Medição e erros na medição

UC Medição em ciências e representação gráfica

Prof. Simões

Objetivos dessa aula

- Ao final dessa aula, você será capaz de:
  - Diferenciar os métodos de medição e suas vantagens e desvantagens
  - Identificar as características dos sistemas de medição
  - Definir e diferenciar erro e incerteza
  - Explicar os principais termos na teoria de erros
  - Caracterizar as fontes de erros na medição
  - Quantificar o erro em uma média de medições
  - Indicar a média e o erro corretamente

Problema típico

- Em um estudo sobre o efeito de um aditivo sobre a resistência à tração de um polímero, foram feitos ensaios em 50 amostras, obtendo-se os valores abaixo. Indique a média e o respectivo erro.

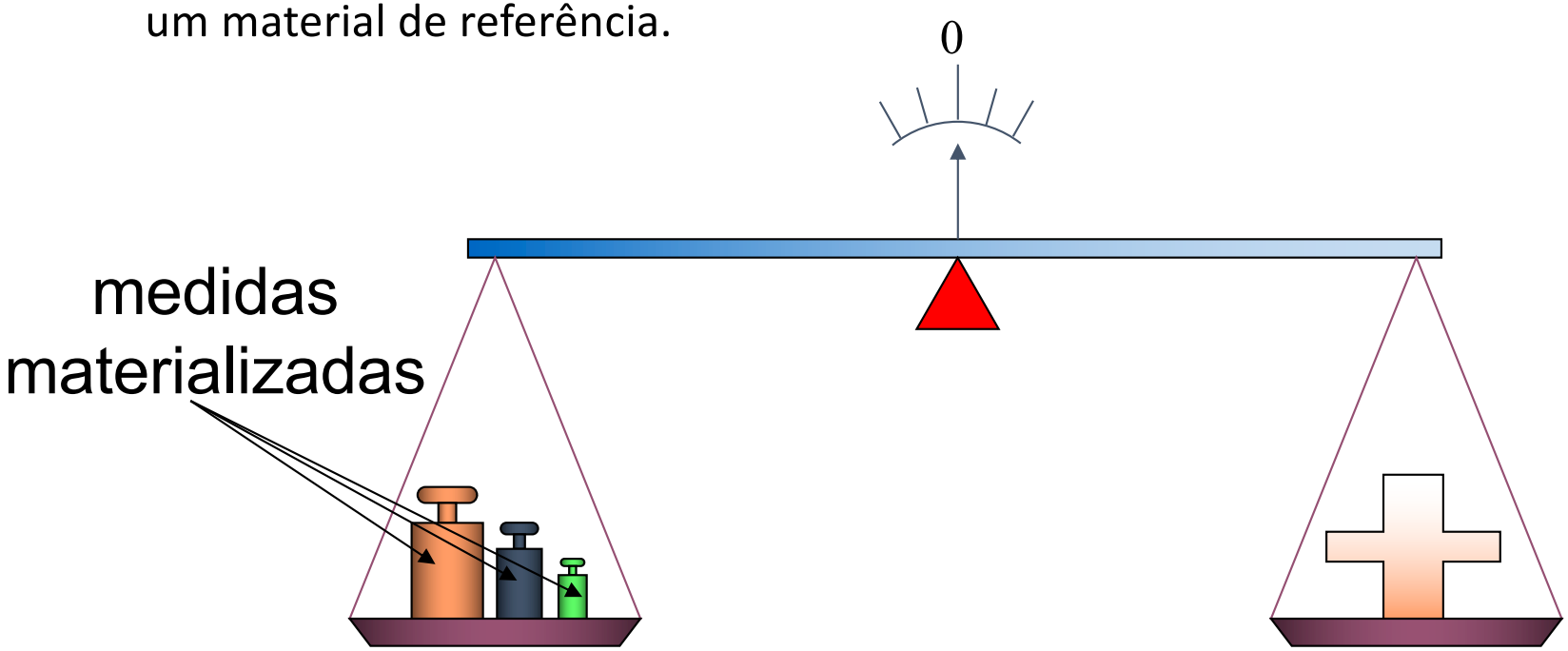
Carga suportada (kg)	Frequência
1,7	4
1,8	6
1,9	13
2,0	12
2,1	8
2,2	7

Conceitos iniciais

- O objetivo de uma medição é determinar o valor de uma grandeza específica (**mensurando**) a ser medida.
- Uma medição começa, portanto, com uma especificação apropriada do **mensurando**, do **método de medição** e do **procedimento de medição**.
- Em geral, o **resultado de uma medição** é somente uma aproximação ou **estimativa** do valor do mensurando, do **método de medição** e do **procedimento de medição.**
- Este resultado só é completo quando acompanhado pela declaração de **incerteza** dessa estimativa.

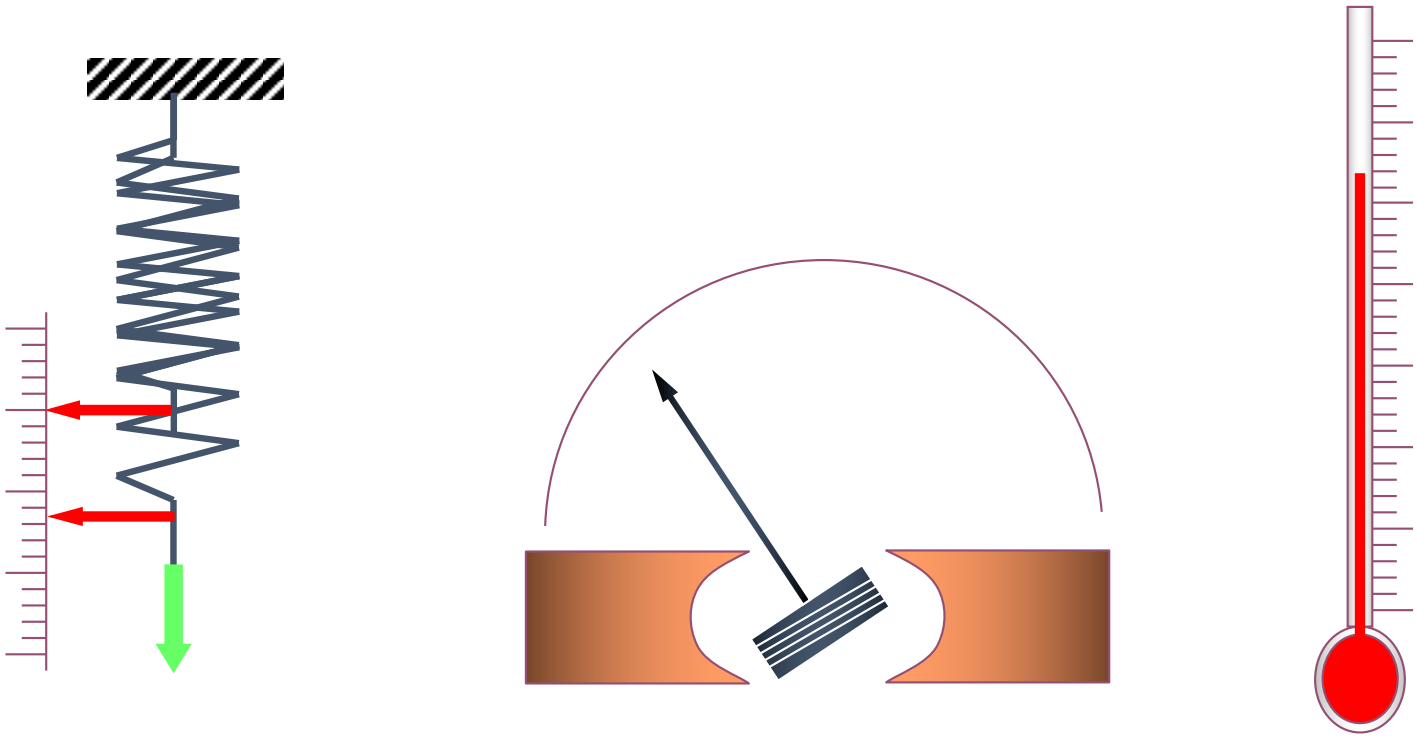
Método da comparação

- O valor do mensurando é determinado comparando-o com um artefato cujo valor de referência é muito bem conhecido.
- Medida materializada:
  - Dispositivo destinado a reproduzir ou fornecer, de maneira permanente durante seu uso, um ou mais valores conhecidos de uma dada grandeza.
  - São exemplos: massas-padrão; resistor elétrico padrão; um bloco-padrão; um material de referência.



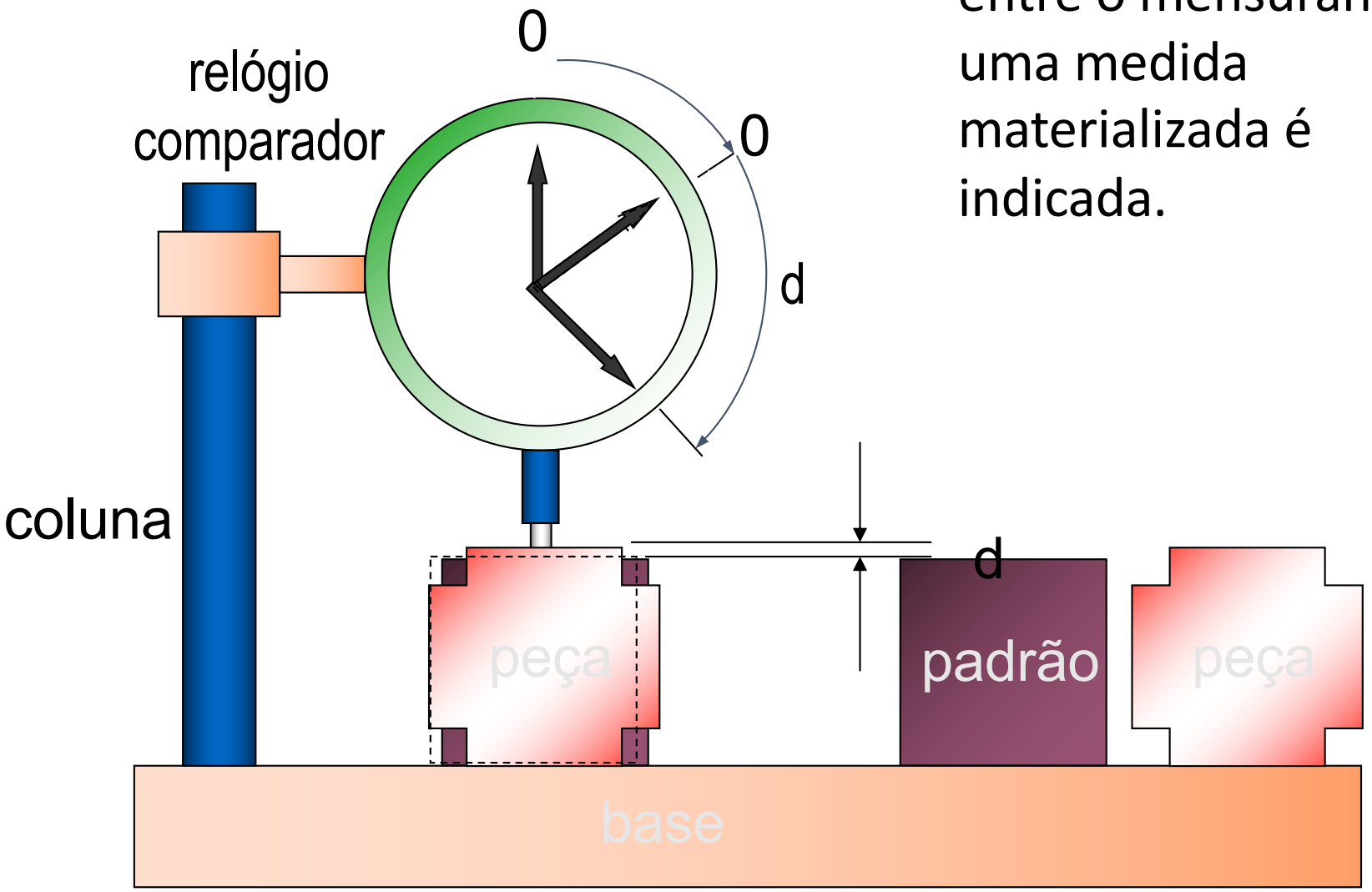
Método da indicação

- Uma grandeza de um elemento varia proporcionalmente à variação de outra (ou da mesma) grandeza de outro elemento.
- Mostram um número proporcional ao valor do mensurando.



Medição diferencial

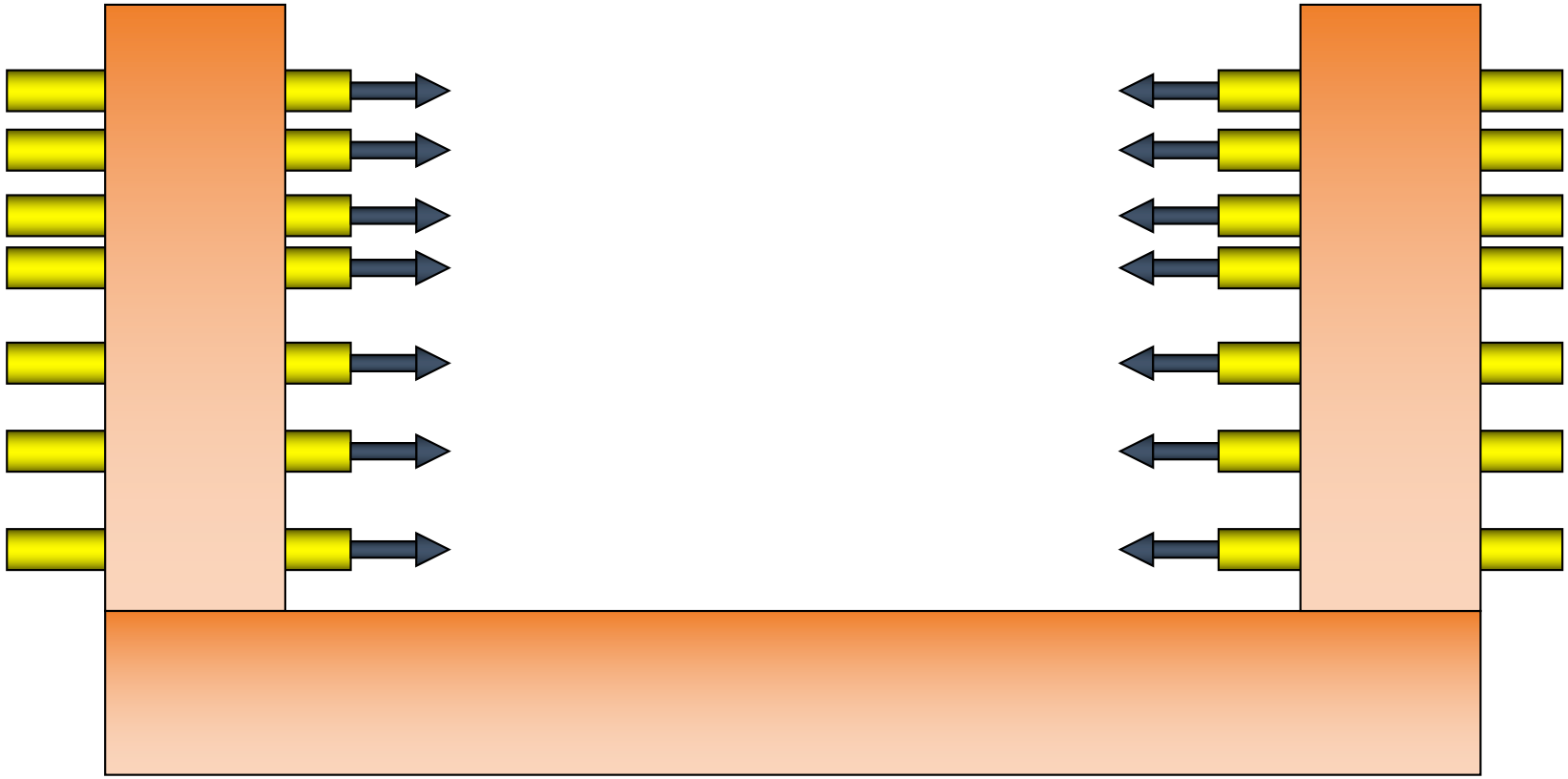
A pequena diferença entre o mensurando e uma medida materializada é indicada.



Medição diferencial

medição

zeragem



Análise comparativa

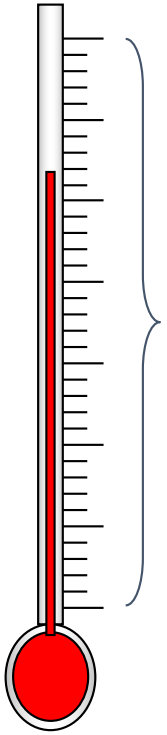
característica	indicação	comparação
velocidade de medição	muito rápido	muito lento
facilidade de automação	muito fácil	muito difícil
estabilidade com tempo	instável	muito estável
custo	moderado a elevado	elevado

Características dos sistemas de medição

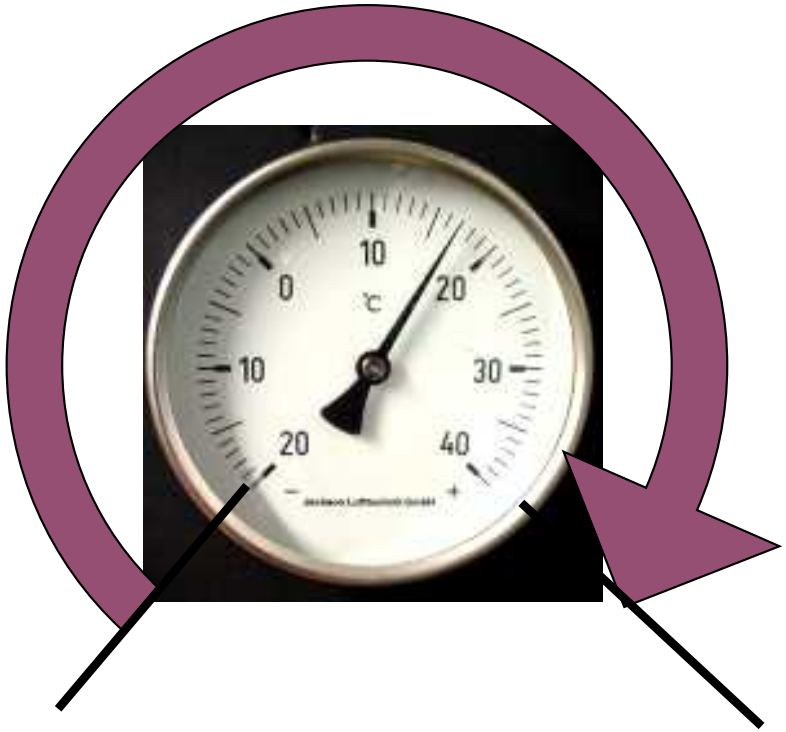
- Os sistemas de medição podem ser classificados quanto:
  - À faixa de utilização
  - À indicação da escala
  - Resolução
  - Tempo de estímulo resposta
  - Sensibilidade linear ou variável

Quanto à faixa de utilização...

- Faixa de indicação
  - intervalo compreendido entre o menor e o maior valor que pode ser indicado.



faixa de indicação



4 dígitos

Exemplo

Faixas nominais

0 a 1000 V

0 a 200 V

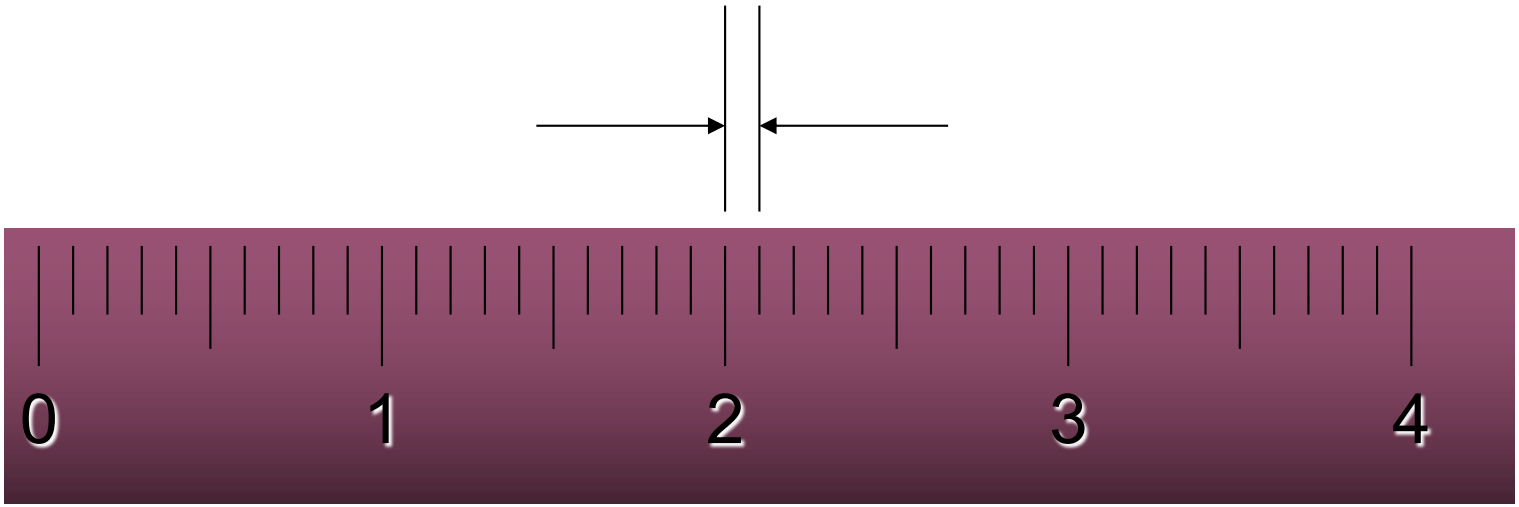
0 a 20 V

0 a 2 V

0 a 200 mV

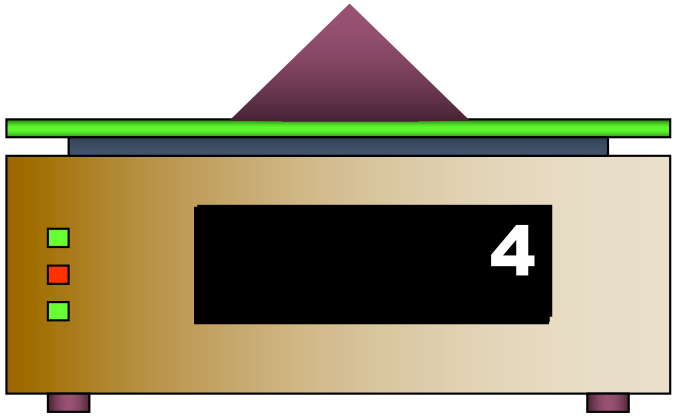
Quanto à indicação ...

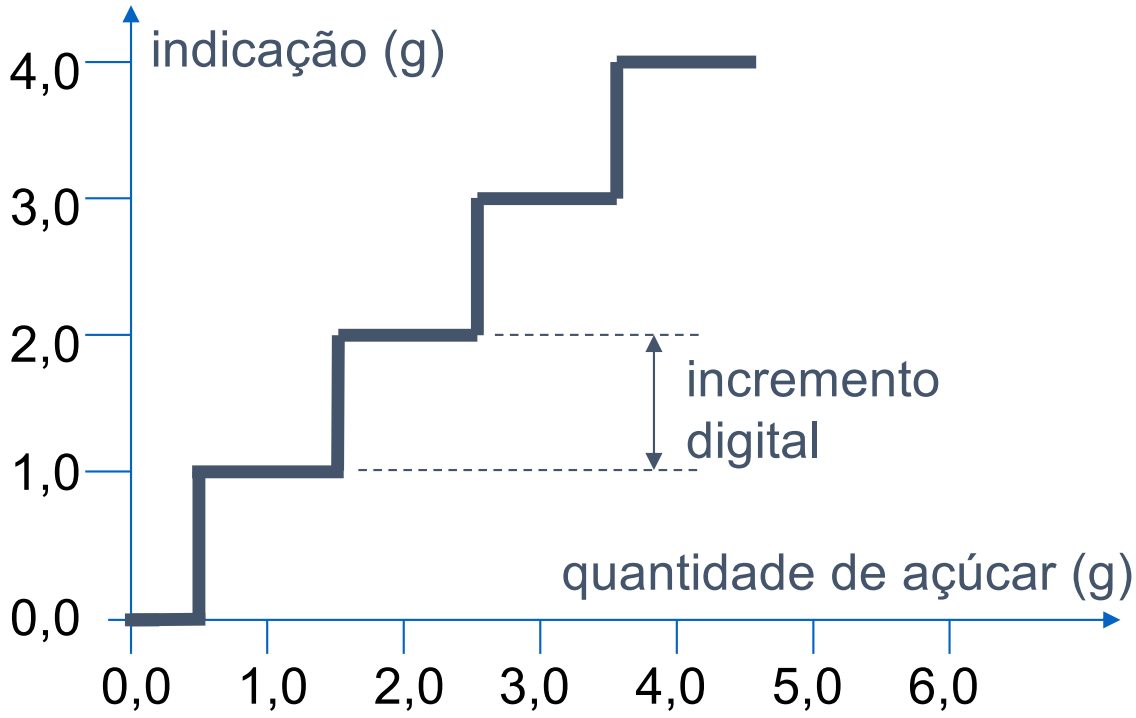
- Valor de uma divisão (da escala)
  - diferença entre os valores da escala correspondentes à duas marcas sucessivas.



Quanto à indicação ...

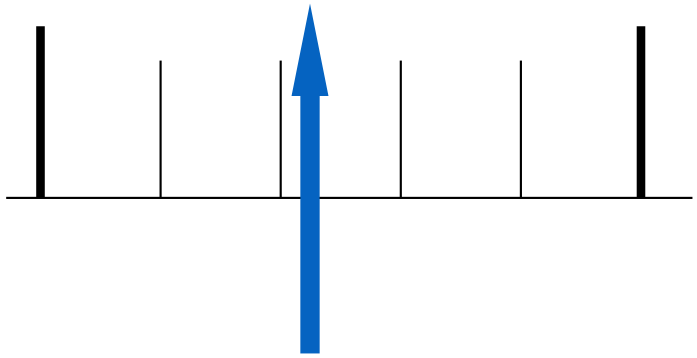
- Incremento digital





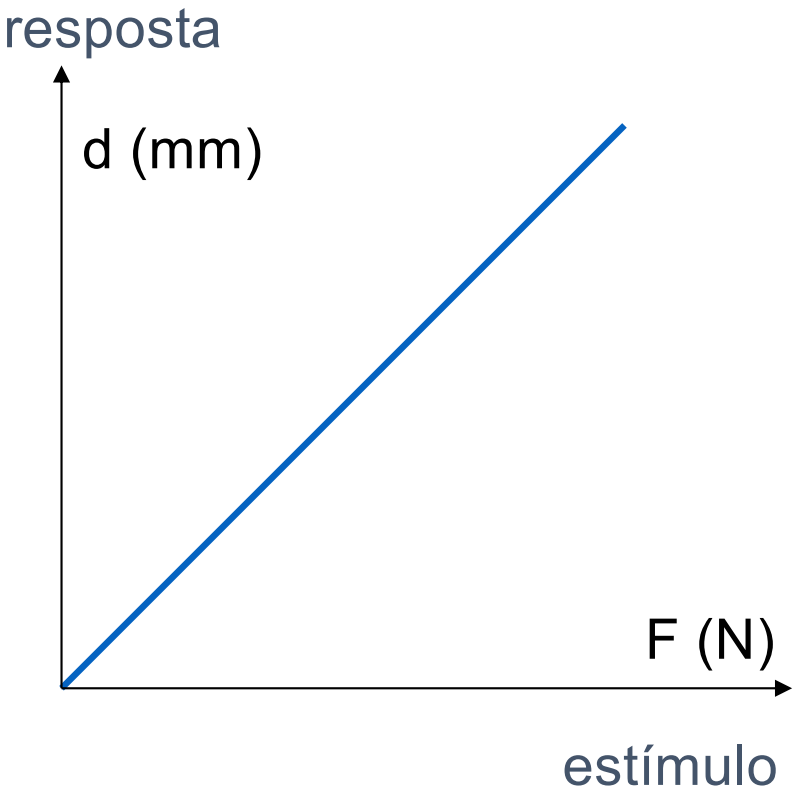
Quanto à indicação

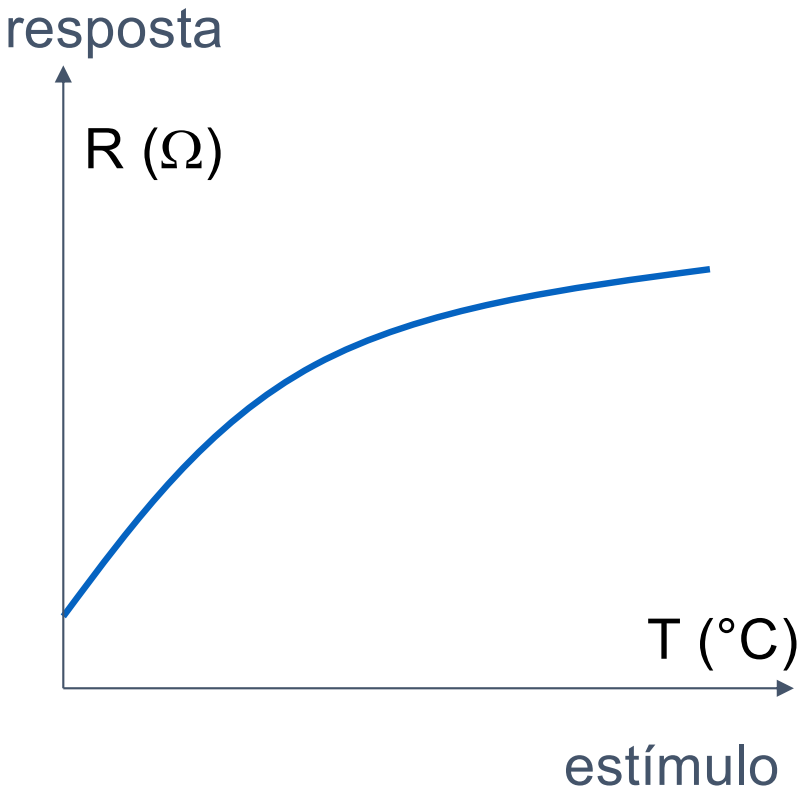
- Resolução
  - É a menor diferença entre indicações que pode ser significativamente percebida
  - Nos instrumentos digitais é igual ao incremento digital
  - Nos instrumentos analógicos pode ser:
    - VD
    - VD/2
    - VD/5
    - VD/10



Relação estímulo/resposta

- Curva característica de resposta

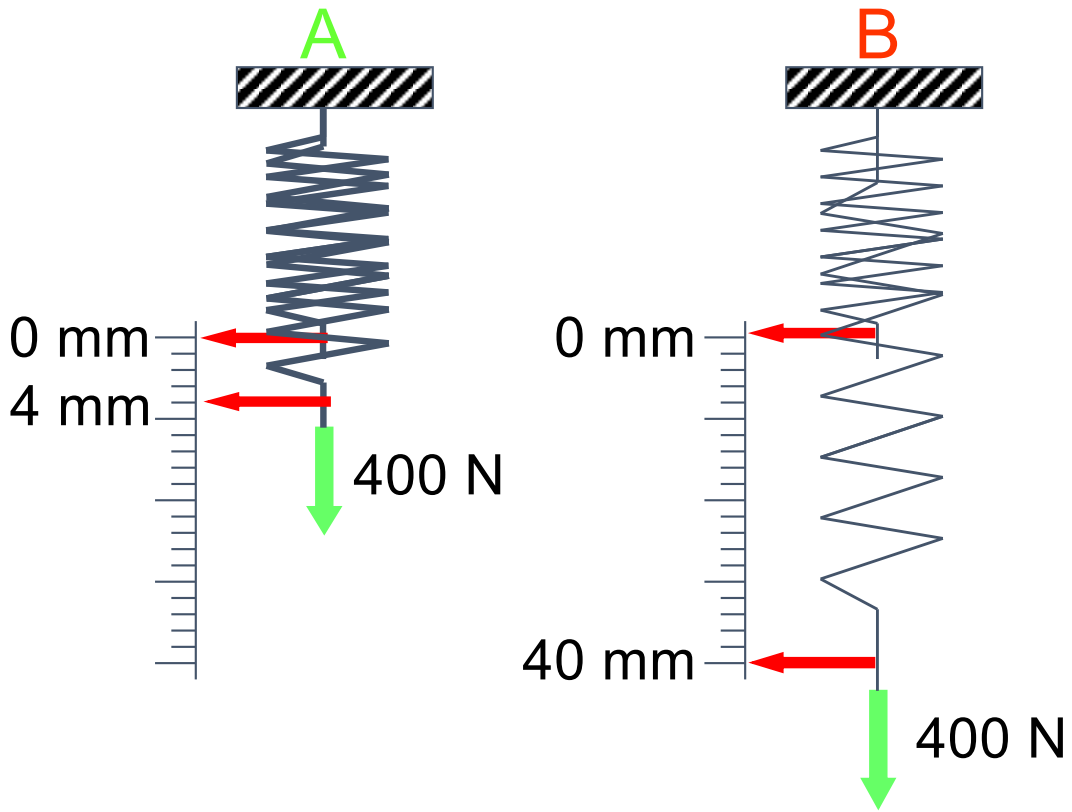


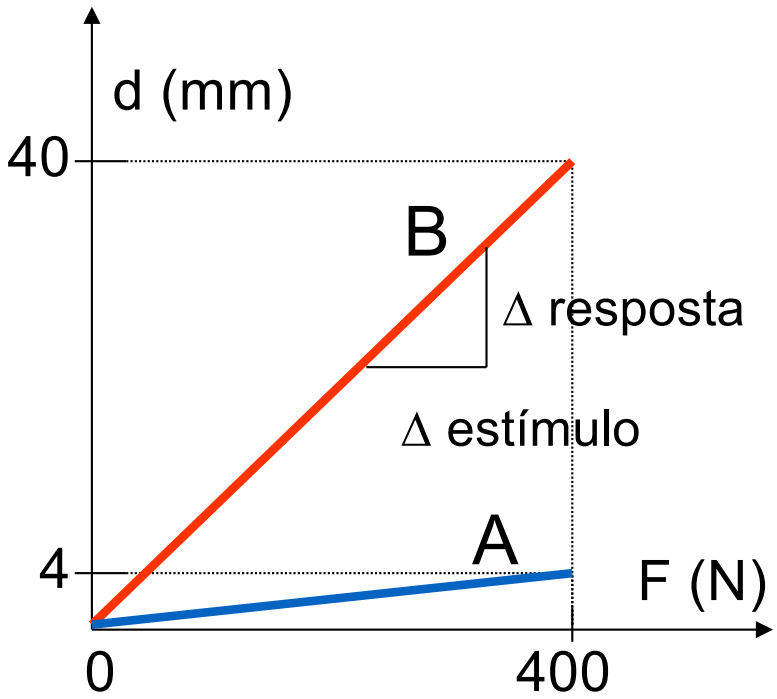


Relação estímulo/resposta

- Sensibilidade constante

$$Sb = \frac{\Delta resposta}{\Delta estimulo}$$



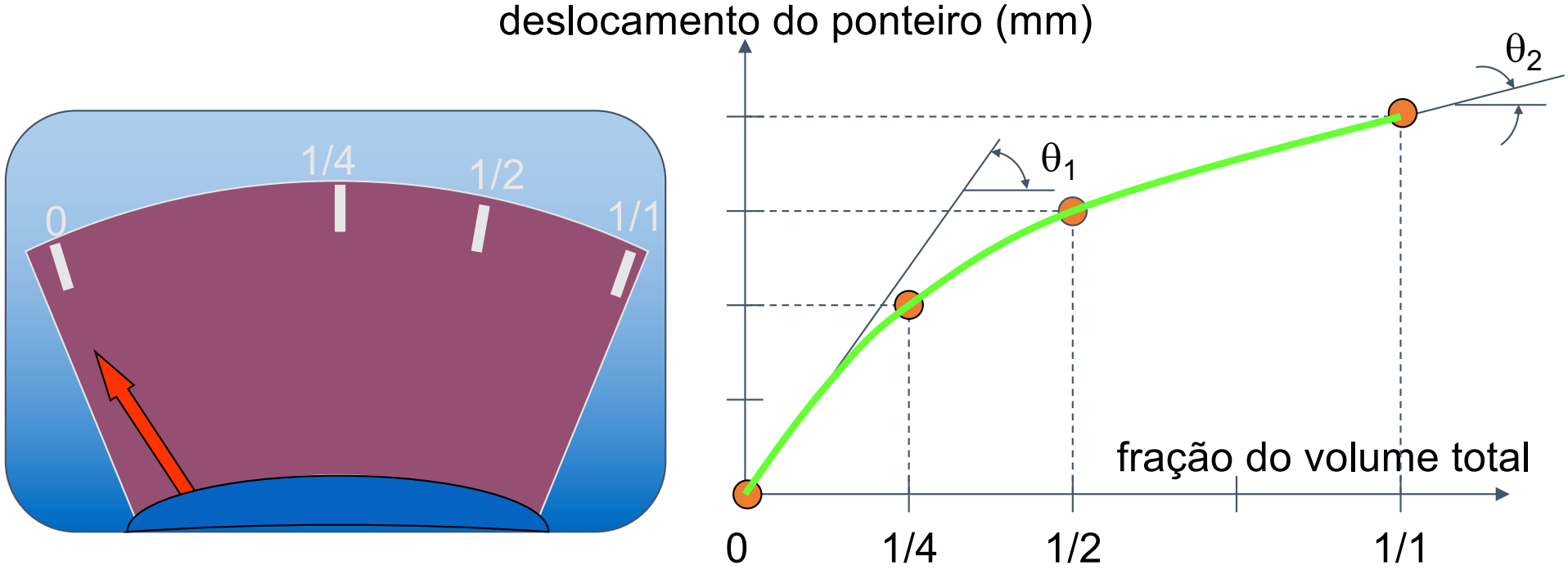


Sb_A = 0,01 mm/N

Sb_B = 0,10 mm/N

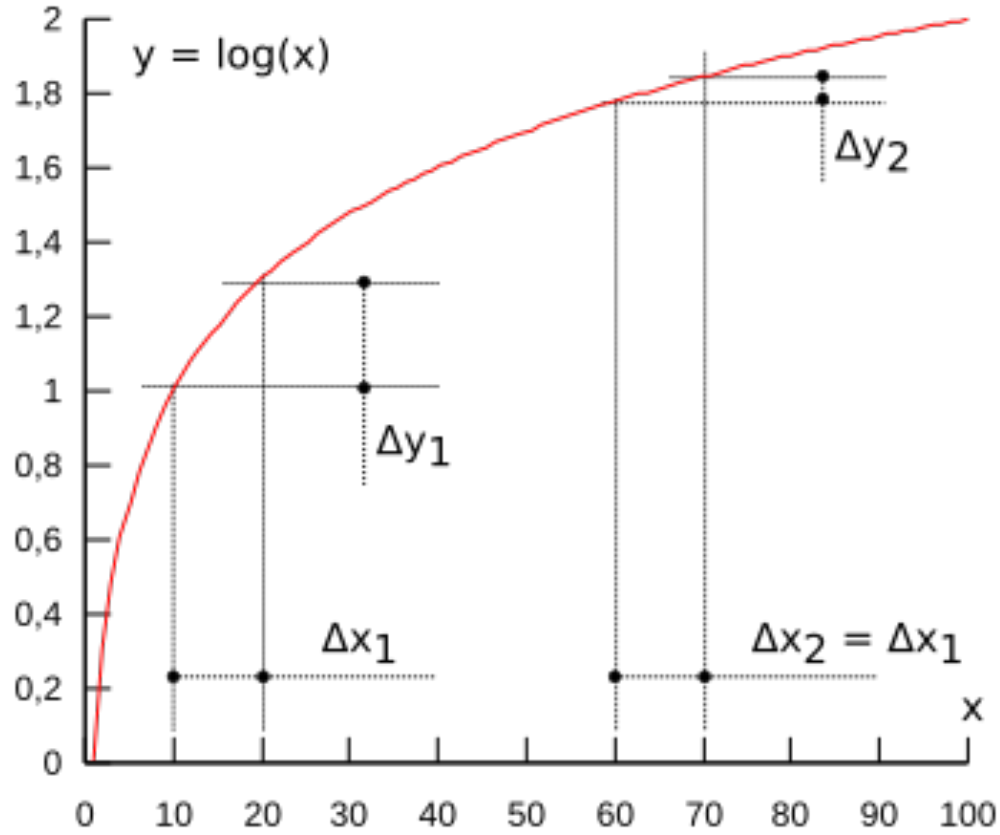
Relação estímulo/resposta

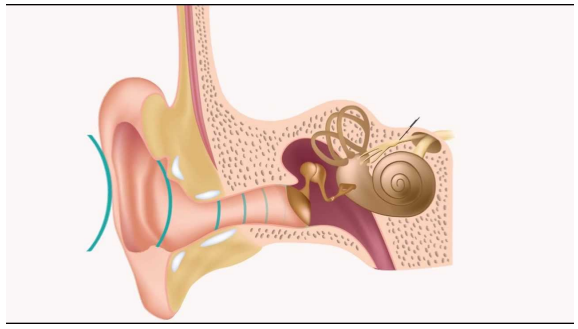
- Sensibilidade variável



Relação estímulo/resposta

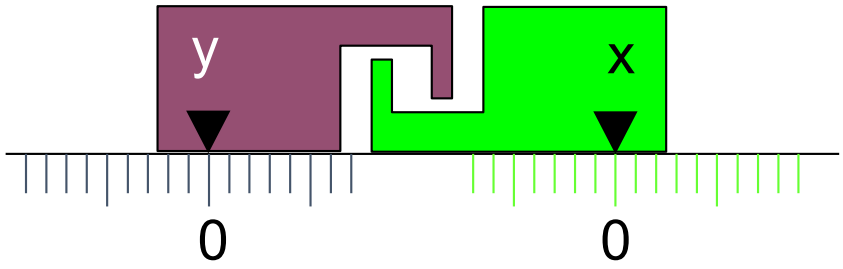
- Sensibilidade variável

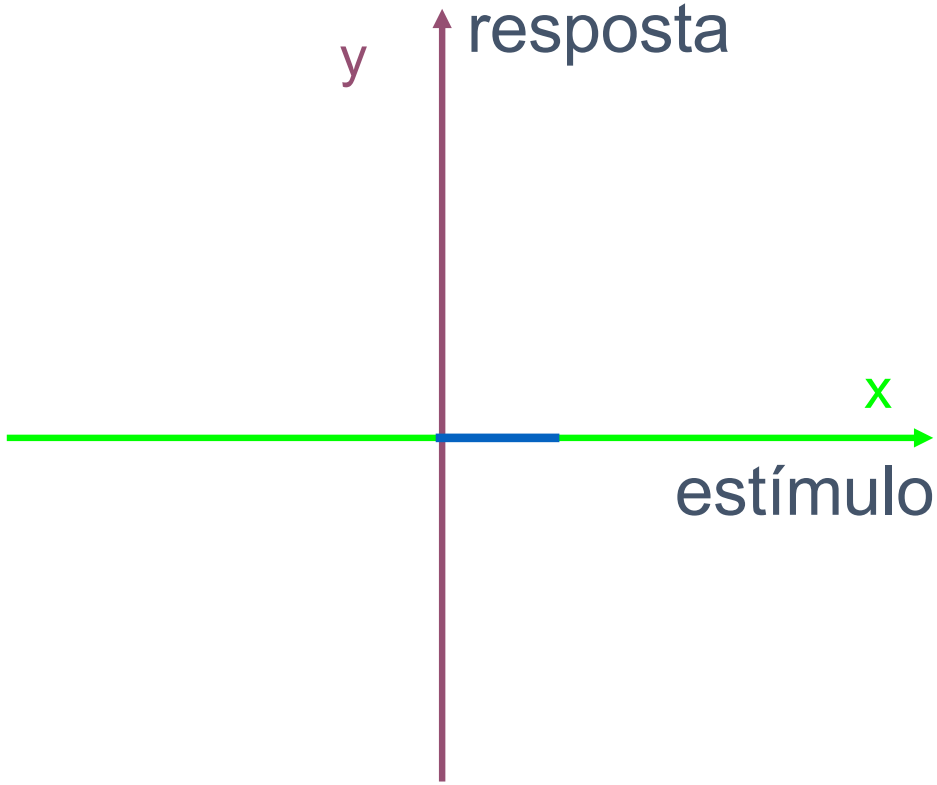




Relação estímulo/resposta

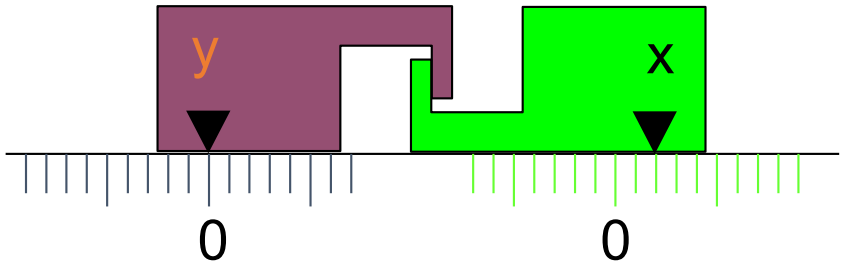
- Folgas mecânicas

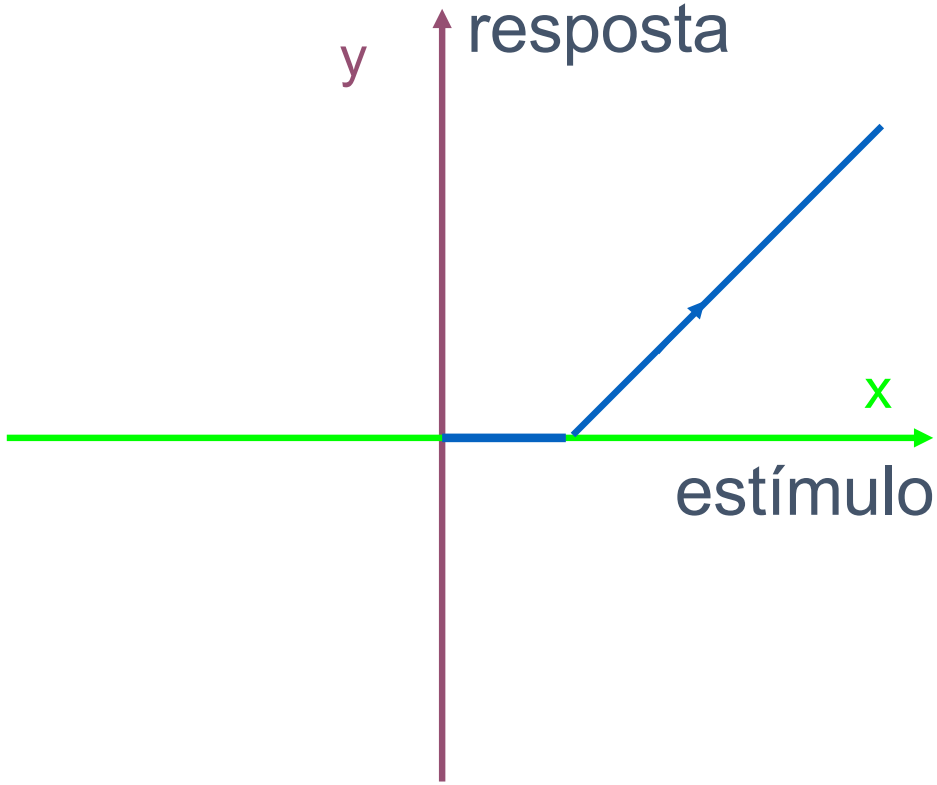




Relação estímulo/resposta

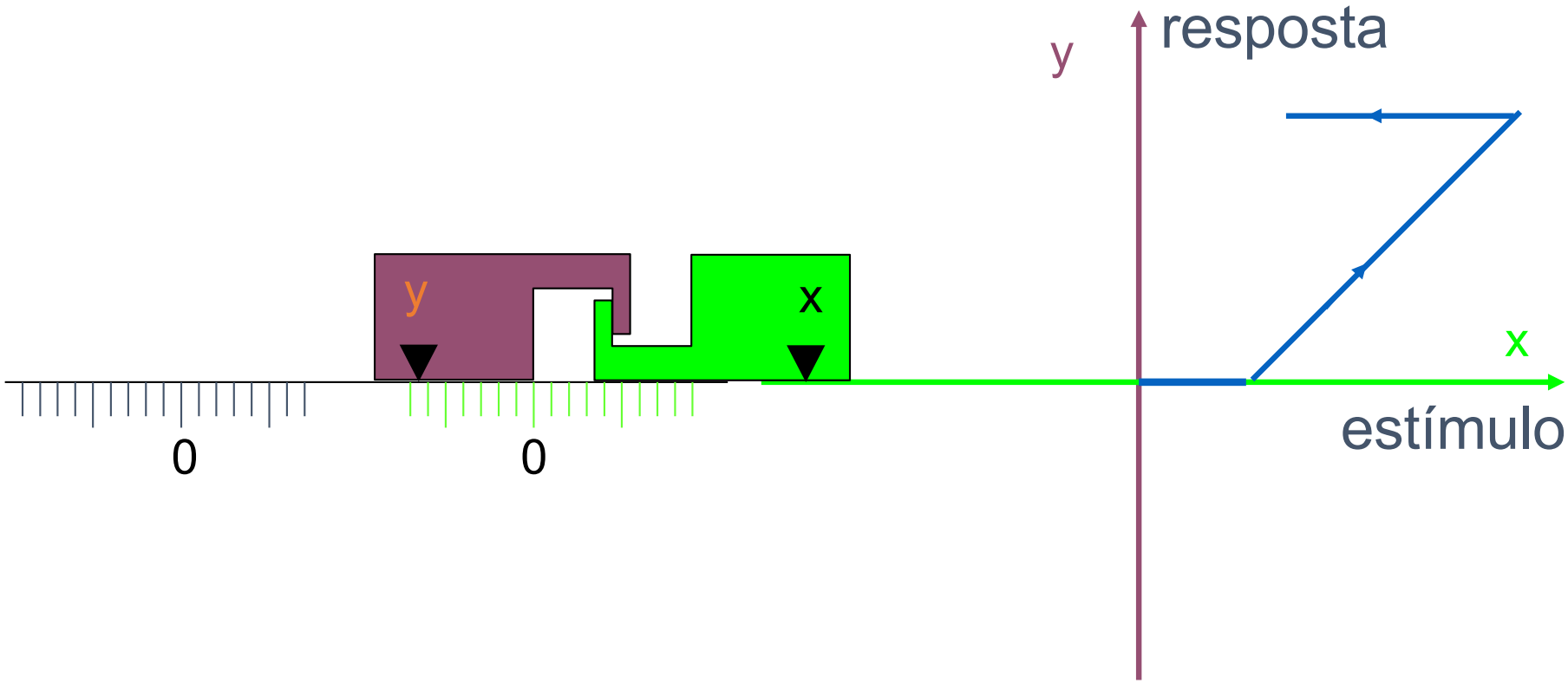
- Folgas mecânicas





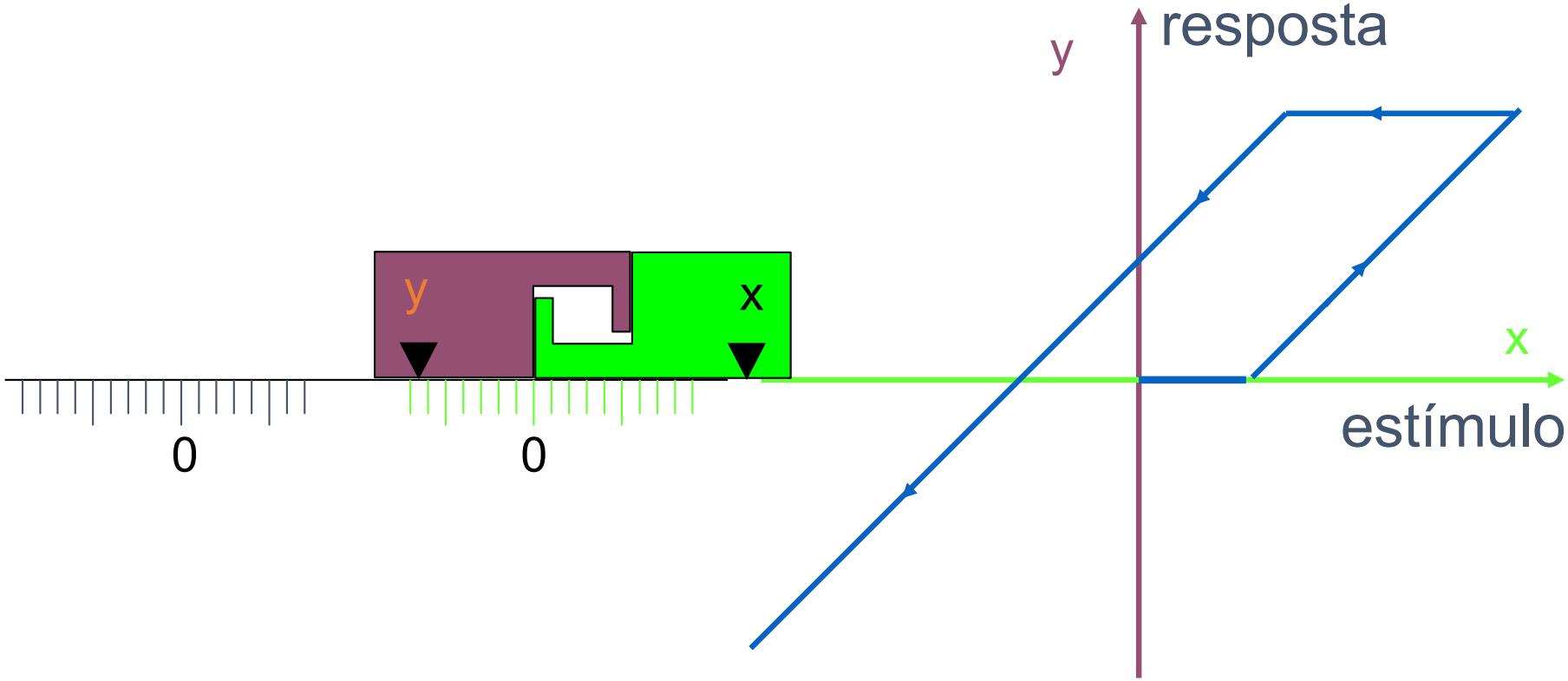
Relação estímulo/resposta

- Folgas mecânicas



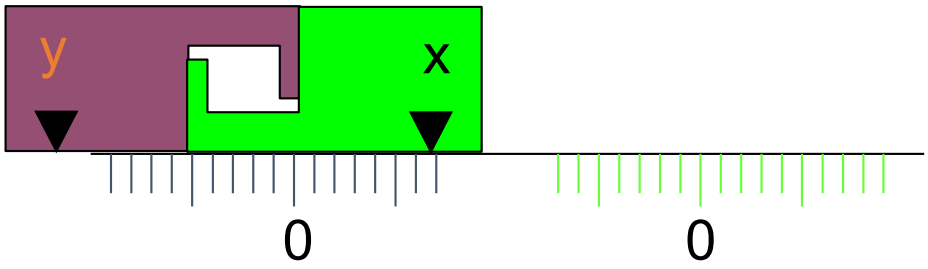
Relação estímulo/resposta

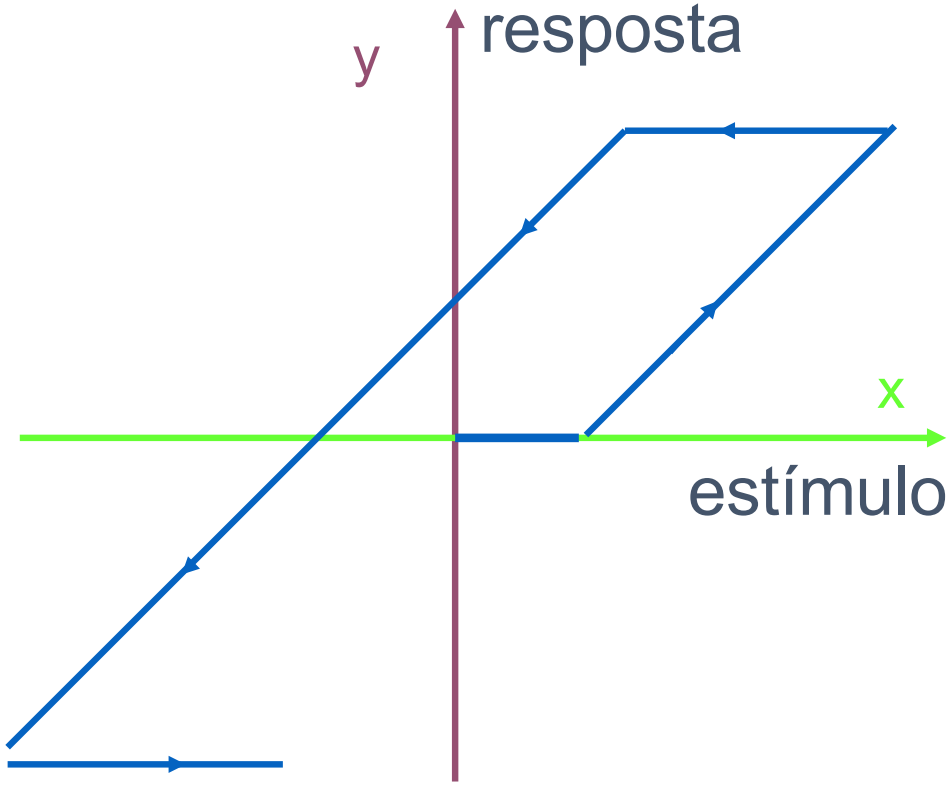
- Folgas mecânicas



Relação estímulo/resposta

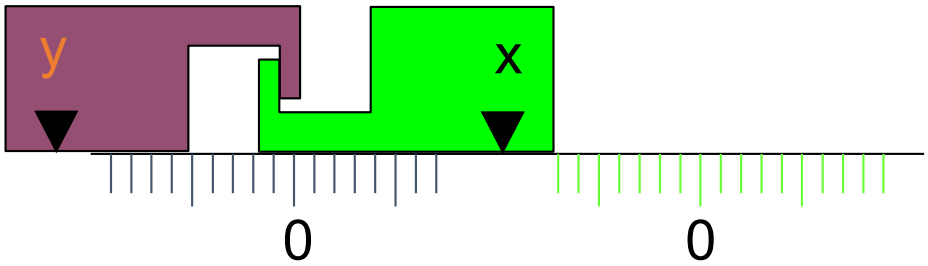
- Folgas mecânicas

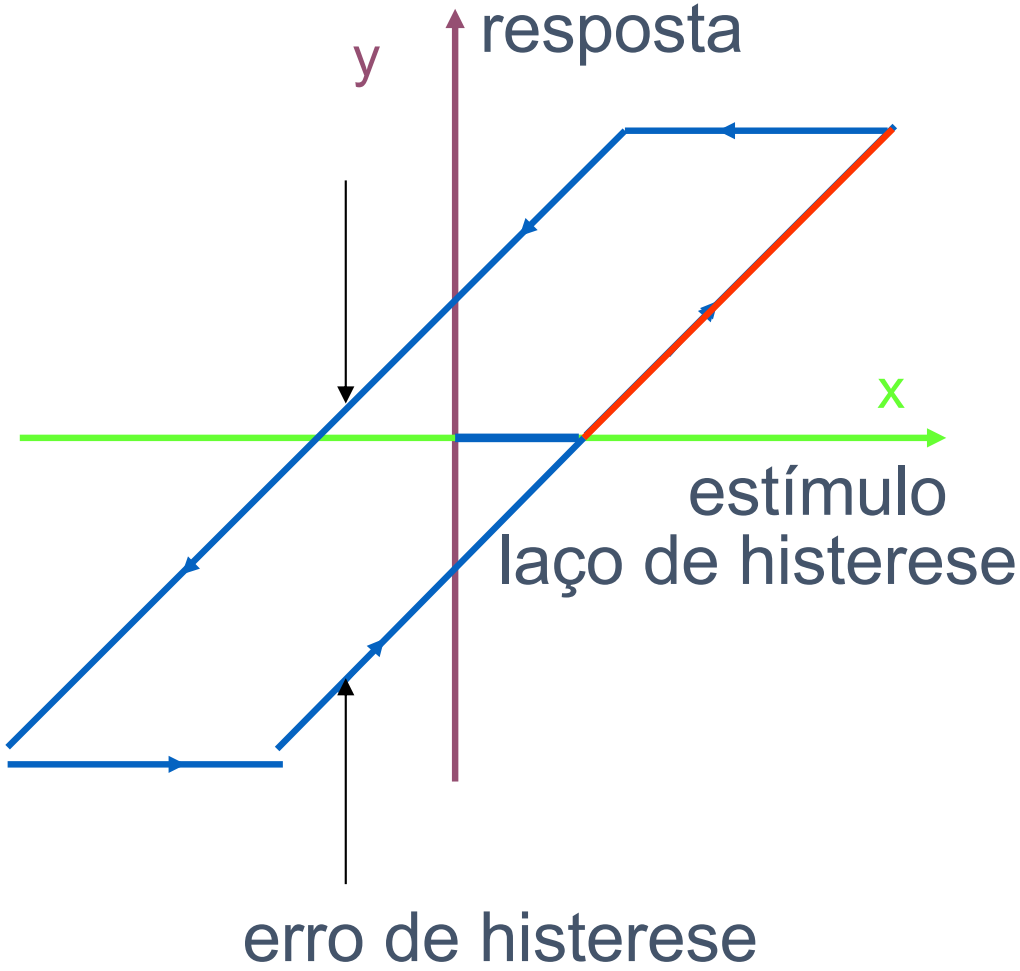




Relação estímulo/resposta

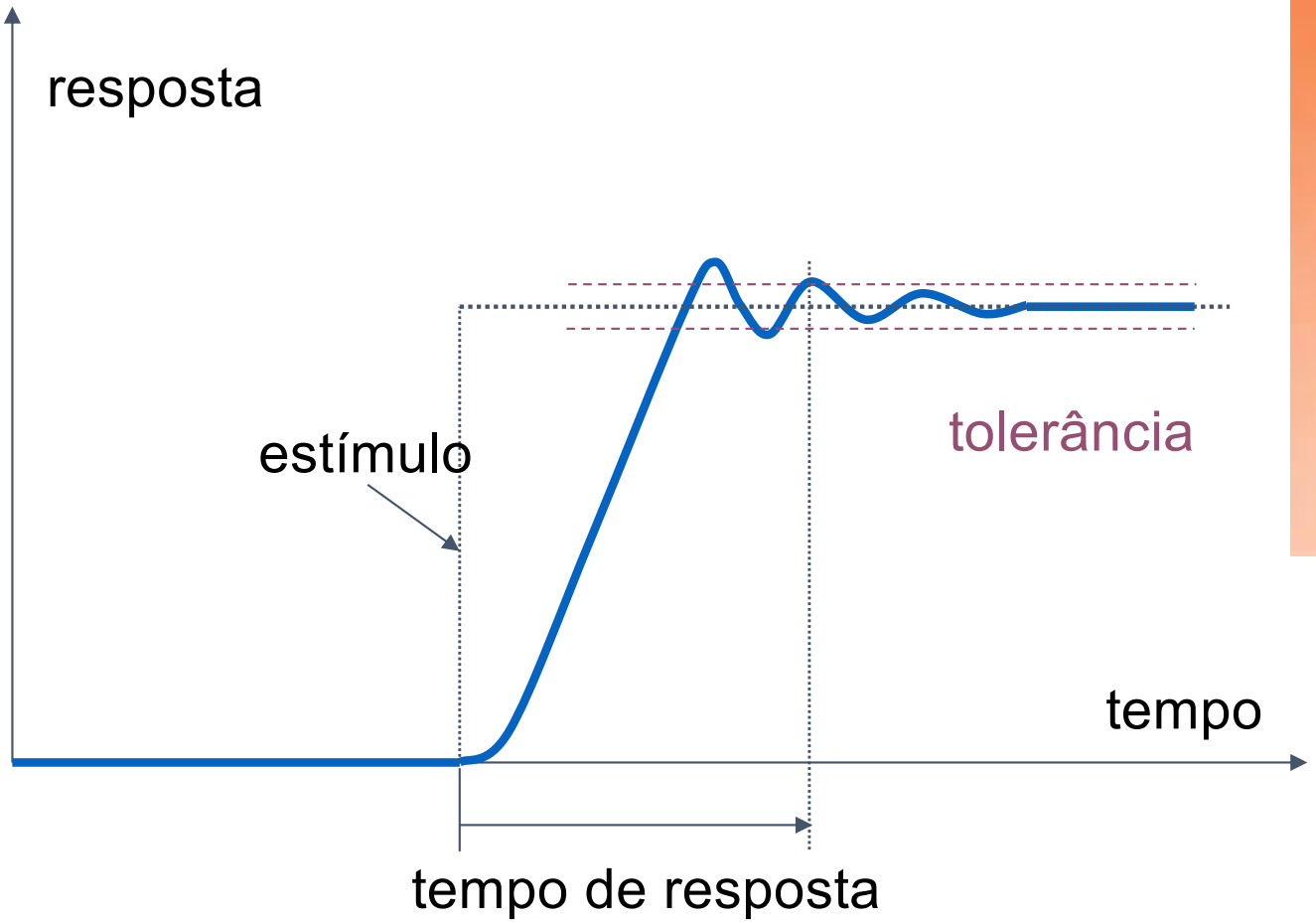
- Folgas mecânicas

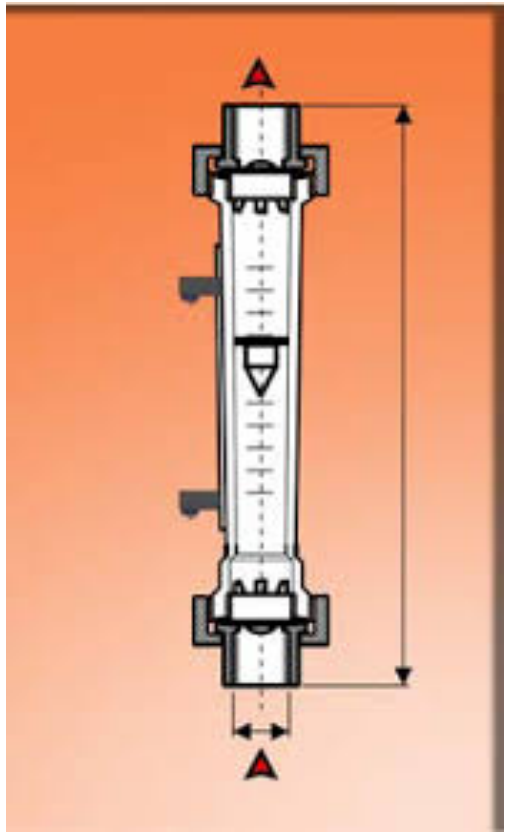




Relação estímulo/resposta

- Tempo de resposta:



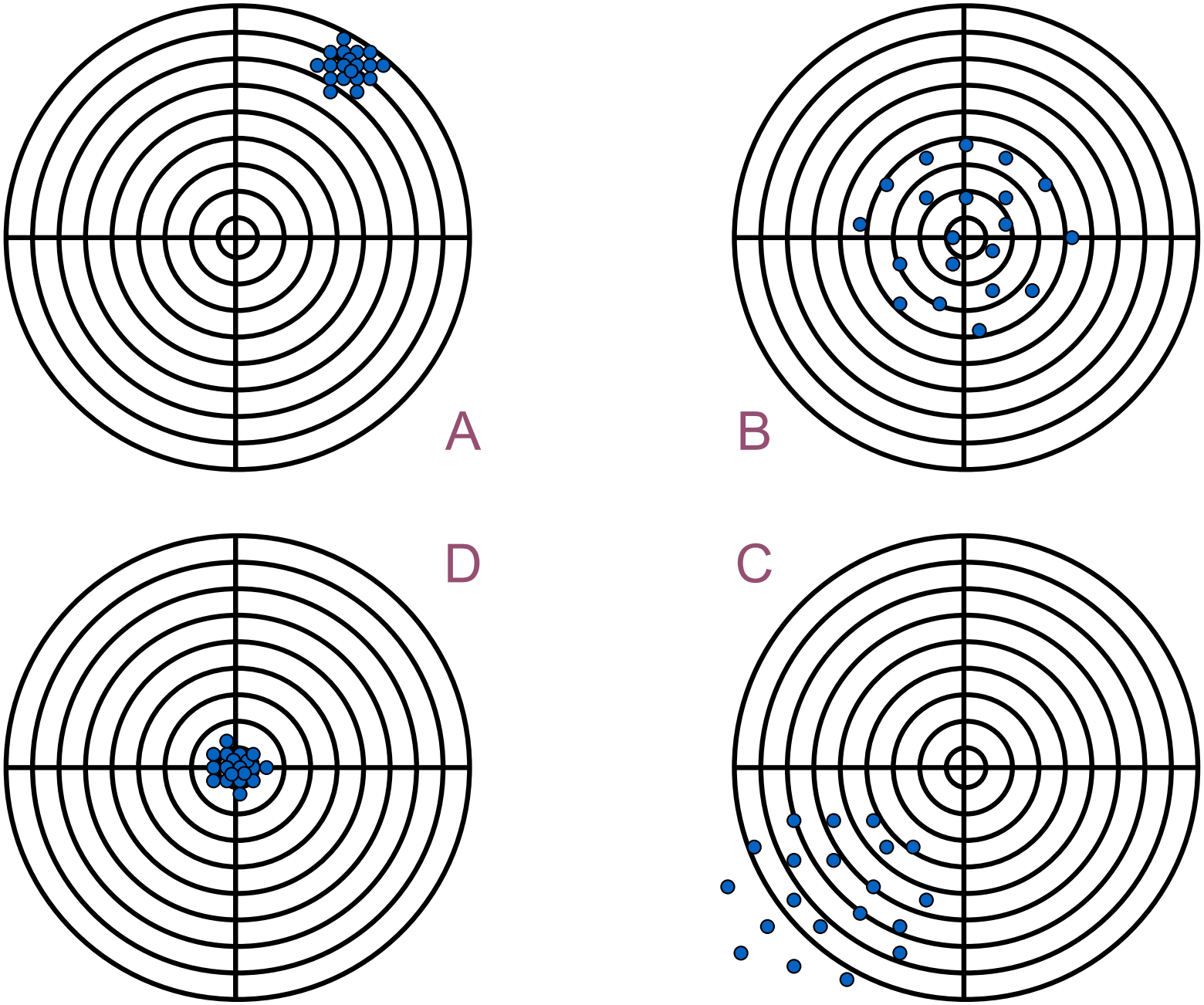


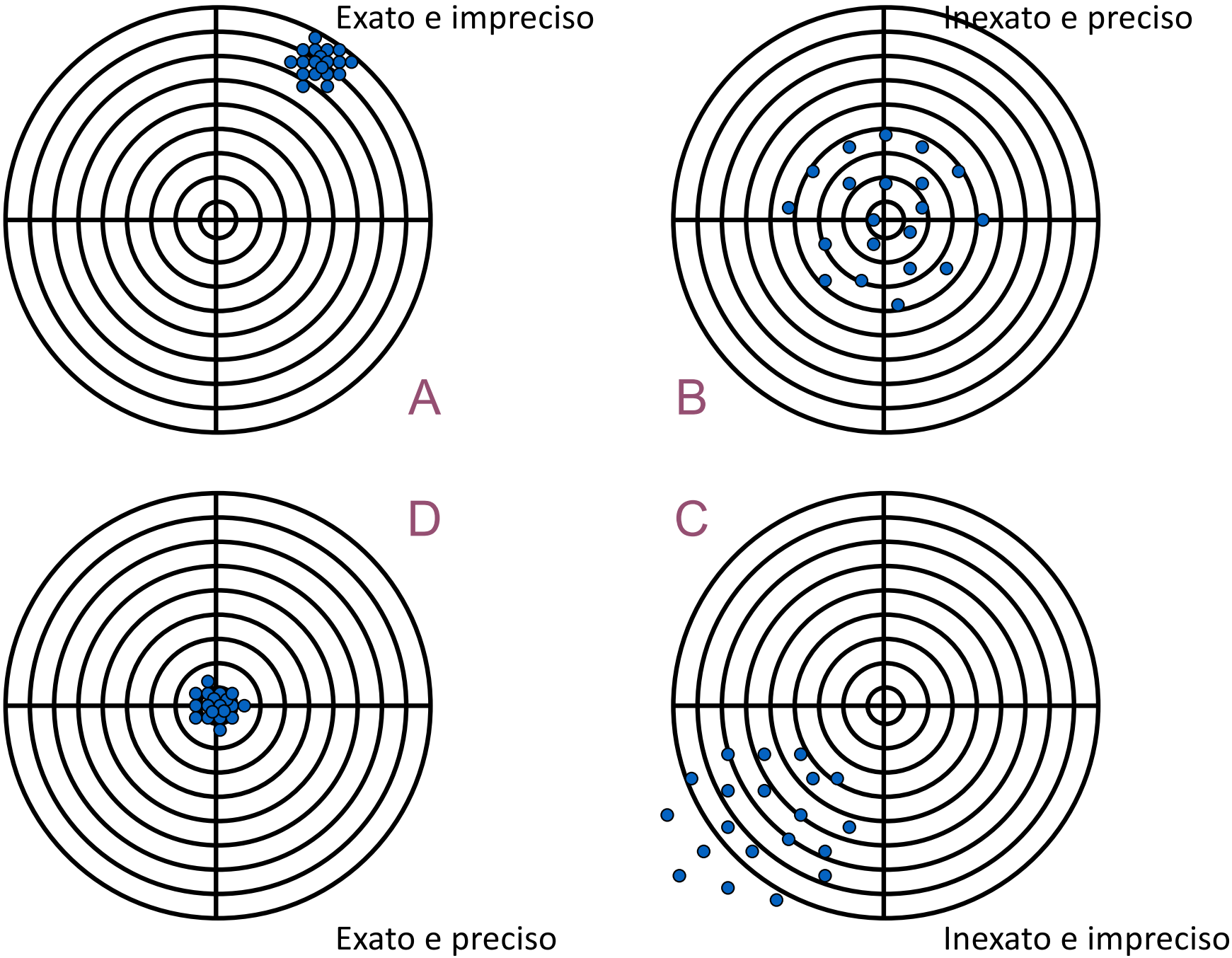
Erro e incerteza

- **Exatidão de medição**: grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro dum mensurando.
- **Precisão e medição**: grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas.
- **Incerteza de dimensão**: parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.
- **Incerteza-padrão**: incerteza de medição expressa na forma dum desvio-padrão.

Erro ou incerteza?

- Erro de medição:
  - é o número que resulta da **diferença** entre a indicação de um sistema de medição e o valor verdadeiro do mensurando.
- Incerteza de medição:
  - é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a **faixa dos valores** que podem fundamentadamente ser atribuídos ao mensurando.

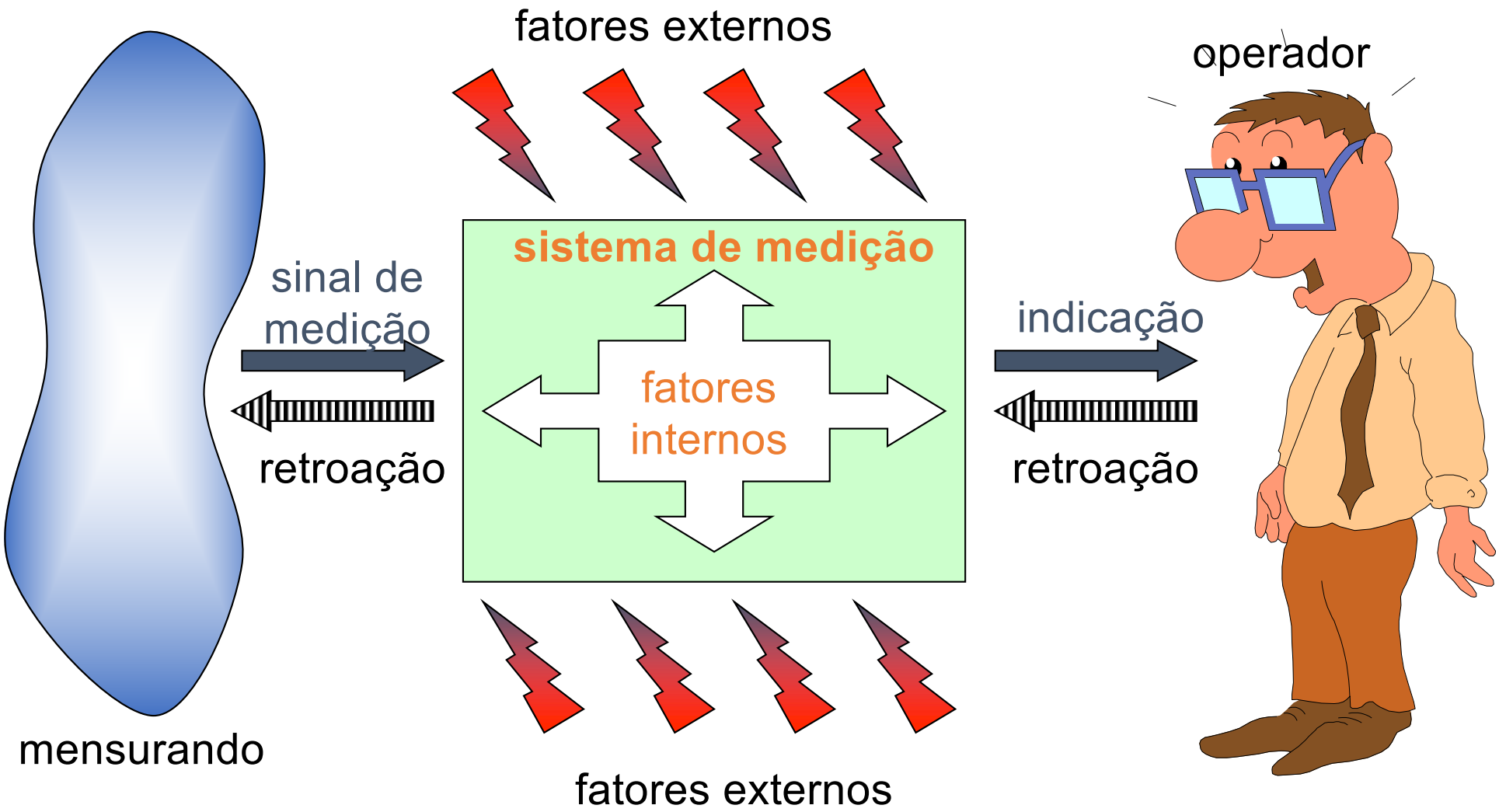

A
B
D
C


Exato e impreciso
A
Inexato e preciso
B
D
Exato e preciso
C
Inexato e impreciso

Fontes de erros

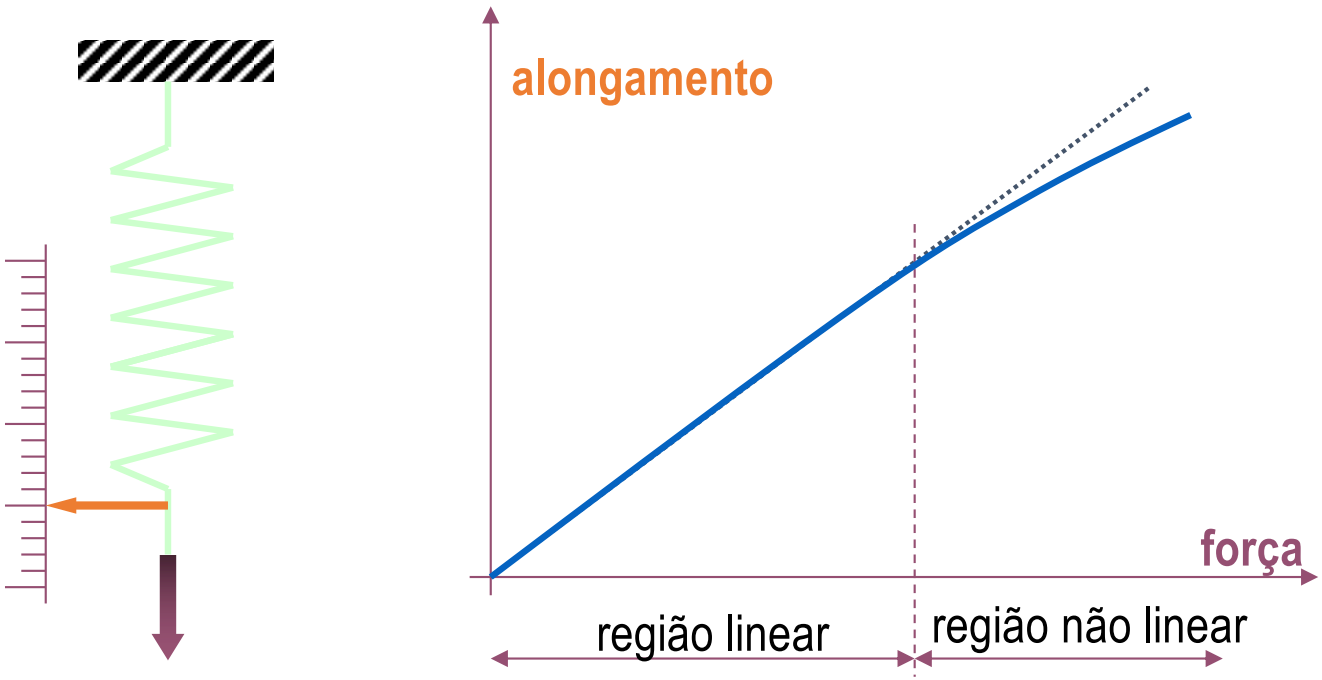
- Há uma variedade de fatores que afetam a incerteza na realização de uma medição.
  - **Grosseiros**: decorrem da desatenção do operador, como por exemplo, ler 81 e escrever 18; este tipo de erro é facilmente corrigido com atenção, treinamento e concentração.
  - **Sistemáticos**: decorrem pela má calibração dos instrumentos, deficiências do operador, ou má escolha do método usado; tais erros ocorrem sempre no mesmo sentido e são de fácil correção.
  - **Aleatórios**: decorrem de causas imprevisíveis, por flutuações nas condições da medição. Pode-se minimizar seus efeitos por melhorar o método de medição e pela aplicação de métodos estatísticos, como veremos agora.
  - **Erros de aproximação**: ocorrem quando não são usadas as técnicas corretas de arredondamento e número de algarismos significativos.

Fontes de erros



Fontes de erros

- Erros provocados por fatores internos
  - Imperfeições dos componentes e conjuntos (mecânicos, elétricos etc).
  - Não idealidades dos princípios físicos.

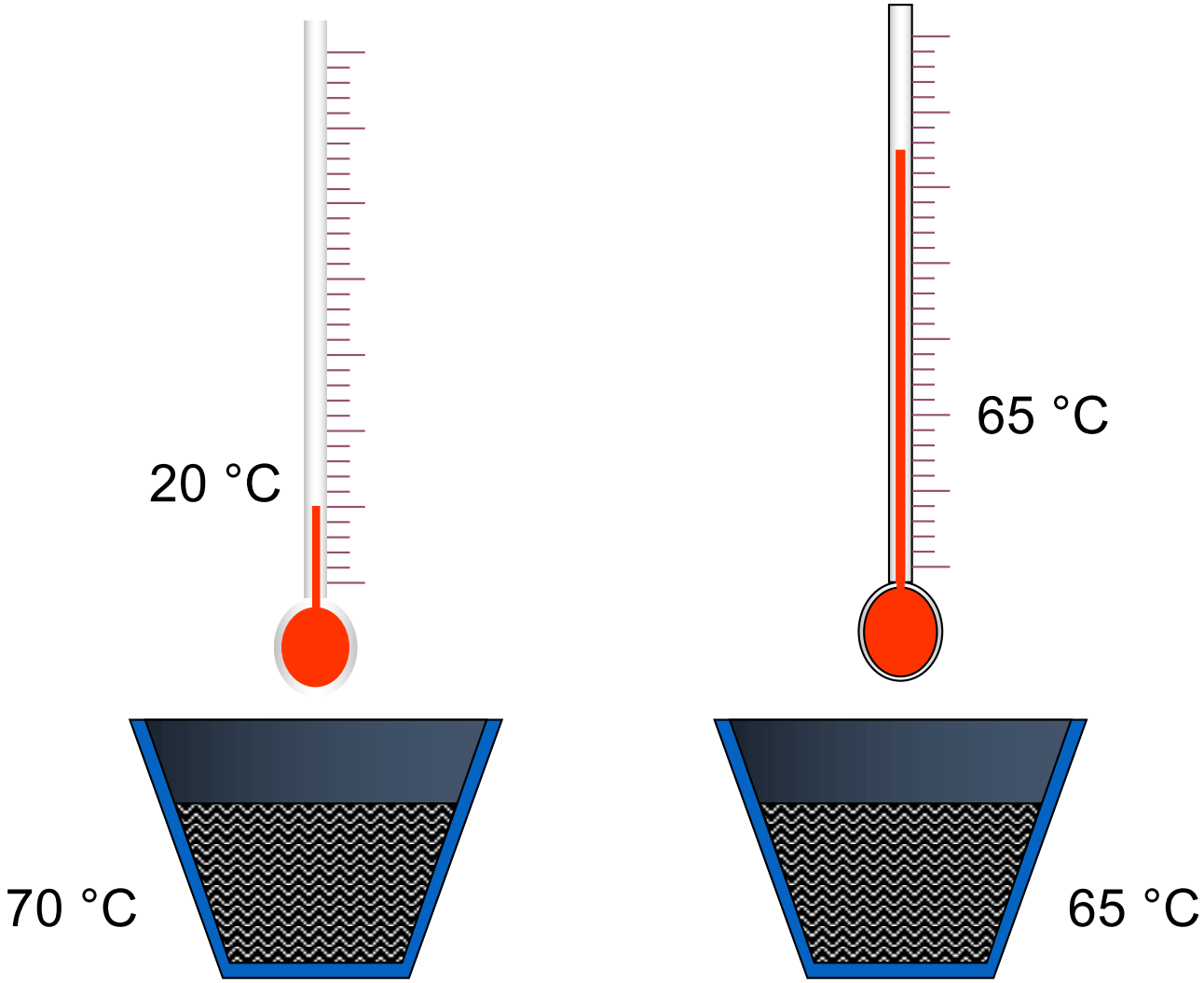


Erros provocados por fatores externos

- Condições ambientais
  - temperatura
  - pressão atmosférica
  - umidade
- Tensão e freqüência da rede elétrica
- Contaminações

Erros provocados por retroação

- A presença do sistema de medição modifica o mensurando.

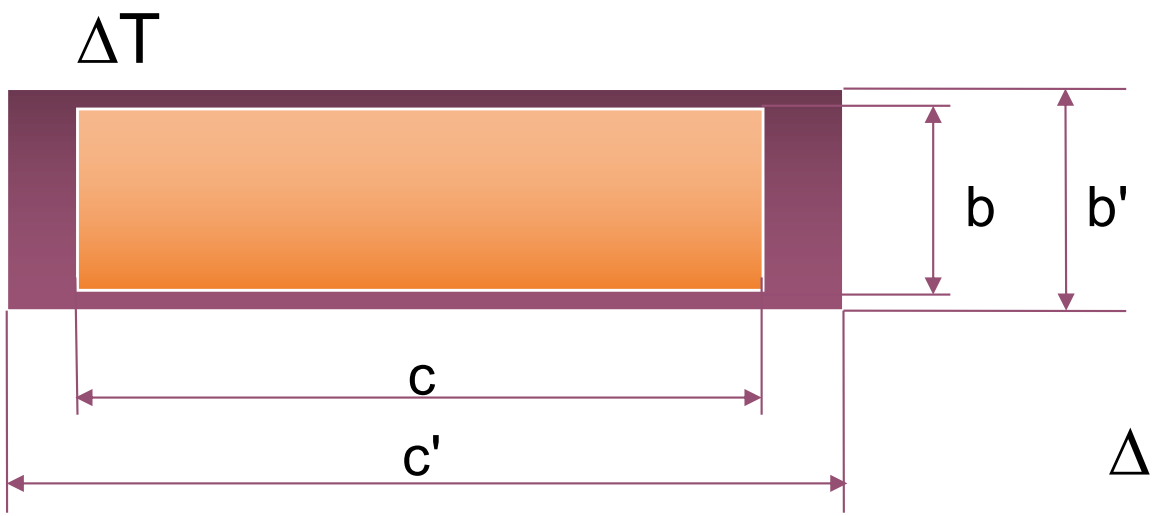


Erros induzidos pelo operador

- Habilidade
- Acuidade visual
- Técnica de medição
- Cuidados em geral
- Força de medição

Dilatação térmica

- Propriedade dos materiais modificarem suas dimensões em função da variação da temperatura.
- Por convenção, 20 °C é a temperatura de referência para a metrologia dimensional.
- Os desenhos e especificações sempre se referem às características que as peças apresentariam a 20 °C.



$\Delta b = b' - b$

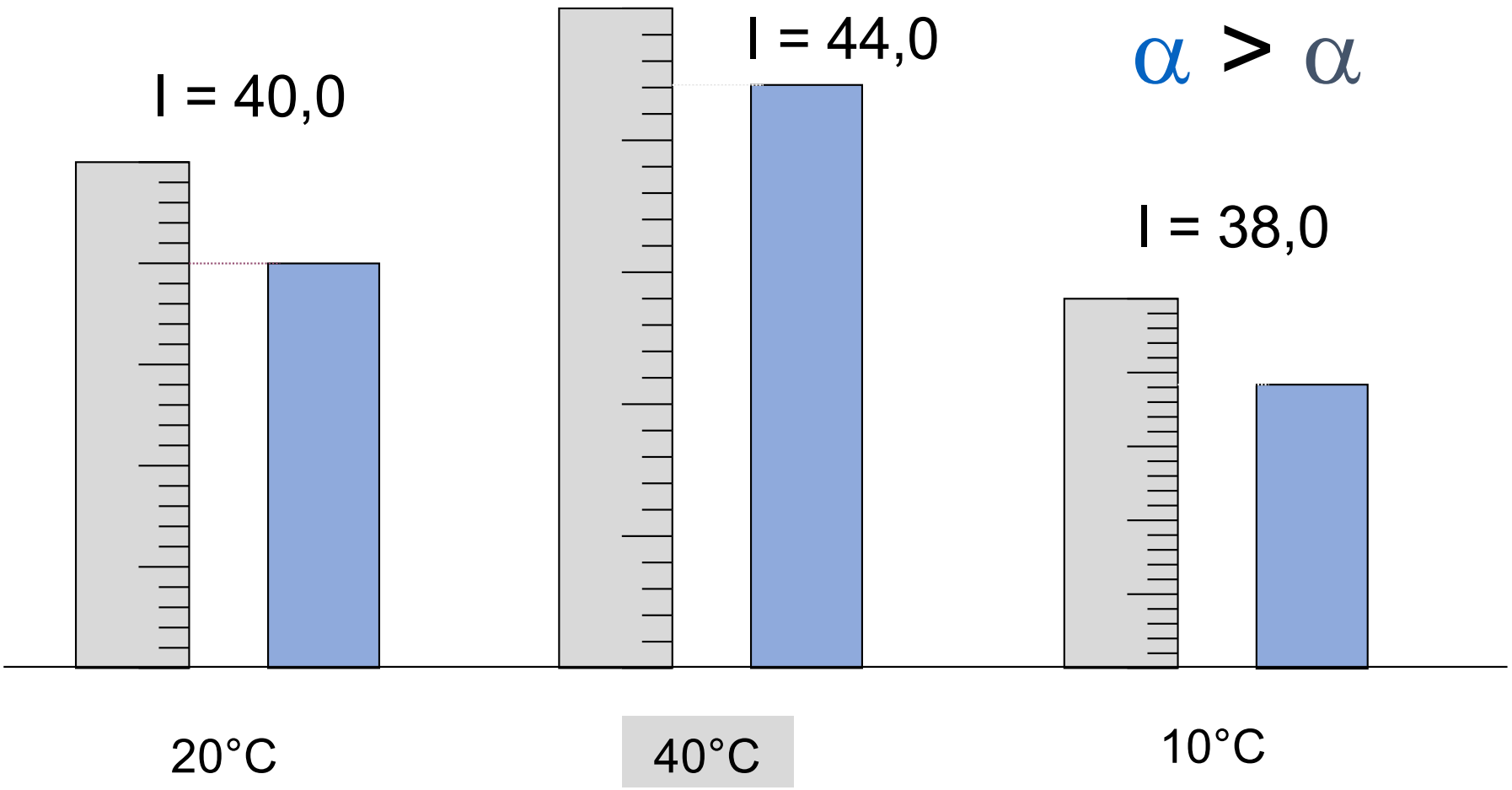
$\Delta c = c' - c$

$$\Delta b = \alpha \cdot \Delta T \cdot b$$

$$\Delta c = \alpha \cdot \Delta T \cdot c$$

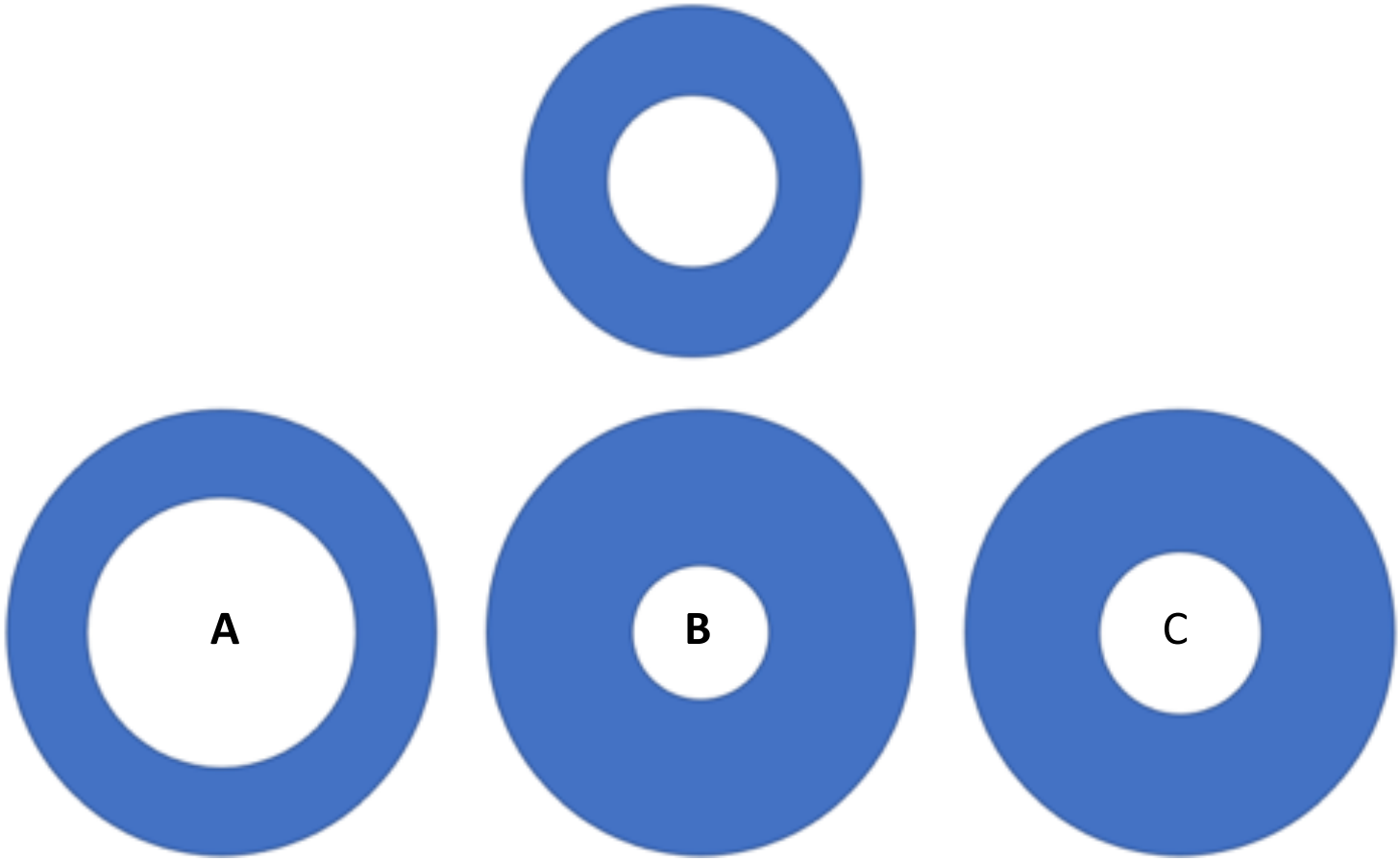
Dilatação térmica

- Coeficientes de dilatação diferentes



Dilatação térmica

- Quando um peça metálica como a abaixo é aquecida, qual o resultado?



Os dois diâmetros aumentam

O diâmetro externo aumenta e o interno diminui

O diâmetro externo aumenta e o interno se mantém

Erros na medição

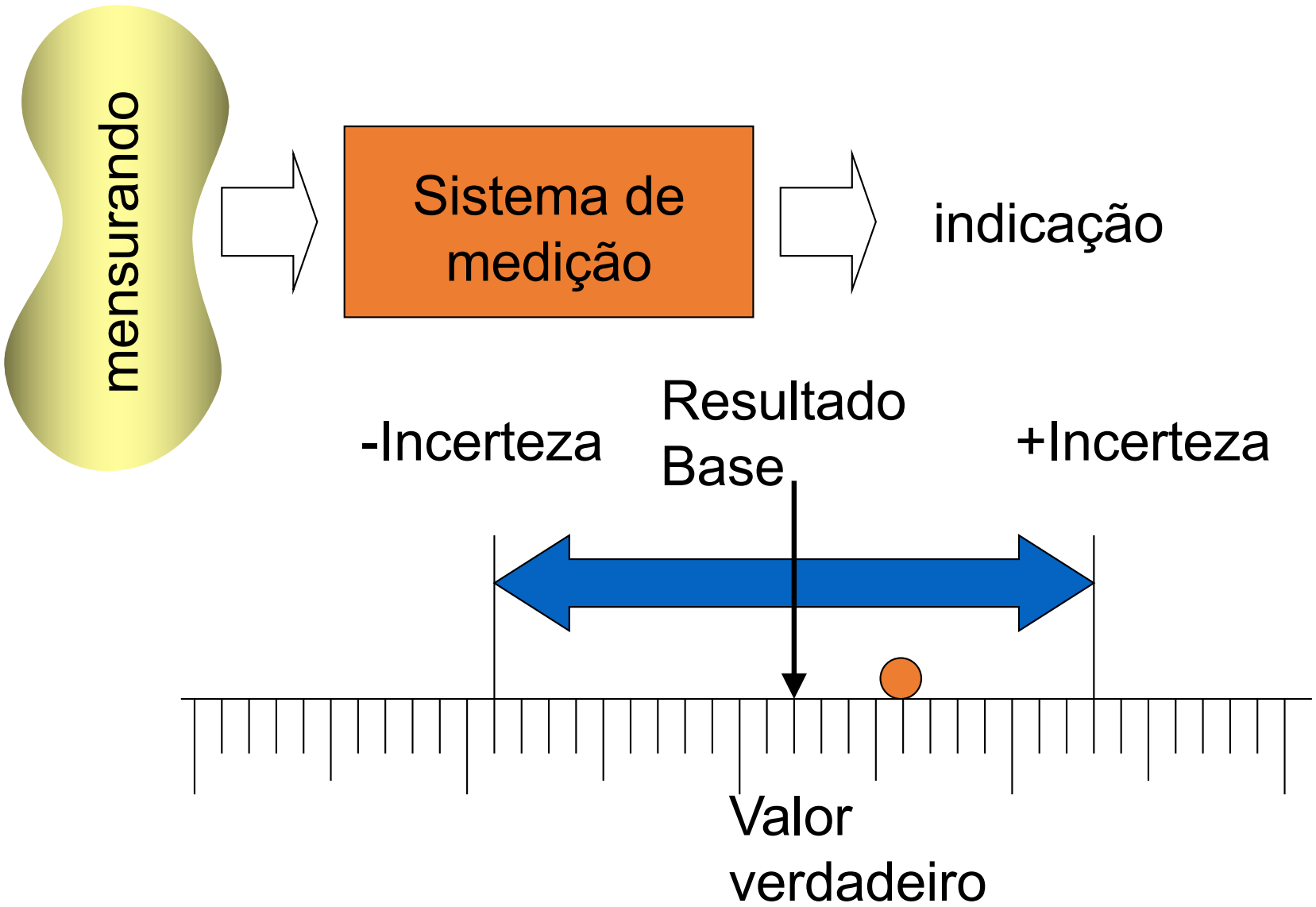
- O documento “Vocabulário Internacional de Metrologia”, traduzido pelo Inmetro, categoriza em dois grupos:
- Avaliação do Tipo A da incerteza de medição
  - Avaliação duma componente da incerteza de medição por uma análise estatística dos valores medidos, obtidos sob condições definidas de medição.
- Avaliação do Tipo B da incerteza de medição
  - Avaliação duma componente da incerteza de medição determinada por meios diferentes daquele adotado para uma avaliação do Tipo A da incerteza de medição.
  - EXEMPLOS Avaliação baseada na informação: -associada a valores publicados por autoridade competente, -associada ao valor dum material de referência certificado, -obtida a partir dum certificado de calibração, -relativa à deriva, -obtida a partir da classe de exatidão dum instrumento de medição verificado, -obtida a partir de limites deduzidos da experiência pessoal.

Erros na medição

- Analisaremos o processo de quantificação da Avaliação Tipo A, conforme descrita no documento **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição (GUM)**, disponibilizada pelo Inmetro em http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf
- O procedimento estatístico usualmente indicado para o tratamento de medidas experimentais consiste em expressar o valor de uma grandeza **q** da seguinte maneira:

$$q = \bar{q} \pm s(\bar{q})$$

Resultado da medição



Resultado da medição

- Resultado da medição: é a faixa de valores dentro da qual deve se situar o valor verdadeiro do mensurando.
- Resultado base é a estimativa do valor do mensurando que, acredita-se, mais se aproxime do seu valor verdadeiro.
- Incerteza da medição é o tamanho da faixa simétrica, e centrada em torno do resultado base, que delimita a faixa onde se situam as dúvidas associadas à medição.

$$RM = (RB \pm IM) \text{ unidade}$$

Resultado da medição

- De acordo com o GUM, na maioria dos casos, a melhor estimativa do valor esperado de uma grandeza é a **média aritmética** (simples ou ponderada) das medições:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{k=1}^{n} q_k}{n}$$

- Em um conjunto de medições, haverá uma dispersão dos valores medidos, expressa pelo **desvio padrão**:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(q_j - \bar{q}\right)^2}{n-1}}$$

Amostra

$$\sigma(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(q_j - \bar{q}\right)^2}{n}}$$

População

Resultado da medição

- O erro padrão da média é dado pela expressão

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}}$$

- Assim, a indicação da medição será:

$$q = \bar{q} \pm s(\bar{q})$$

Exemplo 1 – dados simples

- Uma amostra de quinze esferas é medida, obtendo-se os valores abaixo. Informe apropriadamente o valor médio com a indicação do erro.

Esfera	Diâmetro	Esfera	Diâmetro	Esfera	Diâmetro
1	25,76	6	25,61	11	24,77
2	25,21	7	25,70	12	25,64
3	25,56	8	25,07	13	25,45
4	25,32	9	25,23	14	25,53
5	25,87	10	25,57	15	25,58

Média	25,4571284396
DP	0,29102708126
Erro da média	0,07514286927

Quantos algarismos significativos?

$$D_{Médio} = 25{,}4571284396 \pm 0{,}07514286927$$

Resolução

- Média aritmética simples

$$\bar{q} = \frac{\sum_{k=1}^{n} q_k}{n} = \frac{25{,}76 + 25{,}21 + \cdots + 25{,}58}{15}$$

- Desvio padrão amostral

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} \left(q_j - \bar{q}\right)^2}{n-1}}$$

Usaremos comando da planilha.

- Erro padrão da média (incerteza da medição)

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}}$$

Resolução

Média	25,4571284396
DP	0,29102708126
Erro da média	0,07514286927

$$D_{Médio} = 25{,}4571284396 \pm 0{,}07514286927$$

Quantos algarismos significativos?

Regras de grafia

- As recomendações do GUM são:
- Regra 1:
  - A incerteza da medição é escrita com <u>até dois</u> algarismos significativos.
- Regra 2:
  - O resultado base é escrito com o <u>mesmo número de casas decimais</u> com que é escrita a incerteza da medição.

Regras de grafia

- Exemplo 1:

RM = (319,213 ± 11,4) mm

REGRA 1

RM = (319,213 ± 11) mm

REGRA 2

RM = (319 ± 11) mm

Regras de grafia

- Exemplo 2:

RM = (18,4217423 ± 0,04280437) mm

REGRA 1

RM = (18,4217423 ± 0,043) mm

REGRA 2

RM = (18,422 ± 0,043) mm

Resposta

- Uma amostra de quinze esferas é medida, obtendo-se os valores abaixo. Informe apropriadamente o valor médio com a indicação do erro.

Esfera	Diâmetro	Esfera	Diâmetro	Esfera	Diâmetro
1	25,76	6	25,61	11	24,77
2	25,21	7	25,70	12	25,64
3	25,56	8	25,07	13	25,45
4	25,32	9	25,23	14	25,53
5	25,87	10	25,57	15	25,58

Média	25,4571284396
DP	0,29102708126
Erro da média	0,07514286927

$$D_{Médio} = 25{,}457 \pm 0{,}075$$

Exemplo 2 - dados agrupados

- Em um estudo sobre o efeito de um aditivo sobre a resistência à tração de um polímero, foram feitos ensaios em 50 amostras, obtendo-se os valores abaixo. Indique a média e o respectivo erro.

Carga suportada (kg)	Frequência
1,7	4
1,8	6
1,9	13
2,0	12
2,1	8
2,2	7

Média ponderada:

$$\bar{q} = \frac{1{,}7 \cdot 4 + 1{,}8 \cdot 6 + 1{,}9 \cdot 13 + 2{,}0 \cdot 12 + 2{,}1 \cdot 8 + 2{,}2 \cdot 7}{4 + 6 + 13 + 12 + 8 + 7}$$

$$\bar{q} = 1{,}97\ kg$$

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} \left[\left(q_j - \bar{q}\right)^2 \cdot f_j \right]}{n - 1}}$$

$$s(q_k) = 0{,}1460 \qquad s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}15}{\sqrt{50}} = 0{,}02065$$

$$q = 1{,}970 \pm 0{,}021\ kg$$

Resolução

- Cálculo com planilha

Kg (qj)	Frequência (fj)	(qj-qm)	(qj-qm)^2	(qj-qm)^2*fj
1,7	4	-0,3	0,0729	0,2916
1,8	6	-0,2	0,0289	0,1734
1,9	13	-0,1	0,0049	0,0637
2,0	12	0,0	0,0009	0,0108
2,1	8	0,1	0,0169	0,1352
2,2	7	0,2	0,0529	0,3703
Total->	50		Somatória ->	1,045
Média (qm)->	1,97		Dp ->	0,1460360593
			Erro da média->	0,02065261756

Exemplo 3 - dados agrupados em faixas

- Um engenheiro de produção necessita informar o tempo médio para a realização de uma operação, e realiza um teste com 60 funcionário, obtendo os seguintes resultados:

Tempo	Frequência
16 a 18	1
18 a 20	8
20 a 22	8
22 a 24	12
24 a 26	19
26 a 28	12

Calcule o valor médio e o respectivo erro.

Resposta: 23,53 ± 0,34 min

Nesse caso, pelo significado prático do experimento, seria válido 23,5 ± 0,3

Resolução

- Cálculo com planilha

Classes	Ponto médio (qj)	Frequência (fj)	(qj-qm)	(qj-qm)^2	(qj-qm)^2*fj
16 a 18	17	1	-6,5	42,7	42,7
18 a 20	19	8	-4,5	20,6	164,4
20 a 22	21	8	-2,5	6,4	51,3
22 a 24	23	12	-0,5	0,3	3,4
24 a 26	25	19	1,5	2,2	40,9
26 a 28	27	12	3,5	12,0	144,2
Média (qm)	23,533333	60		Somatória	404,2
				DP	2,617570645
				Erro da média	0,337926917

Exercício proposto 1 (dados simples)

- Para avaliar a média de medicamento dispensado por ampola por uma envasadeira, um engenheiro realiza a medição de uma amostra com 20 elementos. Informe o valor da média e o respectivo erro.

Ampola	ml	Ampola	ml
1	12,34	11	12,12
2	12,35	12	12,27
3	12,19	13	12,81
4	12,75	14	12,33
5	12,28	15	12,16
6	12,41	16	12,40
7	12,61	17	12,42
8	12,36	18	12,65
9	12,57	19	12,49
10	12,53	20	12,45

Resposta: 12,425 ±0,042

Exercício proposto 2 (dados agrupados em faixas)

- A resistência à compressão do concreto é conhecida como Fck. Um aditivo está sendo testado quanto à sua influência ou não nesse valor na resistência à compressão, e uma amostra com 50 corpos de prova foi testada, com os valores obtidos abaixo. Classifique em categorias, crie o histograma e informe a média dos valores e o respectivo erro tipo A.

	MPa		MPa		MPa		MPa		MPa
1	52,8	11	45,7	21	53,5	31	51,1	41	51,4
2	48,7	12	53,2	22	54,5	32	53,4	42	55,2
3	59,7	13	51,2	23	53,5	33	50,6	43	49,6
4	51,1	14	51,4	24	54,4	34	48,2	44	52,6
5	48,7	15	48,9	25	55,5	35	52,7	45	49,2
6	51,6	16	48,1	26	53,7	36	49,0	46	50,4
7	53,9	17	57,2	27	56,5	37	58,9	47	50,7
8	53,2	18	51,5	28	47,6	38	49,2	48	51,0
9	56,8	19	49,1	29	51,0	39	47,4	49	57,2
10	53,8	20	46,2	30	54,7	40	50,8	50	55,6

Resposta: 52,04 ± 0,45 MPa

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Uma amostra de 10 elementos de um componente de precisão foram medidos em uma sala a 25°C, e é necessário informar a média juntamente com a incerteza tipo A e tipo B. Os valores obtidos foram os seguintes:

Mensurando	Medida
1	18,008
2	17,996
3	17,998
4	18,004
5	18,006
6	17,995
7	18,012
8	18,000
9	17,999
10	18,003

Média	18,002100000
Desvio padrão	0,00548634669
Erro da média	0,001734935157

$$\text{Incerteza tipo A } \Rightarrow I_A = 1{,}7 \cdot 10^{-3} mm$$

$$I_A = 1{,}7\ \mu m$$

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- A incerteza tipo B é composta de vários fatores, entre os quais, nesse exemplo, consideraremos:
- Incerteza de calibração, I_C: Esse valor é calculado com os dados fornecidos no certificado de calibração do instrumento. Sua fórmula é:

$$I_C = \frac{U95\%}{k}$$

Onde:

U95%⇒incerteza de medição

k⇒fator de abrangência

- Exemplo

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO :

Resultados em: mL

Volume Nominal	Volume de Referência	Erro Encontrado	Incerteza de Medição	Fator de Abrangência (k)	Grau de liberdade Efetivo (Veff)
5,0	4,9077	0,0923	0,002	2,37	10
15,0	14,8280	0,1720	0,003	2,20	15
25,0	24,9328	0,0672	0,003	2,06	44

Julio Cesar Pereira de Souza
Gerente Técnico Substituto

EXECUTANTE: MARCOS BENEDITO PEREIRA DE SOUZA

RODRIGO GOMES CORDEIRO
GERENTE TÉCNICO

reprodução deste certificado só poderá ser total, sem nenhuma alteração. Os Resultados deste certificado referem-se somente ao item calibrado ou ensaiado. Este certificado ate
stabelecidos pela norma NBR ISO/IEC 17025. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Incerteza de calibração (cont.): em nosso exemplo, adotaremos $U95\% = 0{,}0025$ mm e $k = 2{,}1$:

$$I_C = \frac{U95\%}{k} \Rightarrow I_C = \frac{0{,}0025}{2{,}1} \Rightarrow I_C = 1{,}2\ \mu m$$

- Incerteza de resolução, I_R: dado o limite de resolução de cada instrumentro, um arredondamento da leitura será feito, com inevitável inclusão de erro. Esse erro é dado por:

$$I_R = \frac{res}{\sqrt{12}}$$

No nosso caso a resolução é de 0,01 mm. Portanto:

$$I_R = \frac{res}{\sqrt{12}} \Rightarrow I_R = \frac{0{,}01}{\sqrt{12}} \Rightarrow I_R = 0{,}29\ \mu m$$

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Incerteza devido à temperatura I_T: é dada pela equação:

$$I_T = \Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Onde:
$L \Rightarrow$ dimensão sendo controlada
$\alpha \Rightarrow$ coeficiente de dilatação do material ($\alpha_{aço} = 11{,}5\ \mu m/m°$C)
$\Delta T \Rightarrow$ diferença entre a temperatura ambiente na medição e a temperatura de aferição do micrômetro, que consta no certificado (geralmente 20° C)

$$I_T = \Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T = 0{,}018 \cdot 11{,}5 \cdot (25 - 20) = 1{,}035\ \mu m$$

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Incerteza combinada u_c: para o cálculo da incerteza combinada u_c, realizamos a soma quadrática dos valores obtidos:

$$u_c = \sqrt{I_A^2 + I_C^2 + I_R^2 + I_T^2}$$

$$u_c = \sqrt{1{,}7^2 + 1{,}2^2 + 0{,}29^2 + 1{,}035^2} \Rightarrow u_c = 2{,}34\ \mu m$$

- Embora esse valor já expresse a incerteza, em muitos casos a legislação (especialmente nas áreas de saúde e segurança) exige a informação de uma quantidade que define um **intervalo** em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma **grande fração da distribuição dos valores** que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.
- Esse valor é chamado de **incerteza de medição expandida**.

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- A incerteza expandida é obtida com o produto:

$$U = k \cdot u_c$$

onde k é o fator de abrangência.

- O cálculo do fator k depende do número de graus de liberdade efetivos, dado pela fórmula:

$$\nu_{ef} = \frac{u_C^4}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}}$$

ν_{ef} ⇒número de graus de liberdade efetivos (será usado no próximo passo)
u_c ⇒ incerteza de medição combinada (calculada anteriormente)
u_i ⇒ cada uma das demais fontes de incerteza (calculadas anteriormente)
ν_i ⇒ graus de liberdade respectiva a cada fonte de incerteza. Os graus de liberdade correspondem ao número de amostras menos um: $\nu_i = n - 1$

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Seu cálculo pode ser feito com a ajuda de uma tabela como:

	u_i	u_i^4	v_i	$\frac{u_i^4}{v_i}$
IA	1,7	8,35210	9	0,928011
IC	1,2	2,07360	9	0,230400
IR	0,29	0,00707	9	0,000786
IT	1,035	1,14752	9	0,127503
			Somatória	1,29

$$\nu_{ef} = \frac{u_C^4}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}} \Rightarrow v_e = \frac{2{,}34^4}{1{,}29} \Rightarrow v_e = 23{,}2 \cong 23$$

Incerteza Tipo B, exemplo de cálculo

- Com esse valor, obtemos o valor de k, da tabela de t-student. Os valores para 95% de confiança, que é o mais usado são os abaixo:

ν_{ef}	K_{95}	ν_{ef}	K_{95}
1	12,71	17	2,11
2	4,30	18	2,10
3	3,18	19	2,09
4	2,78	20	2,09
5	2,57	21	2,08
6	2,45	22	2,07
7	2,36	23	2,07
8	2,31	24	2,06
9	2,26	25	2,06
10	2,23	26	2,06
11	2,20	27	2,05
12	2,18	28	2,05
13	2,16	29	2,05
14	2,14	30	2,04
15	2,13	Infinito	2,00

Para $v_{ef} = 23, k(95\%) = 2{,}07$

Assim:

$$U = k \cdot u_c \Rightarrow U = 2{,}07 \cdot 2{,}34$$

$$U = 4{,}7736\ \mu m$$

$$U = 0{,}0048\ mm$$

$$L = 18{,}0021 \pm 0{,}0048\ mm$$

Exercício proposto

- Dez medições foram feitas em uma dimensão a ser controlada, de modo a obter-se a média e a incerteza expandida. As medições foram feitas a 28°C, com um micrômetro de resolução 0,01 mm, e em cujo atestado de calibração é informada uma incerteza de medição U95%=0,0022m com fator de abrangência k=1,9. O componente a ser medido é de aço, com coeficiente de dilatação $\alpha_{aço} = 11{,}5\ \mu m/m°C$. Calcule o valor médio e a incerteza expandida.
  - Valores das medidas e respostas parciais: http://gg.gg/n6v3a
  - Roteiro de cálculo: http://masimoes.pro.br/uc_metrologia/uc_metrologia_exerc_A_e_B.pdf

Conclusão

- Ao final dessa aula, você deve ser capaz de:
  - Diferenciar os métodos de medição e suas vantagens e desvantagens
  - Identificar as características dos sistemas de medição
  - Definir e diferenciar erro e incerteza
  - Explicar os principais termos na teoria de erros
  - Caracterizar as fontes de erros na medição
  - Quantificar o erro em uma média de medições
  - Indicar a média e o erro corretamente