

ENG1027: Instrumentação Eletrônica



Igor Braga de Paula:

Sala :131L

Whatsapp (21) 98177 1127 (somente 2^a a 6^a)

Telefone: 3527-1168

igordepaula@puc-rio.br

1.1a) Programa do Curso



1. Instrumentos e Sistemas de Medição:
Conceitos Gerais
2. Sensores e Transdutores
3. Condicionamento do Sinal Elétrico

1.1b) Referências Bibliográficas

1. Carlos Hall, Notas de aula – slides do curso
2. Alan S. Morris, “Principles of Measurement and Instrumentation”, Prentice Hall
3. Armando Albertazzi G. Jr, André R. de Sousa, “Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial”, Manole
4. James W. Dally, William F. Riley, Kenneth G. McConnell, “Instrumentation for Engineering Measurements”, Wiley
5. A. James Diefenderfer, Brian E. Holton, “Principles of Electronic Instrumentation”, Saunders
6. Vocabulário Internacional de Metrologia (2012)

1.1c) Avaliações

⌘ Prova Teórica 1 (G1): VER SAU E MOODLE

☑ Presencial -Sem consulta

⌘ Prova Teórica 2 (G2): VER SAU E MOODLE

☑ Presencial - Sem consulta

⌘ Relatórios – máx. 3 alunos (média G3)

☑ OBS: Relatórios independentes. Sem plágio!
Entregar no máximo 15 dias após a atividade prática.
Depois desse prazo vale no max. 50% da nota

⌘ Prova Final (PF): VER SAU E MOODLE

☑ Sem consulta

1.1c) Avaliação Final

» Critério 5:

$$NF = \frac{G1 + G2 + G3}{3}$$

Se **G1**, **G2** e **G3** $\geq 5,0$ ou **NF** $\geq 6,0$, então: **MÉDIA** = **NF**
em outros casos o aluno faz **G4**:

se **G4** $\geq 3,0$, então: **MÉDIA** = $\frac{Gm + Gn + G4}{3}$

Gm e **Gn** são as maiores notas de **G1**, **G2** e **G3**

se **G4** $< 3,0$, então:

$$\text{MÉDIA} = \frac{G1 + G2 + G3 + G4 * 3}{6}$$

1.1d) Página do curso

⌘ <http://lef.mec.puc-rio.br/cursos>

← → ↻ 🏠 ⓘ Não seguro | lef.mec.puc-rio.br/?lang=pt 🔍

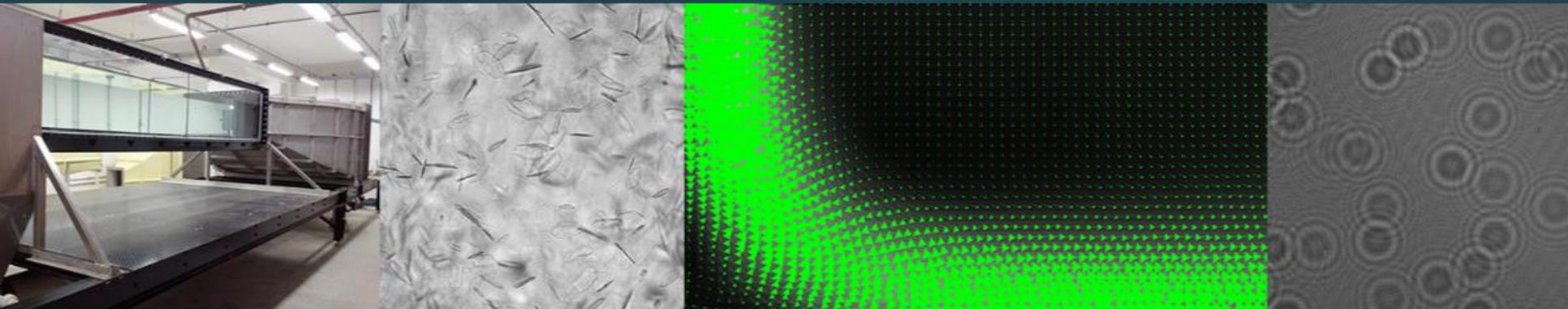
📱 Apps

Pesquisar ...

Laboratório de Engenharia de Fluidos



- Linhas de pesquisa
- Pessoas
- Publicações
- Notícias e chamadas
- Links externos
- Cursos



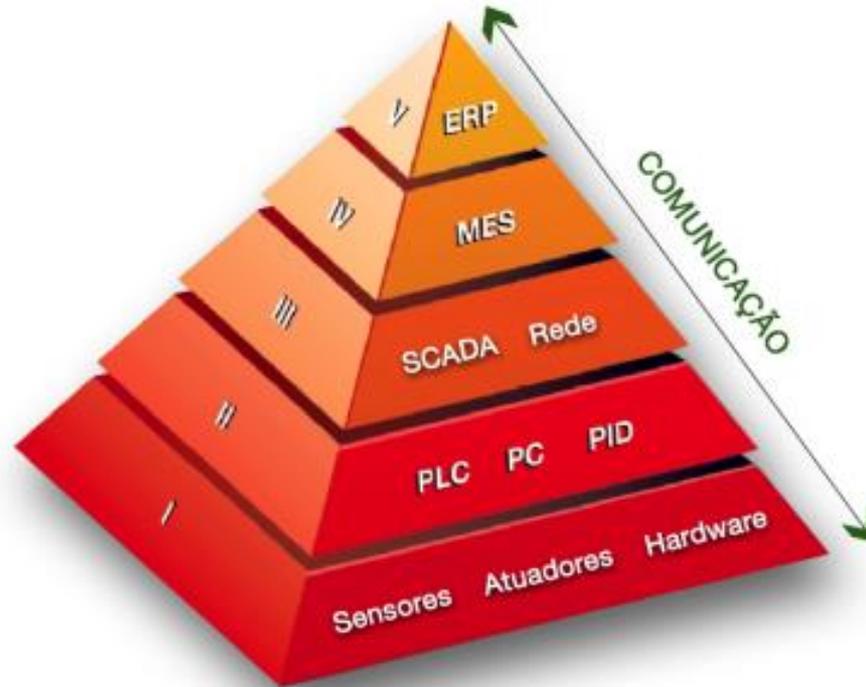
O Laboratório de Engenharia de Fluidos (LEF), vinculado ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, conduz estudos fundamentais e aplicados nas áreas de mecânica dos fluidos e

Chamadas



Conceitos Iniciais

Piramide de automação industrial



Medições no Dia a Dia



Potência da
lâmpada

Horário do
despertador

Comprimento
da calça

Tempo de
cozimento

Volume de
leite

Volume de
combustível

Temperatura
da geladeira

Velocidade
do automóvel

Pressão dos
pneus

Consumo de
energia

Dimensões
das peças

Rotação do
motor

Tamanho do
peixe

Quantidade
de arroz

O Que É “Medir”?



- Medir é o procedimento experimental pelo qual o **valor momentâneo** de uma **grandeza física** é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma **unidade**, estabelecida por um **padrão** e reconhecida internacionalmente.

Definições Básicas



⌘ **Mensurando** é o objeto da medição. É a grandeza específica submetida à medição.

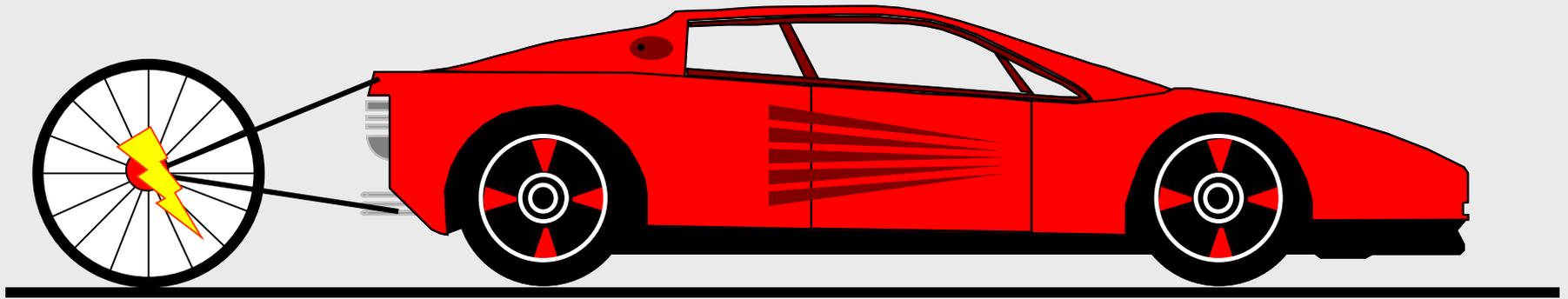
⌘ **Indicação** é o valor de uma grandeza fornecido por um sistema de medição.

⌘ **Indicação direta** é o número mostrado pelo sistema de medição. A indicação direta pode ou não ser apresentada na unidade do mensurando.

Exemplo de Medição 1



Exemplo de Medição 2



Indicação direta

tensão do gerador: $5,305 \text{ V}$

constante do sistema de medição: $15,080 \text{ (km/h)/V}$

velocidade: $5,305 \text{ V} \cdot 15,080 \text{ (km/h)/V} = 80,0 \text{ km/h}$

Indicação

Para Que Medir???



- ⌘ **Monitorar:** observar passivamente as grandezas
- ⌘ **Controlar:** Observar, comparar e agir para manter dentro das especificações
- ⌘ **Investigar:** Descobrir o novo, explicar, formular

Medir para monitorar...

⌘ Compra e venda de produtos e serviços:

☑ consumo de água, energia elétrica, taxímetro, combustíveis, etc.

⌘ Sinais vitais:

☑ pressão arterial, temperatura, nível de colesterol

⌘ Atividades desportivas:

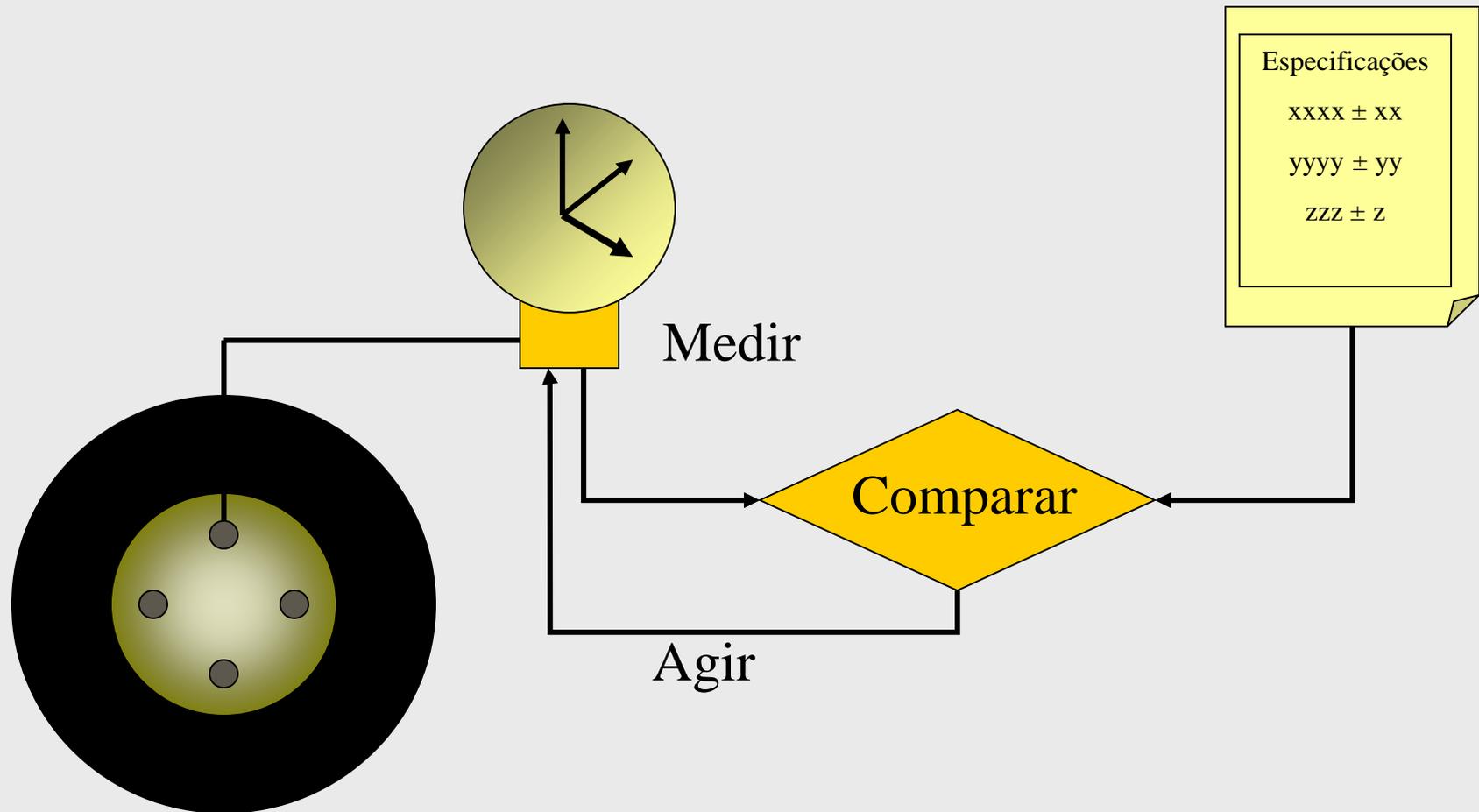
☑ desempenho, recordes



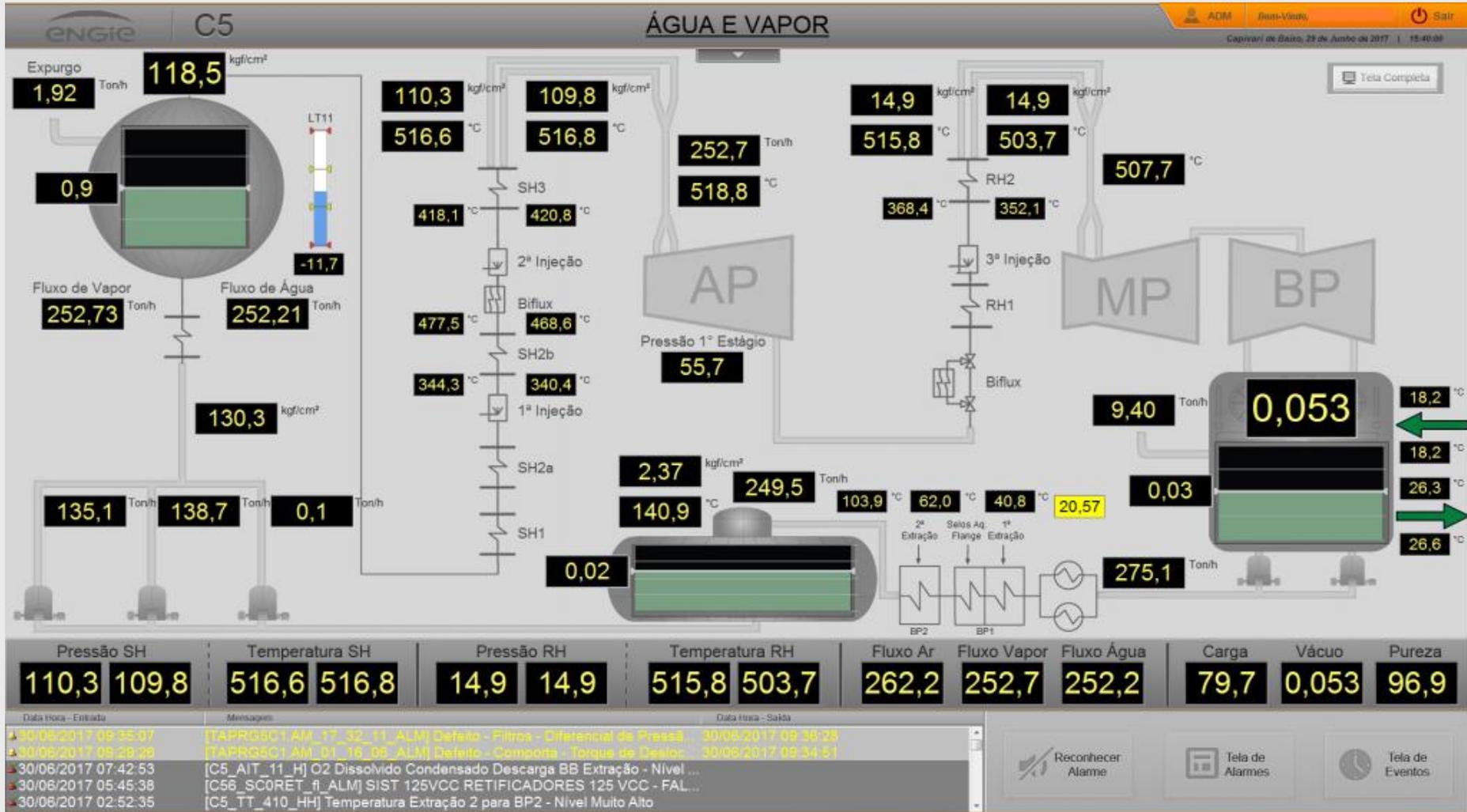
Medir para monitorar...



Medir para controlar...



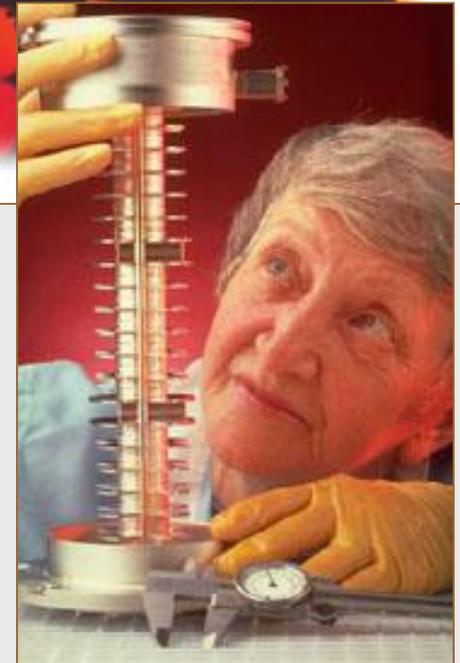
Medir para controlar...



Medir para controlar...



Medir para investigar...



Medir para investigar...



Pequenas diferenças nas
medidas podem levar a
conclusões completamente
diferentes.

Componentes da Metrologia



- ⌘ Metrologia Científica
- ⌘ Metrologia Industrial
- ⌘ Metrologia Legal

Componentes da Metrologia



⌘ Metrologia Científica

☑ padrões de medição, instrumentos laboratoriais, pesquisa e metodologias científicas

⌘ Metrologia Industrial

⌘ Metrologia Legal

Componentes da Metrologia



⌘ Metrologia Científica

⌘ Metrologia Industrial

☑ Aplicação da Metrologia em controle de processos produtivos e na garantia da qualidade

⌘ Metrologia Legal

Componentes da Metrologia



⌘ Metrologia Científica

⌘ Metrologia Industrial

⌘ Metrologia Legal:

☑ proteção ao consumidor e credibilidade nos campos da economia, saúde, segurança e meio ambiente

1.2.a) Histórico



⌘ História das técnicas de medição: tão antiga quanto a própria civilização

- Algumas famílias se especializaram em, por exemplo, agricultura, enquanto outras se especializaram em tecelagem
- Escambo!
- Necessidade das sociedades primitivas de quantificar os bens utilizados nas trocas.

1.2.a) Histórico



- ⌘ Sistemas primitivos baseados nas unidades de medida então disponíveis:
 - mão, pé, cúbito
 - Não Padronizadas !

- ⌘ Técnicas de Medição Primitivas:
 - Baixa exatidão !

O cúbito (distância entre o cotovelo e a extremidade do dedo médio) do Faraó



O pé médio da idade média



O pé médio da idade média



1/16 do comprimento resultante da soma do comprimento dos pés esquerdos dos primeiros dezesseis homens que saíram da missa na manhã de domingo



Outros Exemplos



- ⌘ **Milha**: distância equivalente a mil passos duplos percorridos por um soldado romano de porte médio

- ⌘ **Jarda**: distância entre a extremidade do nariz ao polegar estendido para cima do rei Henrique I

1.2.a) Histórico



⌘ Duas “revoluções” contribuíram para o aprimoramento dos processos de medição:

- Revolução Industrial
- Revolução Eletrônica

1.2.a) Histórico



⌘ Revolução Industrial:

- Máquina a vapor
- Produção em larga escala de bens manufaturados
- Mecanização dos processos de produção

- Maior necessidade de Padronização!

1.2.a) Histórico



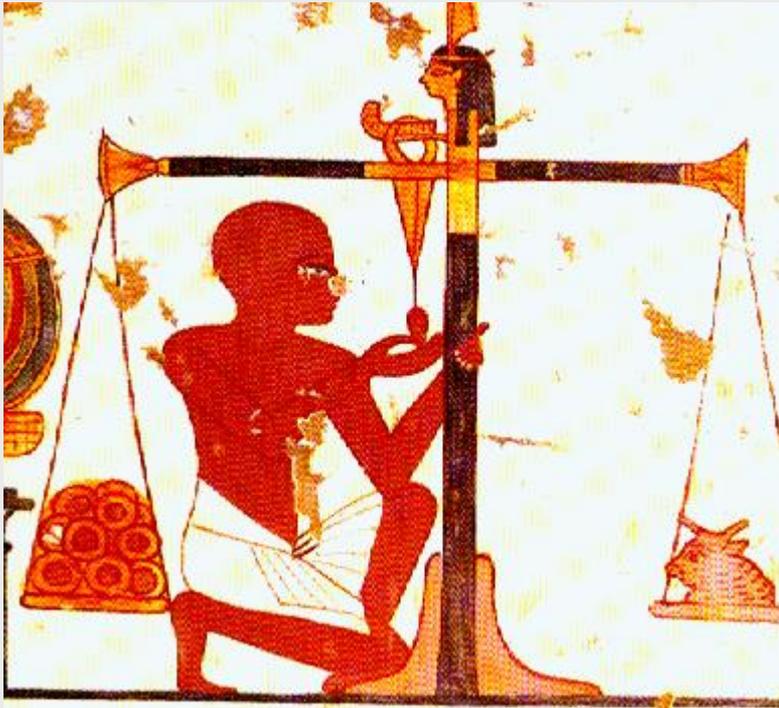
⌘ Revolução Eletrônica:

- “Eletronização” de processos e instrumentos de medição
- Uso extensivo de microprocessadores
- Miniaturização

- Automação de processos!

1.2.a) Exemplo: Medição de Massa

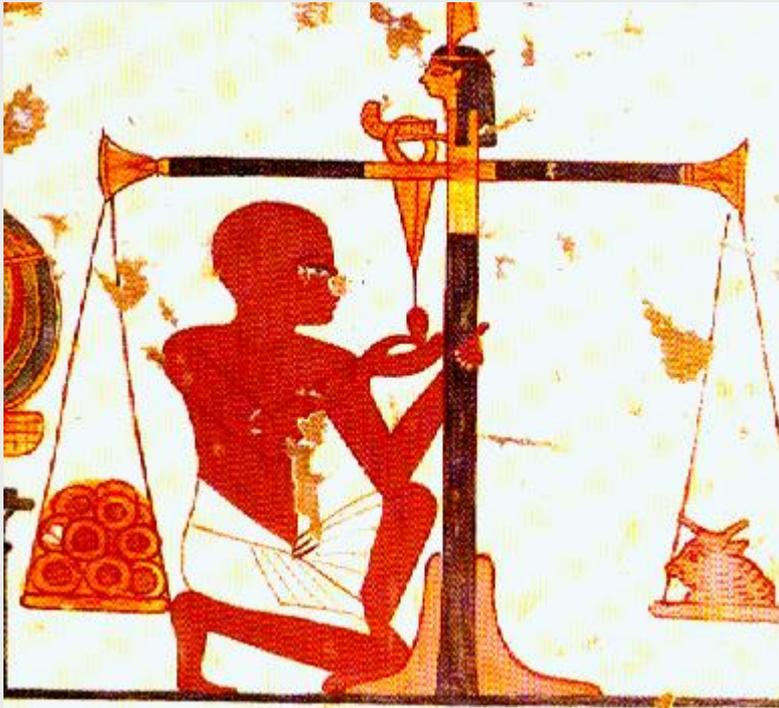
⌘ Balança de braços iguais: 5000 anos (Egito antigo)



- Travessão rígido
- Suspenso pelo centro
- Dois pratos eqüidistantes
- Amostra em um prato
- Massas conhecidas colocadas no outro prato
- **Resolução** = menor massa padrão utilizada
- **Exatidão** = erros nas massas padrão individuais

1.2.a) Exemplo: Medição de Massa

⌘ Balança de braços iguais: 5000 anos (Egito antigo)



- Outras fontes de erro:
 - ⊗ Massas desiguais das hastes
 - ⊗ Flexão da haste
 - ⊗ Determinação do nível
 - ⊗ Atrito

- Massa padrão na forma de um touro, sugerindo alguma autoridade de certificação

1.2.a) Exemplo: Medição de Massa

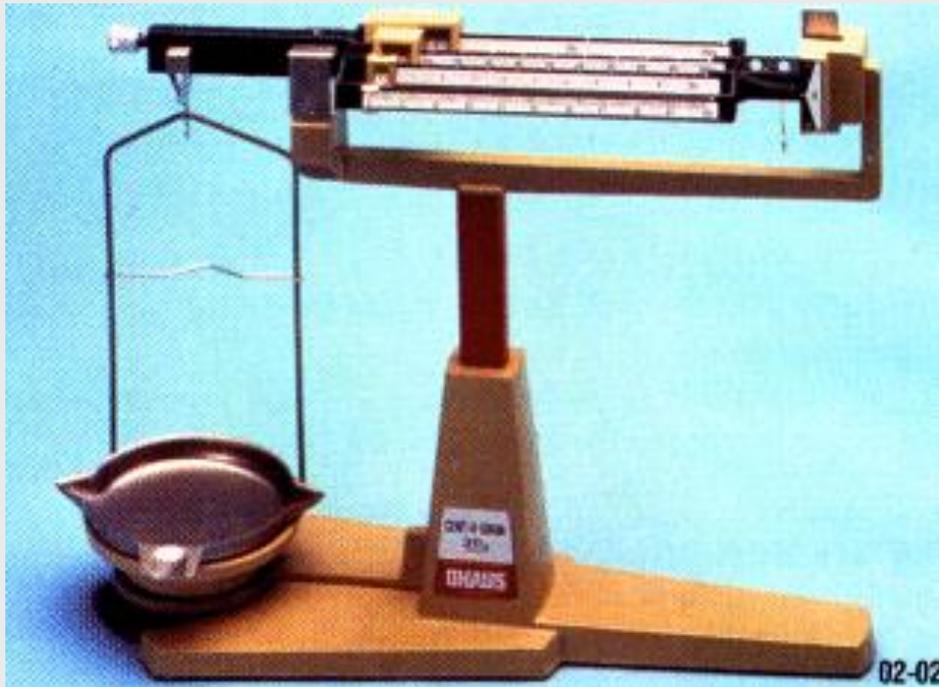
⌘ Balança de braços iguais: Século VII (Europa)



- Hastes de metal em substituição à madeira
- Melhor projeto mecânico

1.2.a) Exemplo: Medição de Massa

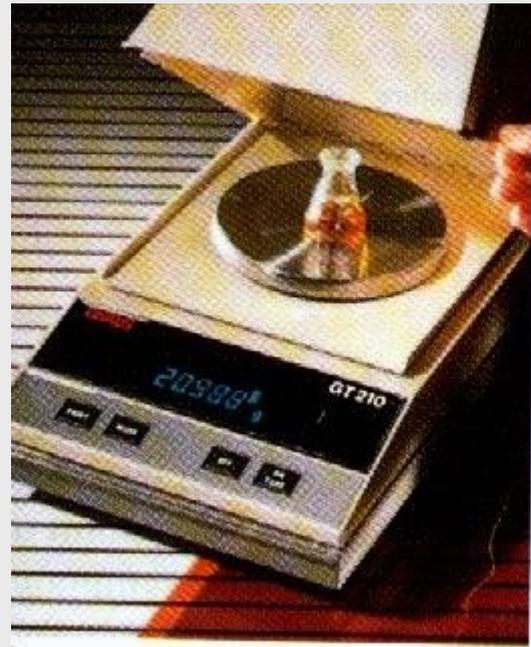
⌘ Balança de um braço: Século XVI (Holanda)



- Somente um prato, que contém a amostra
- Cursor deslizante em uma escala calibrada com massa padrão
- Leitura direta na escala
- Muito comuns atualmente (laboratórios, médicos)

1.2.a) Exemplo: Medição de Massa

⌘ Balança eletrônica: Século XX



- Baseadas em sensores de força ou células de carga (*strain gauges*)
- Geram uma grandeza elétrica (p.ex. tensão) proporcional à força aplicada
- A força é proporcional à massa

1.2.b) Configuração Típica

⌘ Instrumento de medição:

- **Definição (V.I.M.):** Dispositivo utilizado para realizar **medições**, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares.
- É utilizado para obter uma **estimativa** do **valor** de uma determinada **grandeza** relacionada a um **mensurando**.

1.2.b) Configuração Típica

⌘ Instrumento de medição:

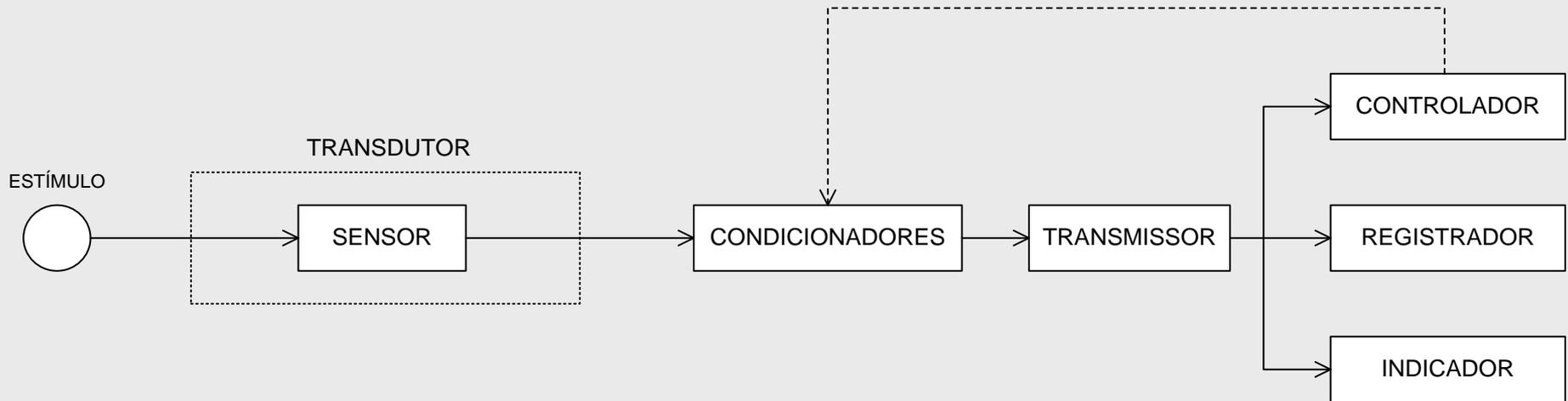
- **Casos mais simples:** o instrumento é composto por uma **única unidade**, que provê uma leitura ou sinal de saída de acordo com a magnitude da variável desconhecida sendo medida. Ex: termômetro de mercúrio.

1.2.b) Configuração Típica

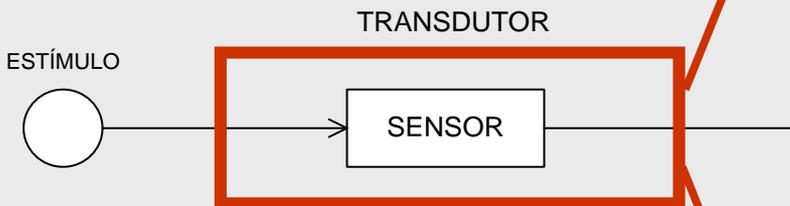
⌘ Instrumento de medição:

- **Casos mais complexos:** o instrumento é composto por diversos componentes em separado.
 - ☒ Contidos em uma única unidade, ou separados em unidades distintas;
 - ☒ Próximos entre si ou fisicamente separados.
- Natureza modular: **CADEIA DE MEDIÇÃO**

1.2.b) Configuração Típica

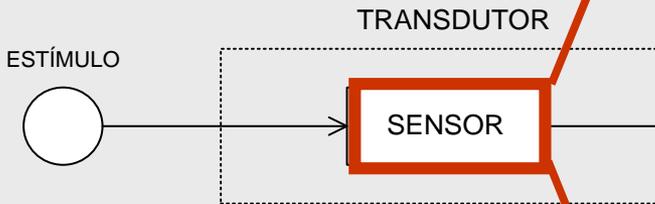


1.2.b) Configuração Típica



- Existe em todo e qualquer instrumento de medição
- Fornece uma saída que é função da grandeza do mensurando
- Para a maioria esta função é aproximadamente linear
- Exemplos: termômetro de mercúrio, termopar, *strain gauge*

1.2.b) Configuração Típica



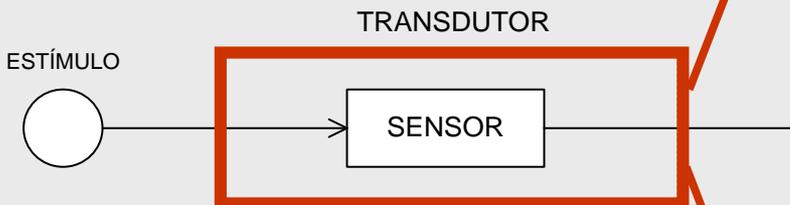
- Elemento de um instrumento ou cadeia de medição que é diretamente afetado pelo mensurando.
- Exemplos: junta de medição de um termômetro termoeletrico, rotor de uma turbina para medição de vazão, bóia de um instrumento para medição de nível

DR

DR

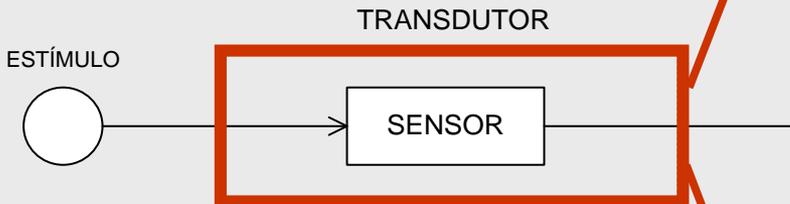
DR

1.2.b) Configuração Típica



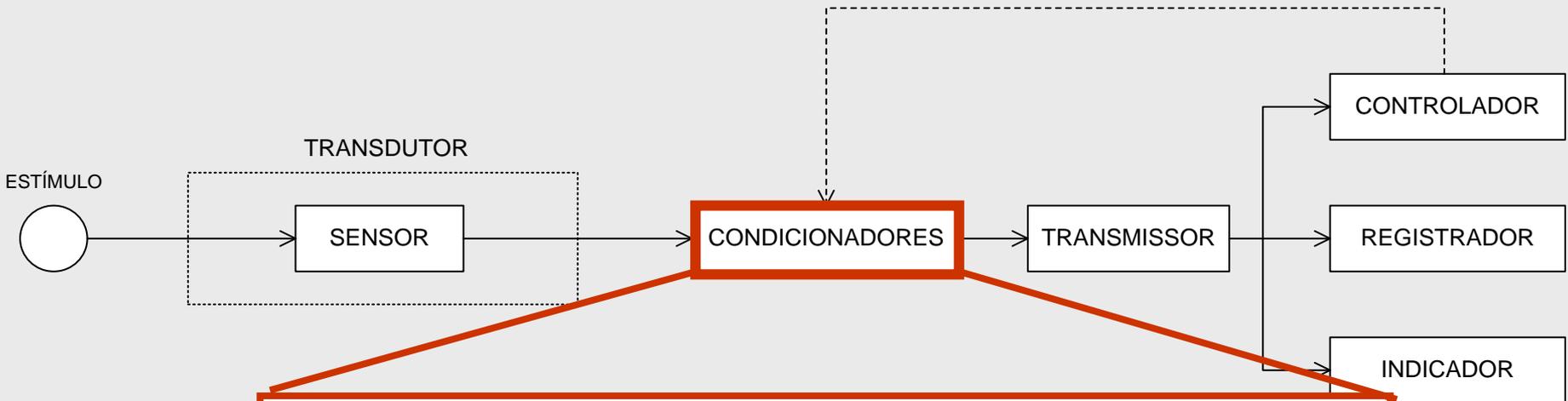
- Termômetro de mercúrio: além de ser o transdutor, é o próprio instrumento completo.
- Em geral, o transdutor é somente parte da cadeia de medição.
- Muitas vezes a saída do transdutor não apresenta uma forma conveniente, devendo ser convertida.

1.2.b) Configuração Típica



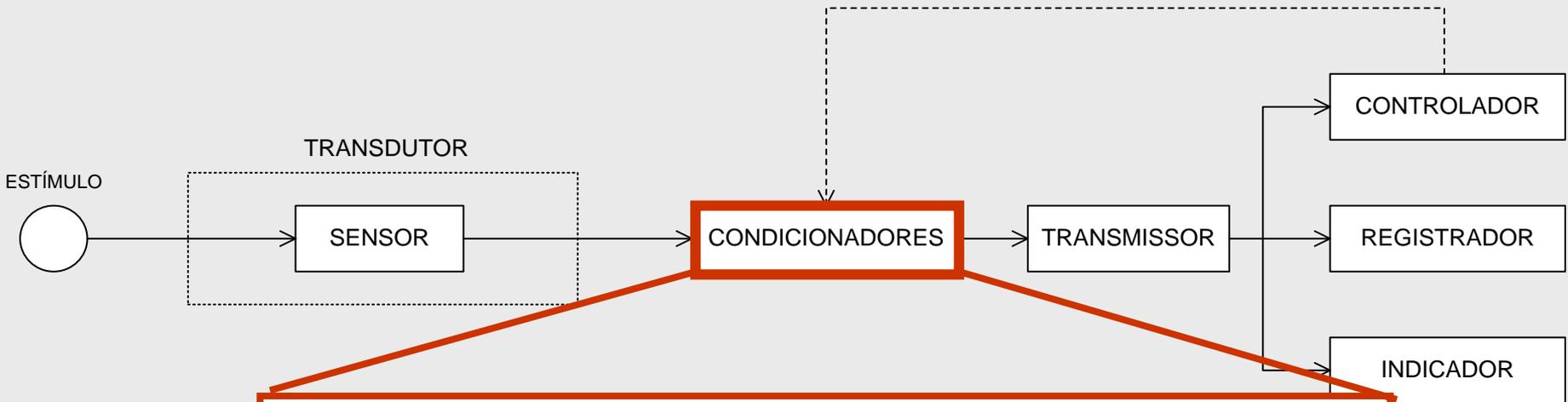
- Exemplo: *strain gauge* para medição de deformações
- Saída: variação de resistência.
- Circuito em ponte: Converte variação de resistência para variação de tensão.

1.2.b) Configuração Típica



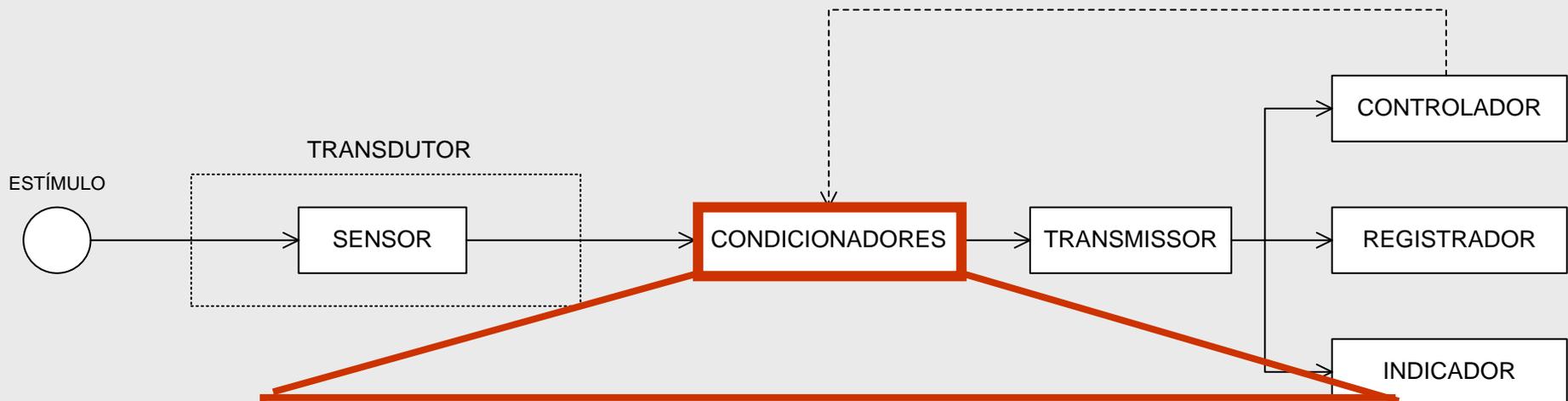
- Elementos de processamento de sinal
- Melhoram a sensibilidade e resolução da medida
- Melhoram a qualidade da resposta da cadeia de medição

1.2.b) Configuração Típica



- Exemplos:
 - Pontes
 - Amplificadores
 - Filtros para redução de ruído
 - Remoção de nível CC

1.2.b) Configuração Típica



- Ponte/Amplificador:
 - Particularmente importante quando o sensor tem nível de saída muito baixo
 - Exemplo: termopares apresentam saídas típicas de alguns milivolts

1.2.b) Configuração Típica

- Em alguns casos, o sinal de medição é utilizado em um local distante do transdutor
- É necessário algum mecanismo de transmissão.
- Meio físico + processo de transmissão

ESTÍ

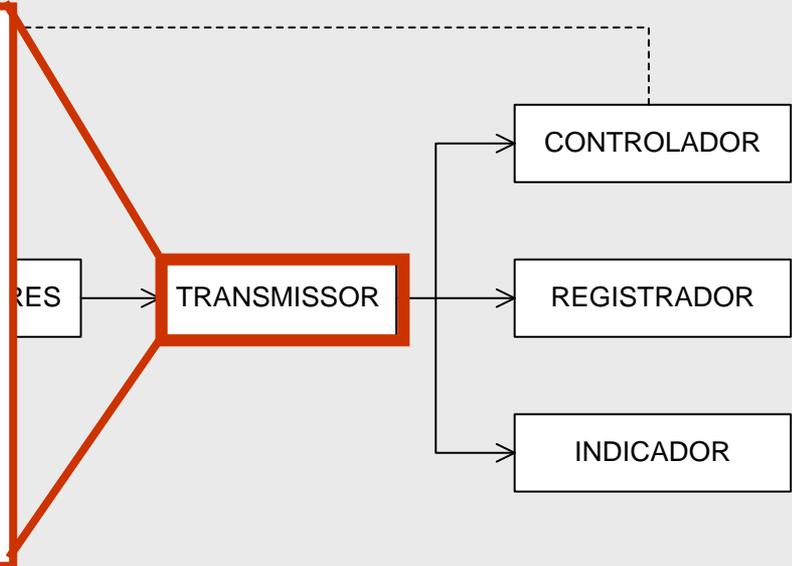
RES

TRANSMISSOR

CONTROLADOR

REGISTRADOR

INDICADOR



1.2.b) Configuração Típica

- Meio físico tradicional: cabo de uma ou múltiplas vias, blindado ou não.
- Atualmente: fibras ópticas - pequenas perdas e baixo nível de ruído (principalmente eletromagnético)

ESTÍ

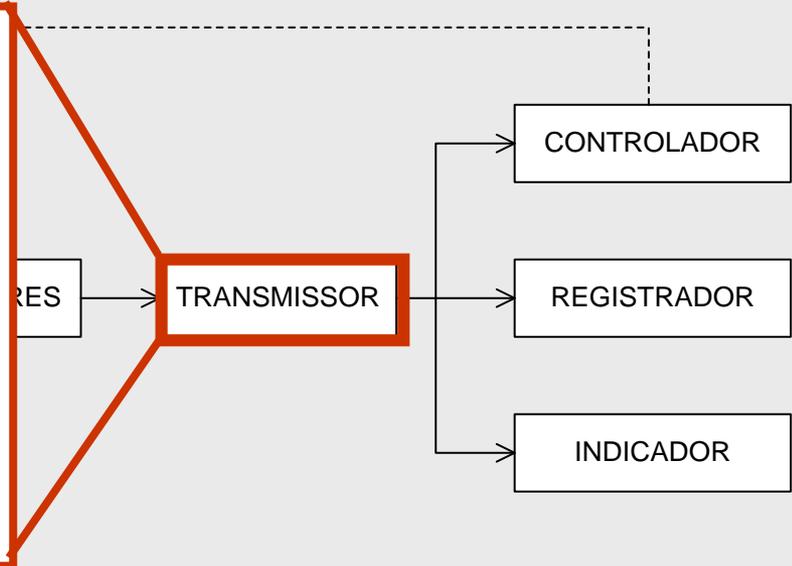
RES

TRANSMISSOR

CONTROLADOR

REGISTRADOR

INDICADOR



1.2.b) Configuração Típica

- Processo de transmissão:
Digital x Analógico

- Digital (Serial, Paralelo, etc)
- Analógico (AM, FM, etc)

ESTÍ

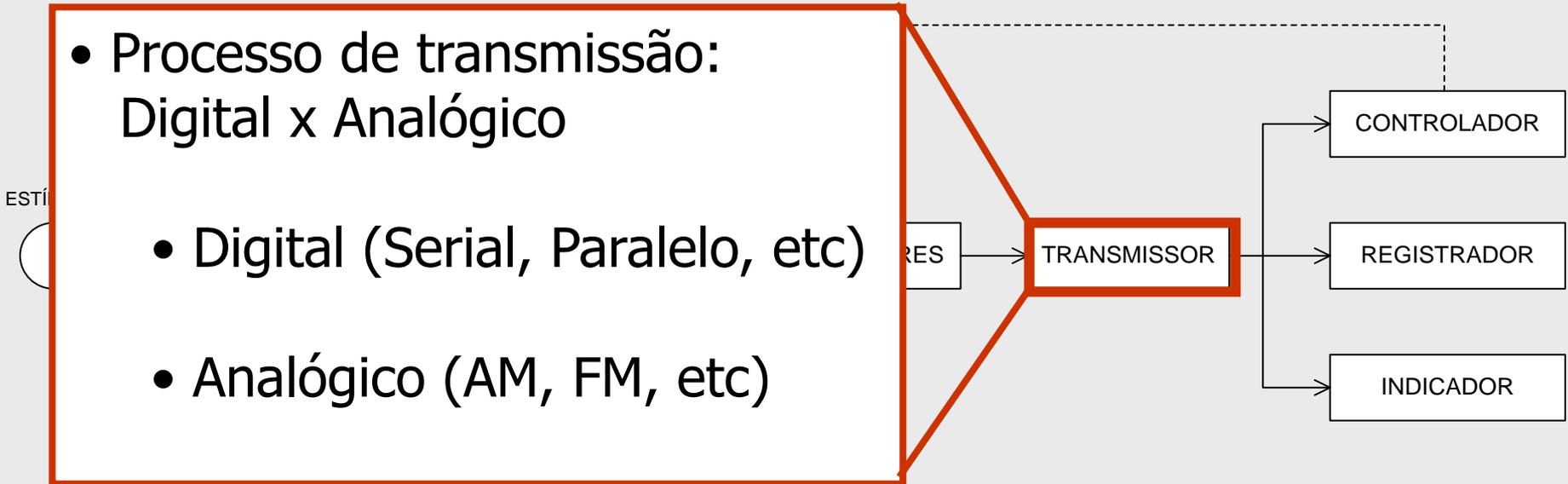
RES

TRANSMISSOR

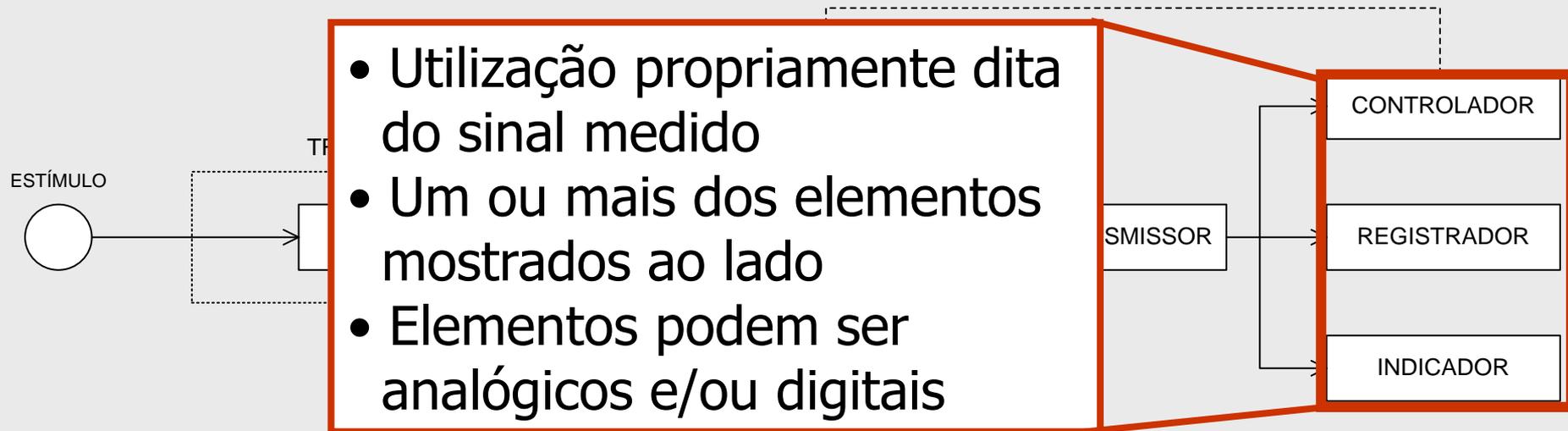
CONTROLADOR

REGISTRADOR

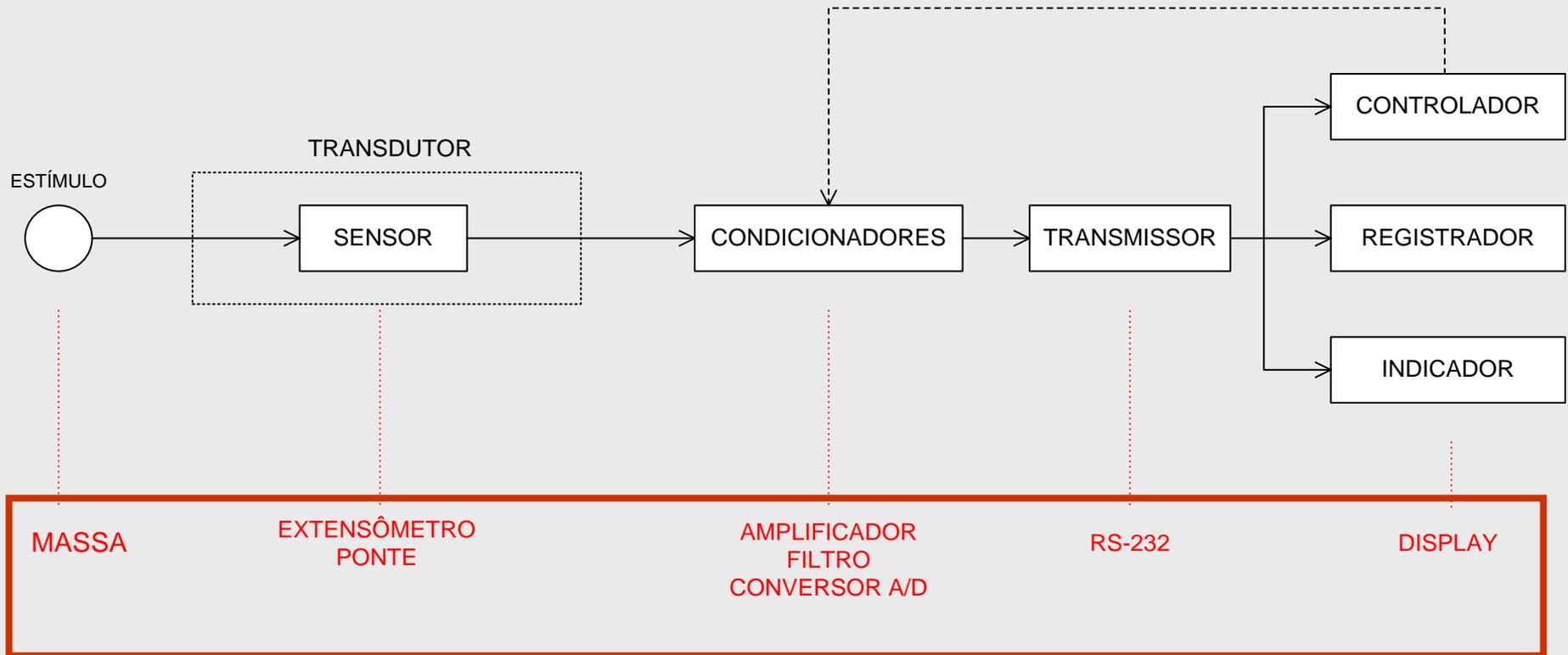
INDICADOR



1.2.b) Configuração Típica

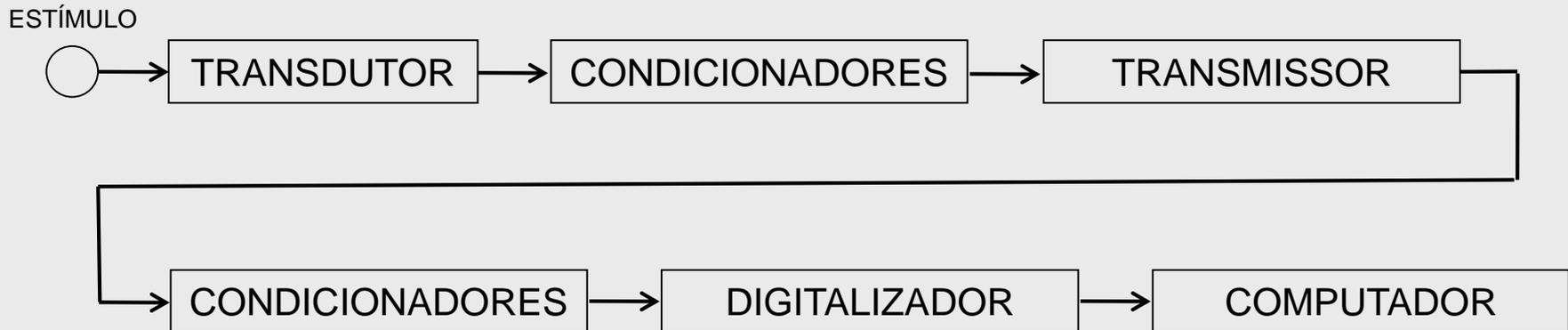


1.2.b) Configuração Típica

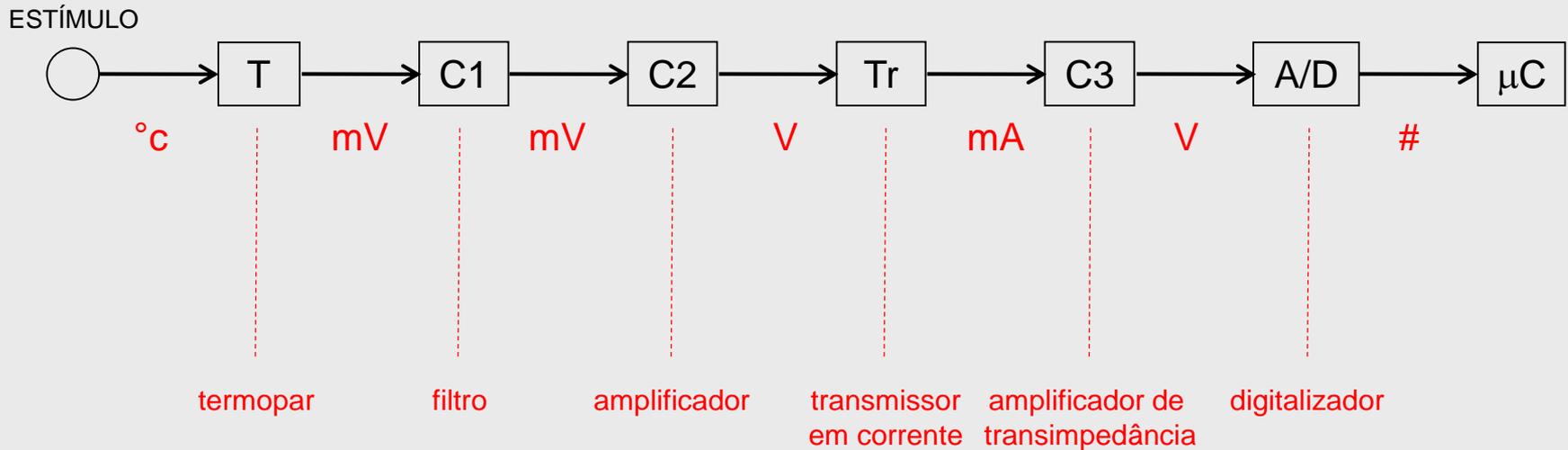


Ex: Balança eletrônica com leitura remota

1.2.c) Cadeia de Medição

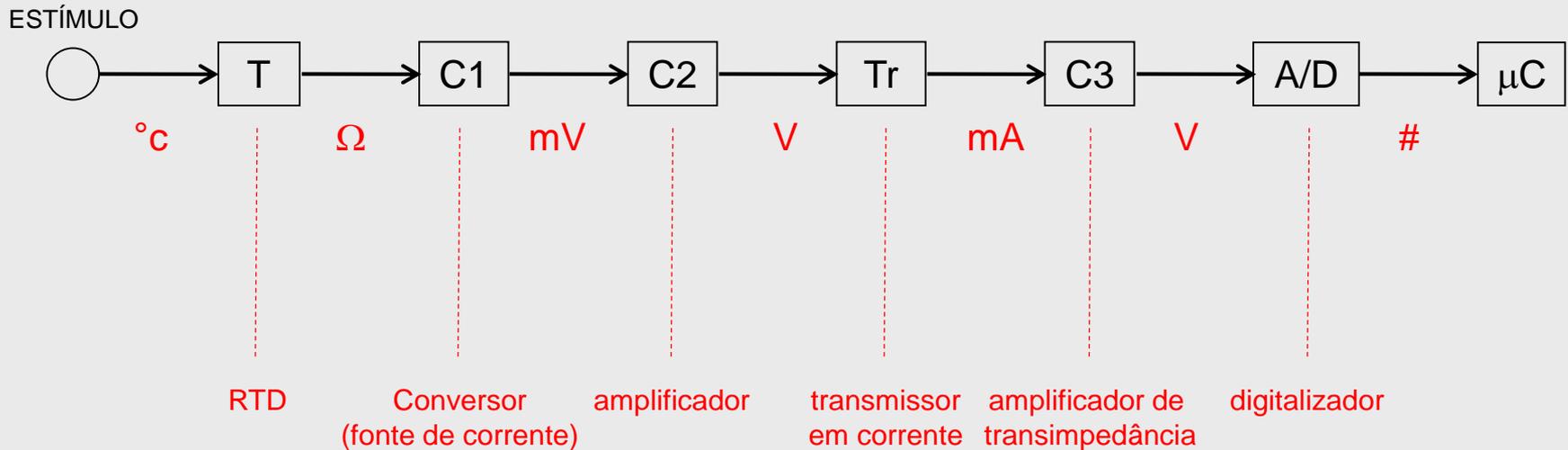


1.2.c) Cadeia de Medição



Exemplo: Medição de Temperatura com Termopar

1.2.c) Cadeia de Medição



Exemplo: Medição de Temperatura com Termistor/RTD