

# ES704 - Instrumentação Básica

Pedro Henrique Limeira da Cruz

March 15, 2023



# UNICAMP

Contents

1 Medição 3

1.1 Introdução . . . . . 3

1.2 Sistemas de Medição . . . . . 3

1.3 Calibração . . . . . 4

1.3.1 Calibração Estática . . . . . 4

1.3.2 Calibração Dinâmica . . . . . 5

# 1 Medição

## 1.1 Introdução

A principal importância de medições para sistemas mecâtrônicos é de regularizar a resposta da planta de forma autônoma e contínua, fazendo com que a saída real seja igual a desejada (chamada de *setpoint*), como mostrado no diagrama de blocos abaixo.

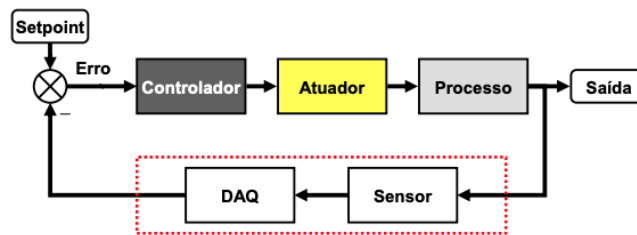


Figure 1: Exemplo de uma planta/processo, representado em diagrama de blocos

Antes de prosseguir, entretanto, é importante definir mais cuidadosamente alguns conceitos:

- **Medição:** Atribuir valor ou tendência à variável de interesse;
- **Variável:** Quantidade física a ser determinada, que pode ser dividida em:
  - Dependente/Independente:** Se depende ou não de outras variáveis;
  - Contínua/Discreta**
  - Controlada:** O valor pode ser mantido durante o experimento;
  - Externa:** Variável não-controlada, gera ruído e interferência;
- **Parâmetro:** Grupo funcional de variáveis.

## 1.2 Sistemas de Medição

Aprofundando mais nos sistemas de medição, temos a seguinte planta, que representa os diferentes estágios necessários para uma medição por sensores:

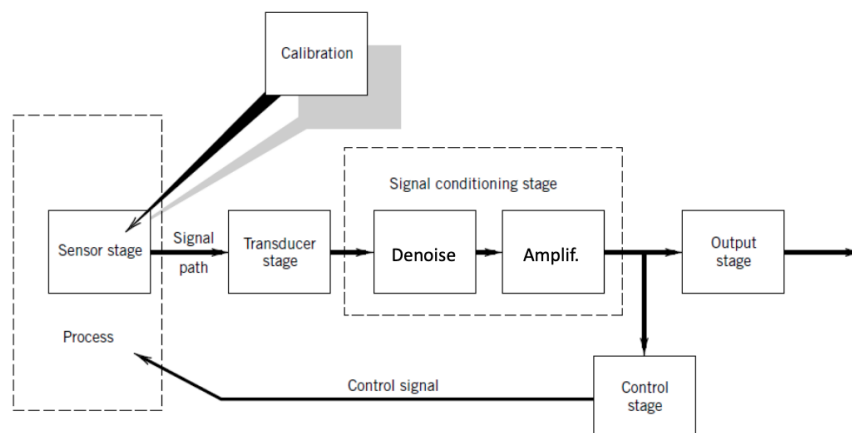


Figure 2: Sistema Geral de Medição - Diagrama de Blocos

A planta de medição possui:

- **Sinais:** Valores Transmitidos entre os estágios do sistema;

- **Sensor:** Converte o fenômeno físico em uma variável medida - Detecta mudança de quantidades físicas;
- **Transdutor:** Converte o sinal do sensor em uma saída mensurável (elétrica, mec, ...) - Transforma uma forma de Energia em Outra;
- **Condicionamento de Sinais:** Amplificação, Filtragem, ...
- **Saída:** Indica ou armazena a variável medida;
- **Controle:** Retifica o sistema para minimizar o erro de medição.

### 1.3 Calibração

Podemos verificar no diagrama anterior que há a necessidade da calibração do sensor, *i.e.*, determinar matematicamente a relação entrada-saída do sistema. Para tal, é necessário aplicar excitações de entrada conhecidas, aferidas com um **padrão** ou instrumento de referência, e medirmos a saída, para podermos gerar um modelo matemático, relacionando entrada-saída.

A calibração pode ser:

- Estática
- Dinâmica

#### 1.3.1 Calibração Estática

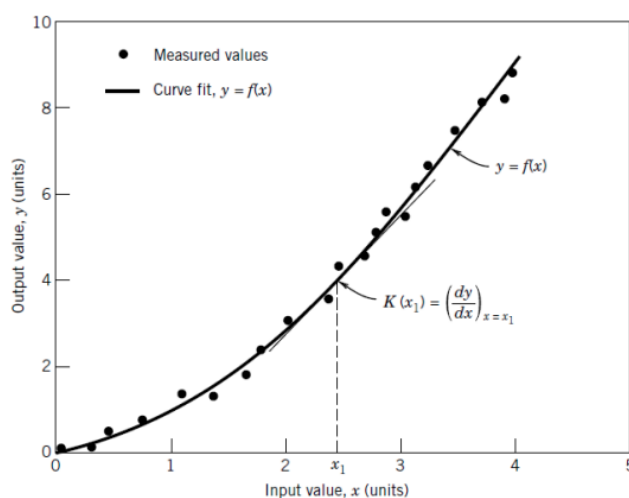


Figure 3: Exemplo de Curve Fit

A calibração estática é a mais simples, pois se aplica uma entrada conhecida, espera-se o sistema convergir (a extinção da parte transiente do sinal) e então mede a sua resposta. Ao final, teremos uma série de pontos e função de entradas definidas ( $y = f(x)$ ), e ao final podemos usar diferentes métodos de *curve-fitting* para modelarmos o comportamento do sistema (como exemplificado pela imagem acima), ou ainda interpolar para valores de entradas novos.

Uma medida extremamente importante para a calibração estática é a *sensibilidade estática*, também chamada de *ganho*, que caracteriza a relação de amplitude entre a entrada e a saída, dada por:

$$K = \left. \frac{df(x)}{dx} \right|_{x=x_0} \quad (1)$$

Além disso, definimos também o *range* do sensor como sendo o intervalo no qual a curva de calibração é válida. Fora deste intervalo a resposta é **extrapolada**.

$$r_i = x_{max} - x_{min} \quad (2)$$

$$r_o = y_{max} - y_{min} \quad (3)$$

Por fim, temos ainda que definir a **resolução** do sensor, *i.e* o menor incremento que pode ser detectado pelo sistema de medição e definir o **Limiear** (também chamado de **Threshold**) do sensor, que é o valor mínimo de estímulo necessário para que o sistema gere incremento em sua resposta.

### 1.3.2 Calibração Dinâmica

Diferente da calibração estática, a calibração dinâmica visa entender e modelar a resposta transiente do sistema ao estímulo externo. Algo importante de apontar é que a resposta segue o mesmo formato de onda da entrada, então se a entrada for um degrau, a saída também será um degrau, mas pode sofrer certas alterações (delay da mudança, ganho, ...) e essa deformação também é necessária e interessante de ser estudada, e para tal a ferramenta mais útil é a resposta em frequência e *bode plots*.

**Resposta em Frequência:** A principal ferramenta que usamos para analisar a resposta em frequência (além das transformadas de Laplace durante a modelagem do sistema) é o *Bode Plot*, que nada mais é que dois gráficos, um que relaciona o ganho (em *dB*) e outro o *phase-shift* da saída em função da frequência de entrada, como mostra a imagem abaixo:

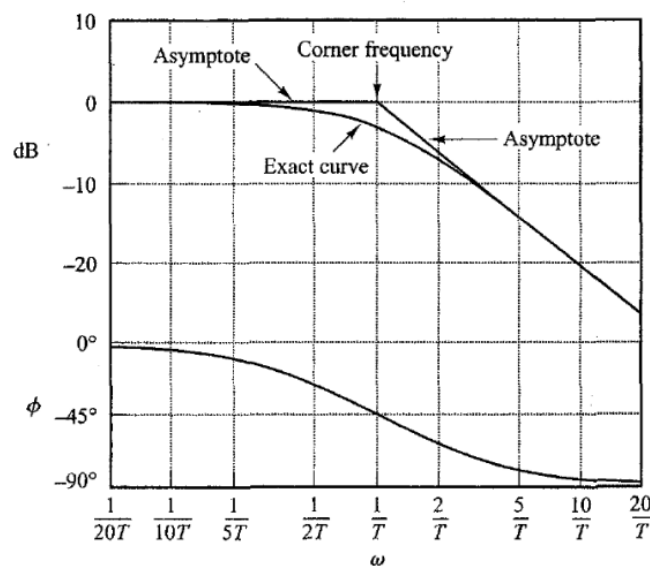


Figure 4: Bode Plot - Resposta em Frequência

Do qual tiramos conceitos importantes:

- **Banda de Transmissão:** Faixa de frequência na qual o ganho é basicamente unitário e não há defasagem de sinal.
- **Banda de Filtragem:** Faixa na qual há um grande atenuamento.
- **Bandwidth:** Faixa na qual o ganho é até 3 *dB* abaixo do valor máximo de ganho.