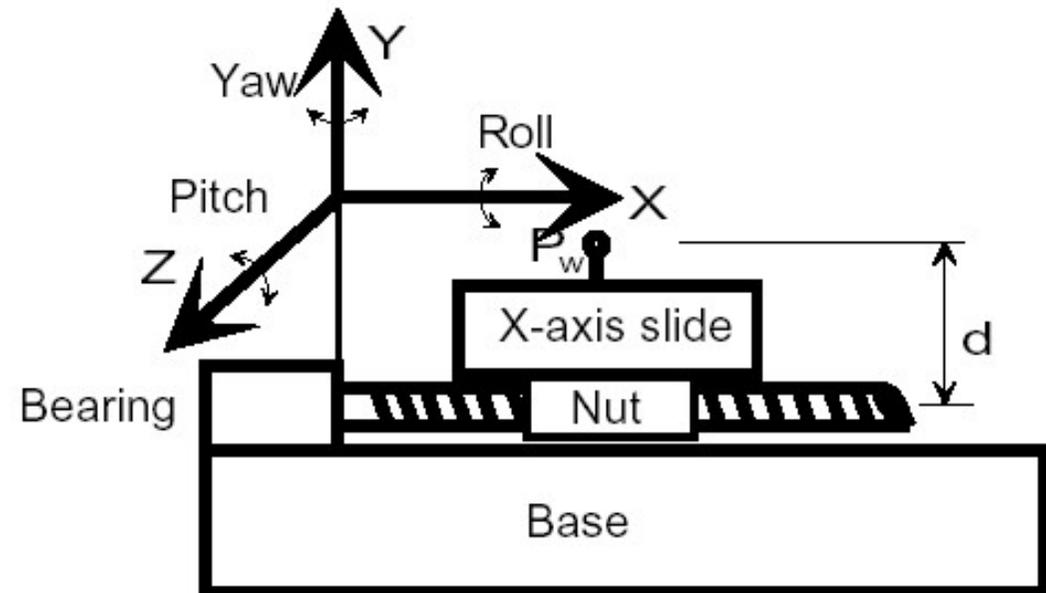
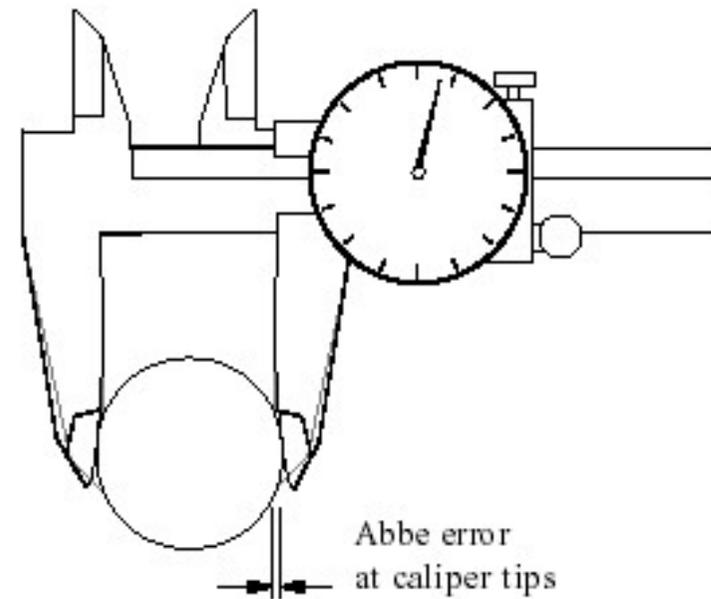
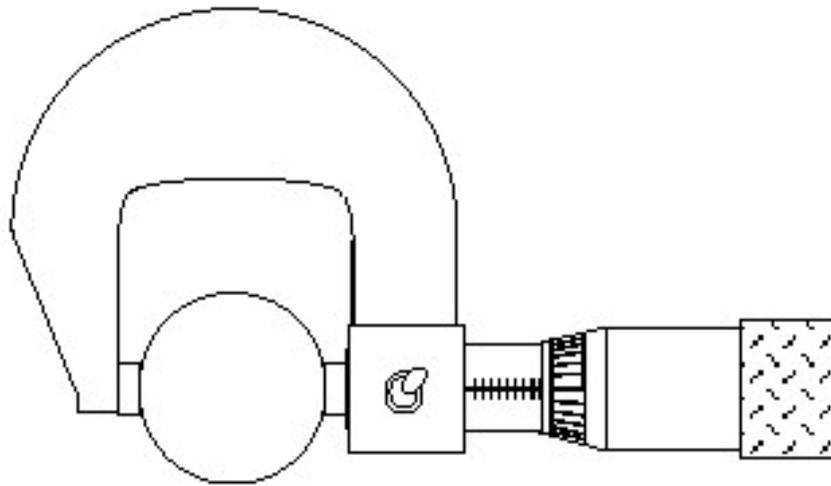
# Erros geométricos

Perpendicularidade  
Paralelismo



# Erros geométricos

## Erro de Abbe



## Topologia da máquina

# Erros dinâmicos

Vibrações: frequências naturais, rigidez dinâmica

rigidez

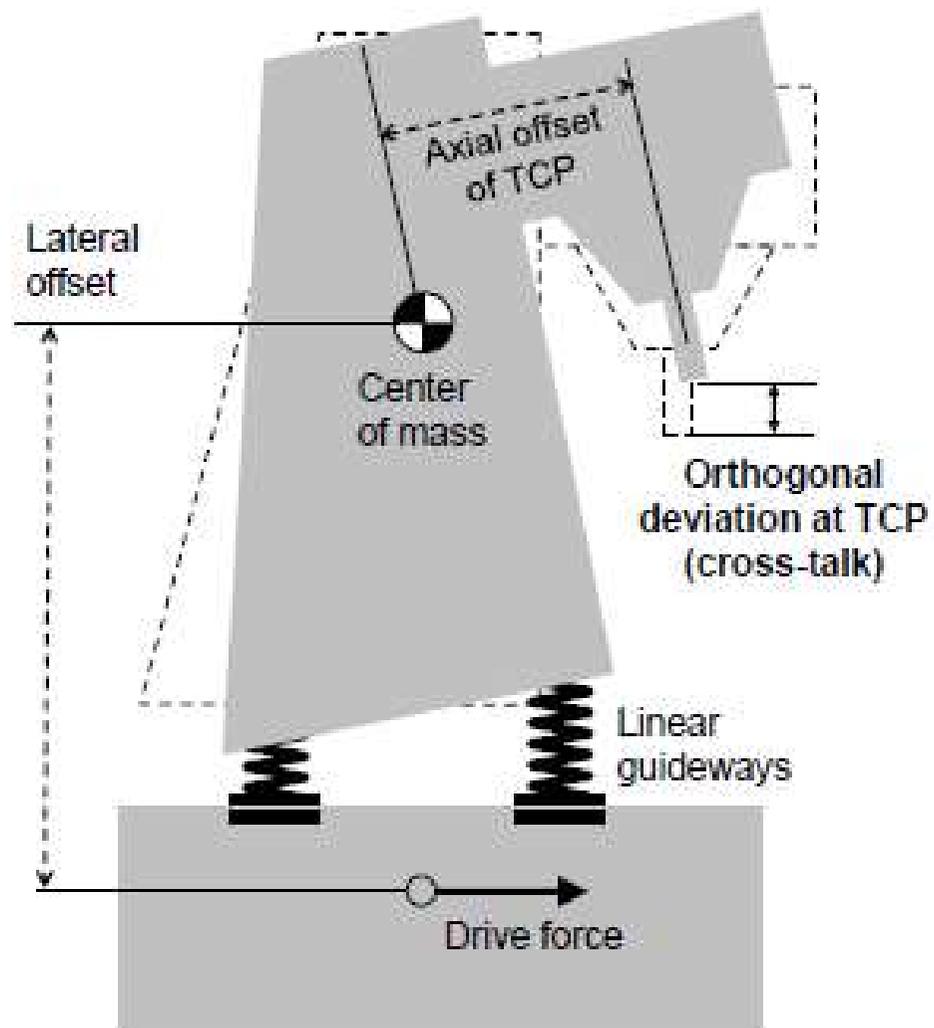
massa

amortecimento

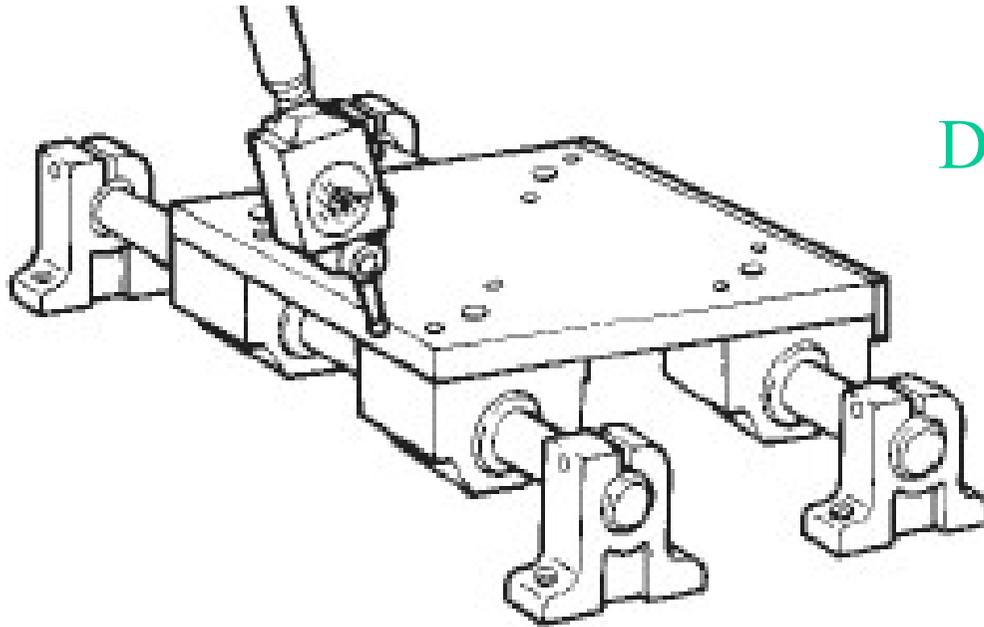
Fontes de excitação das vibrações: rolamentos, eixo árvore, atuação

# Modos de vibrar

## Rigidez das guias



# Rigidez das guias lineares cilíndricas



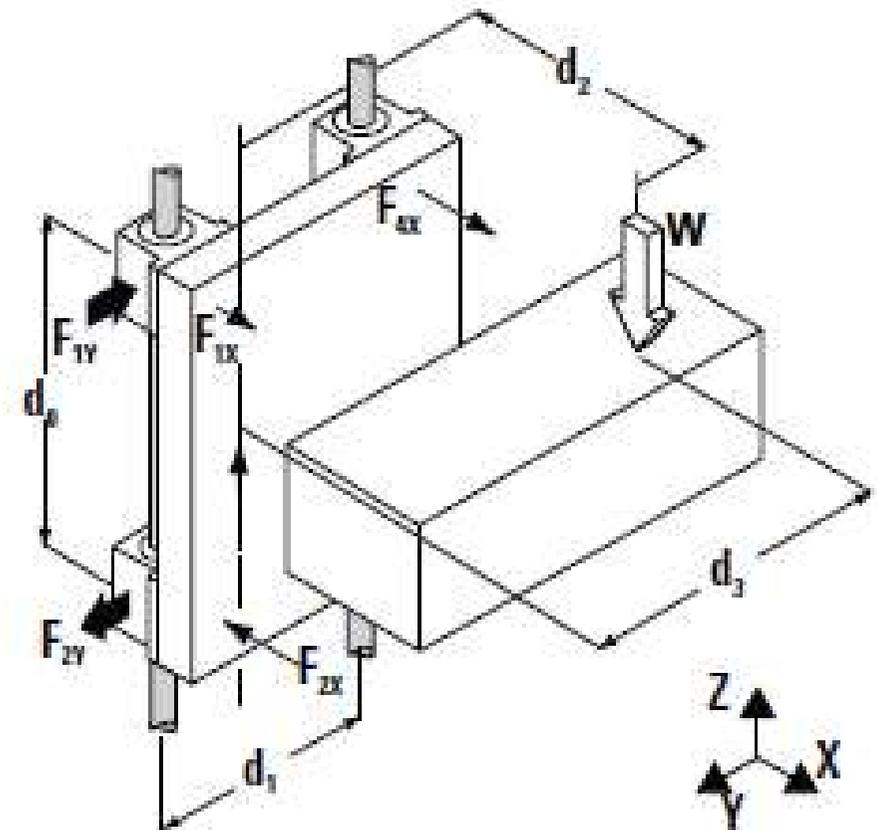
Deflexões: lineares, angulares

Rigidez:

- As guias são os elementos críticos
- Os rolamentos lineares têm rigidez muito alta

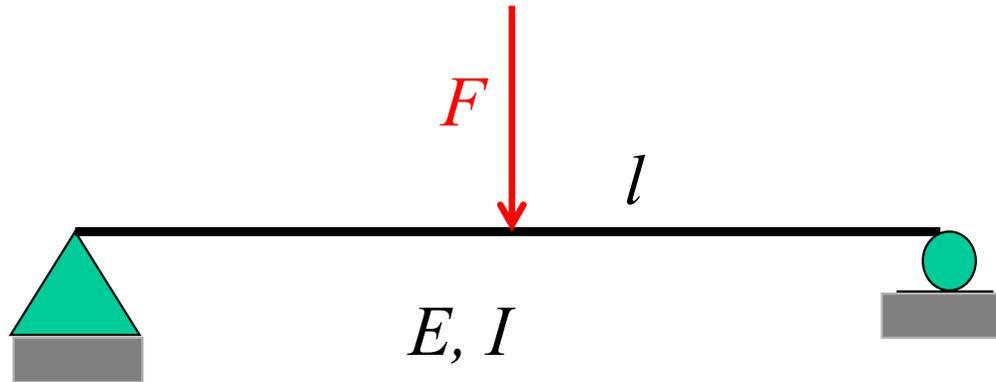
Modelos:

vigas engastadas, biapoias, etc



# Modelo

## Viga bi-apoiada



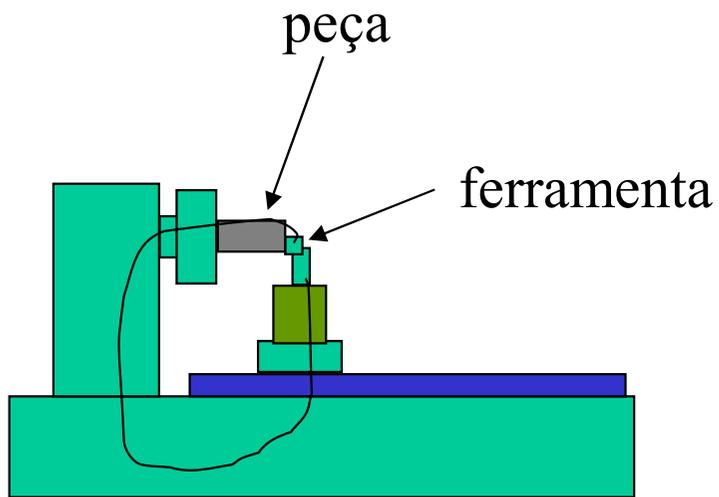
Deflexão no centro da viga bi-apoiada:

$$\delta = Fl^3/48EI$$

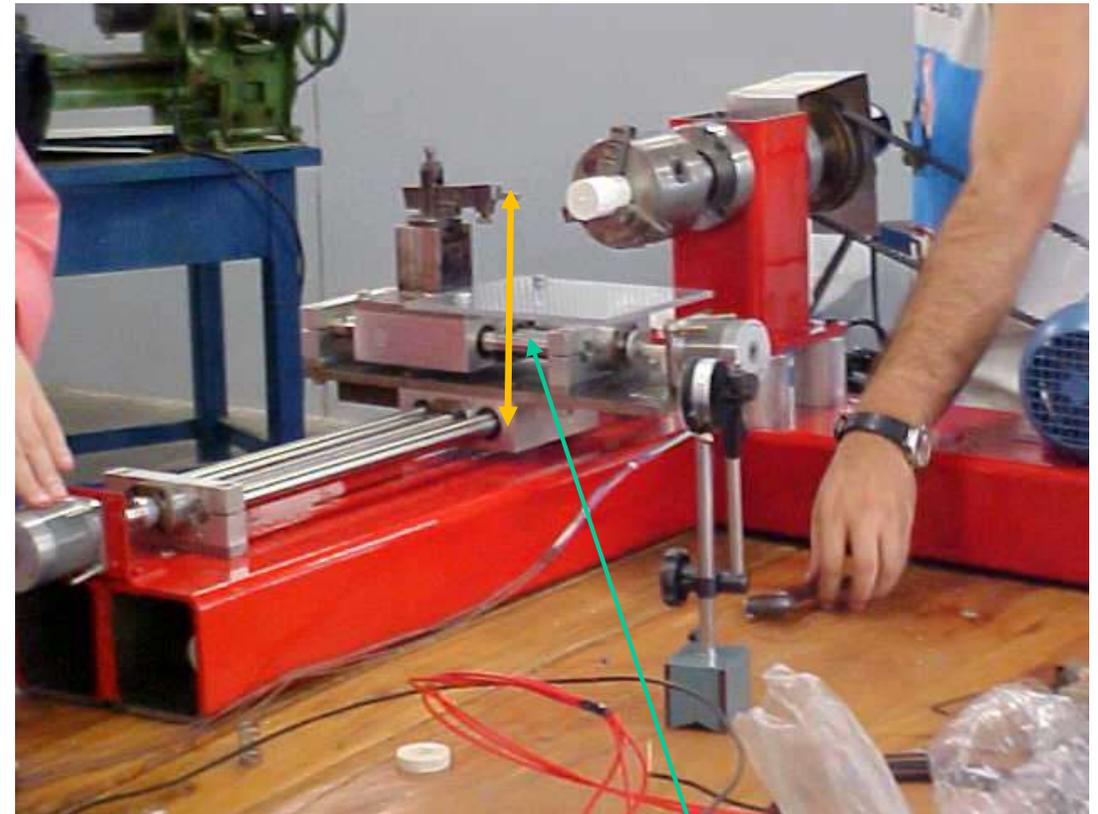
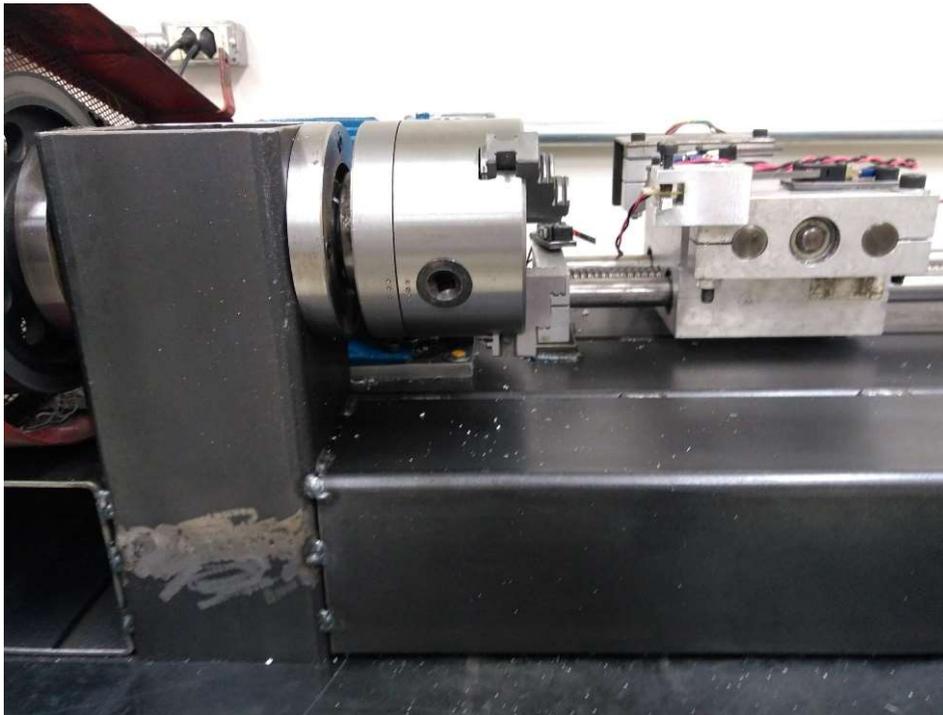
rigidez  $k$  da viga bi-apoiada  $\rightarrow k = F/\delta = 48EI/l^3$

# Aplicação dos princípios

## Loop estrutural

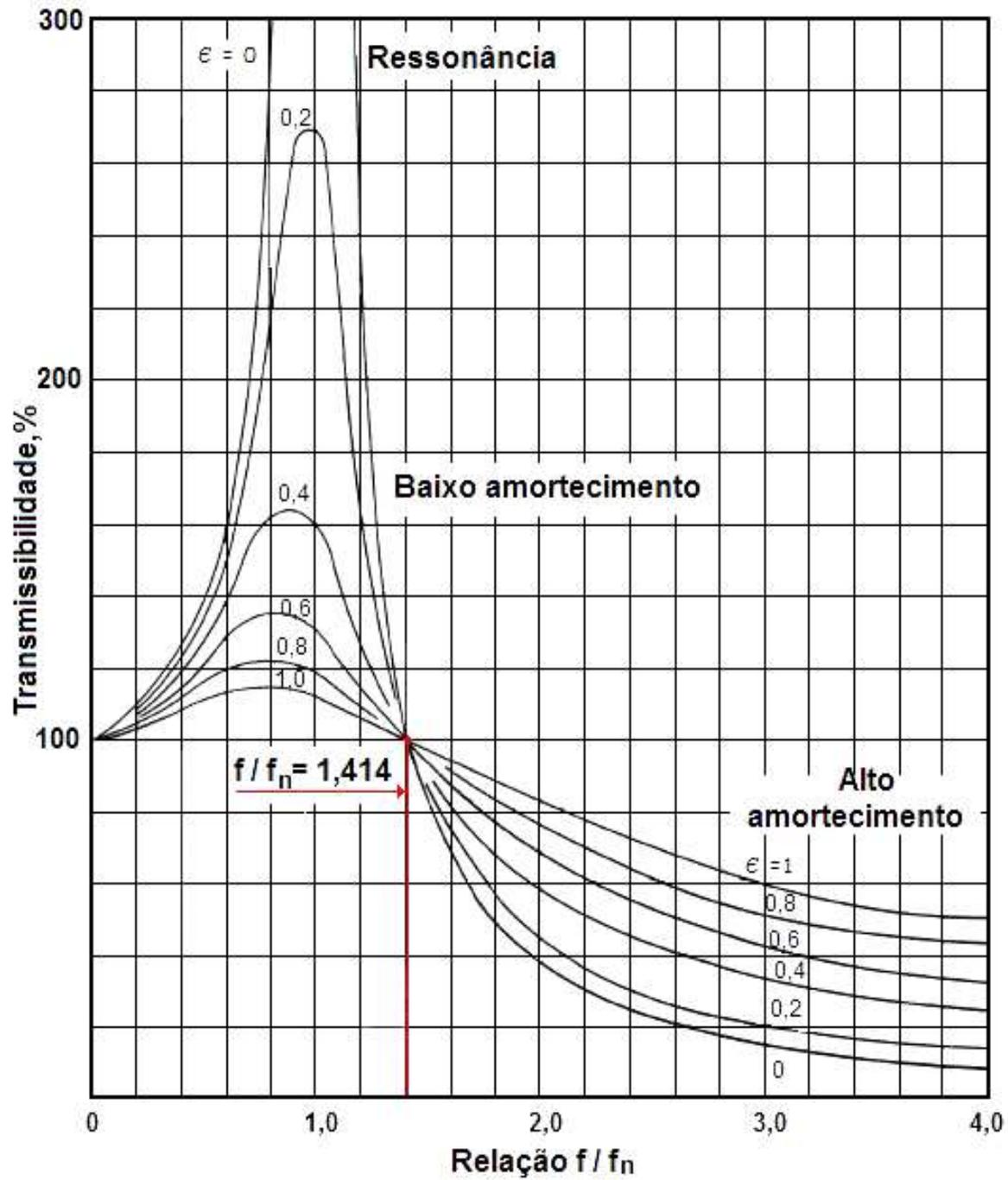


Aplicação correta dos princípios



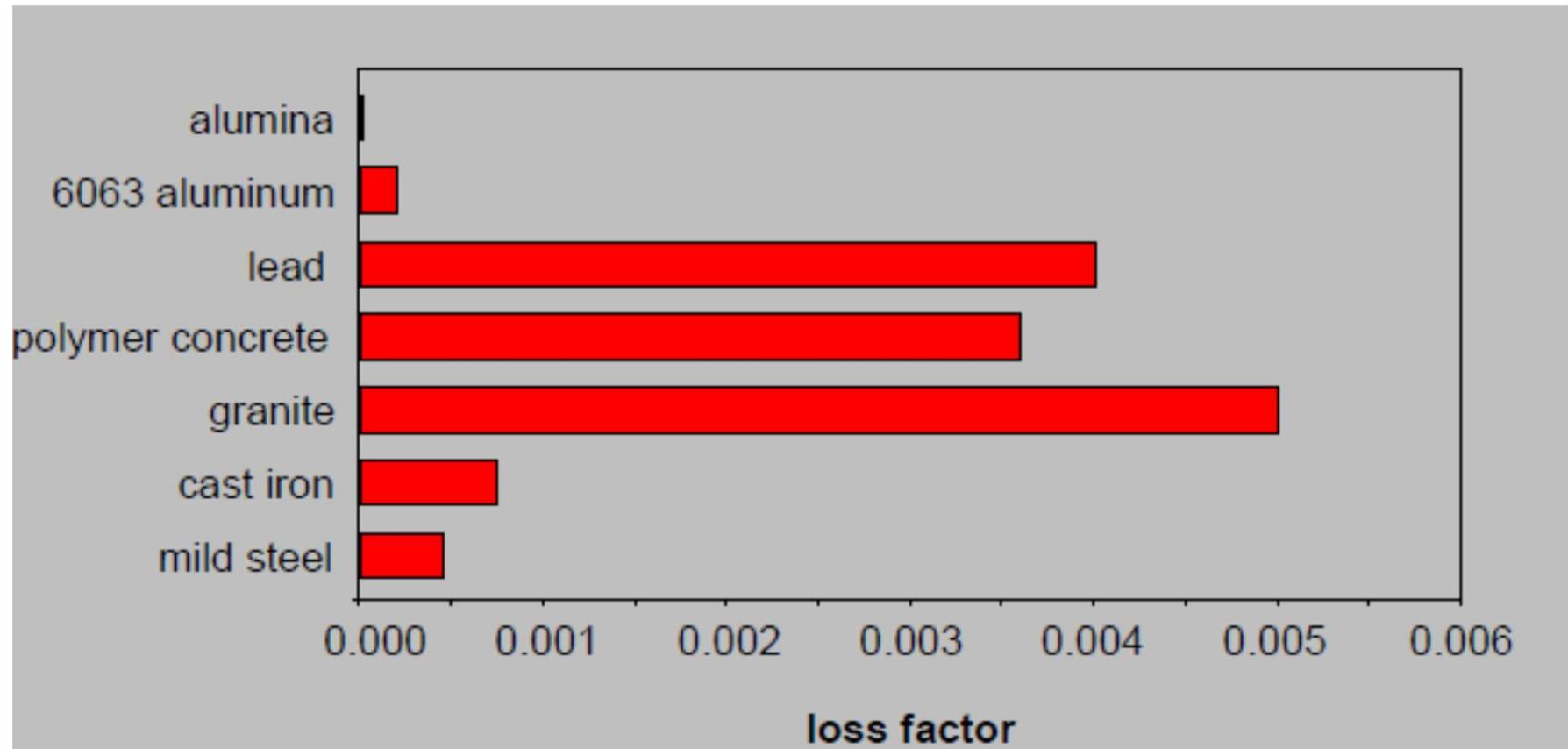
erro de Abbe

Uso desnecessário de materiais !!!

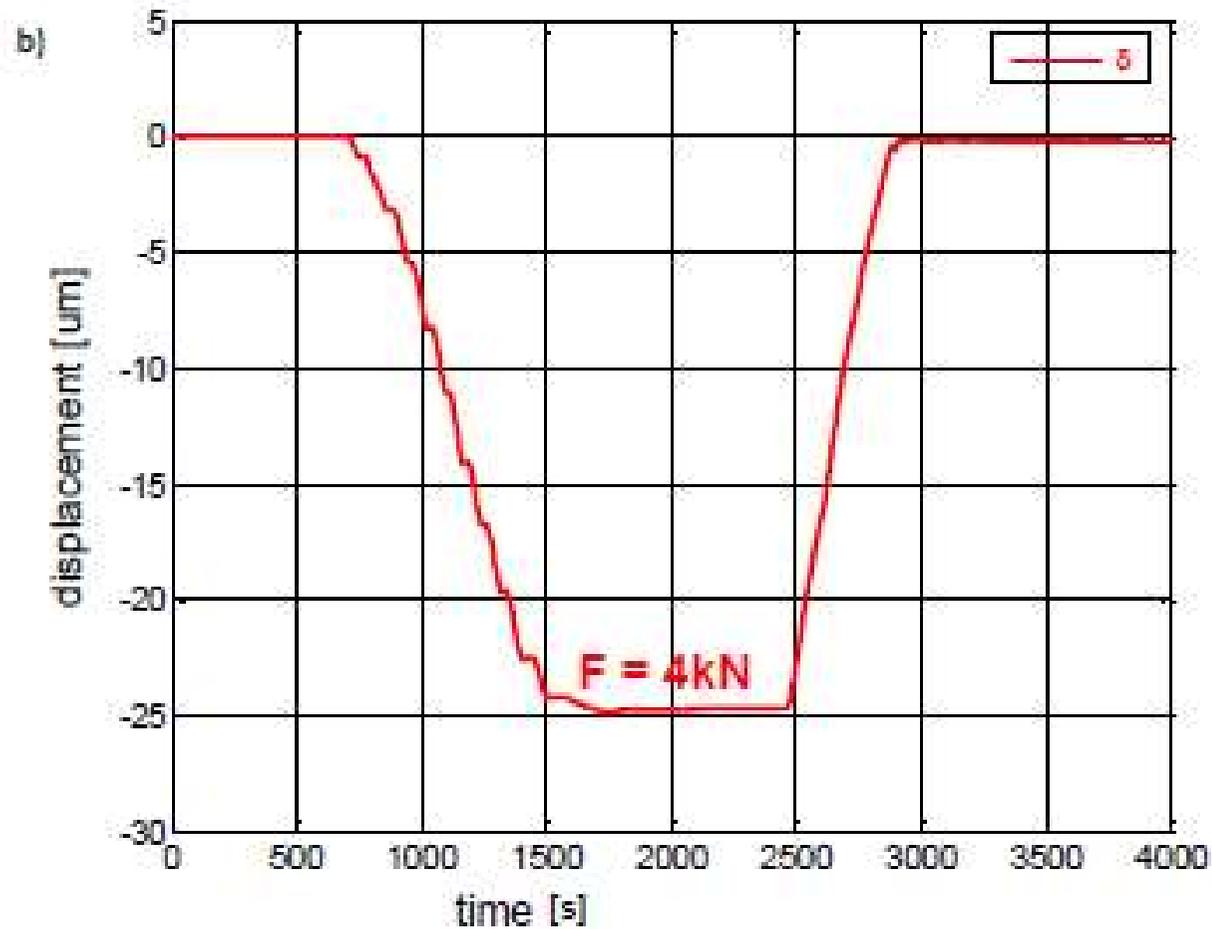
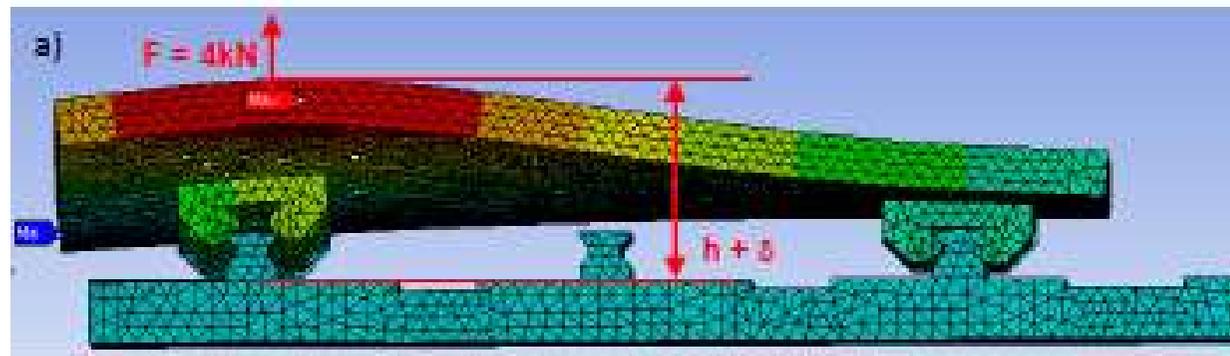


Vibrações  
amortecidas

# Amortecimento dos materiais



# Rigidez local



a) Simulação b) verificação experimental

# Rigidez local

