

SEM 536 - Sistemas de Controle I

Aula 1 - Introdução

Adriano A. G. Siqueira

Universidade de São Paulo

O que é controle?

Dicionário Houaiss:

- Controle: ... 3. Dispositivo ou mecanismo destinado a **comandar** ou **regular** o funcionamento de máquina, aparelho ou instrumento.
- Controlar: exercer **ação** restritiva sobre, conter, **regular**, dominar, **comandar**.

Controlar é fazer com que uma **variável** do **sistema** assuma um valor desejado (**referência**, comando) por meio de uma **ação** no sistema

O que é controle?

Sistema: conjunto de elementos que atuam entre si com a finalidade de atingir um objetivo (**planta** ou **processo**)

Ex.: automóvel, econômico, robô, químico.

Variável: indica o comportamento do sistema ao longo do tempo

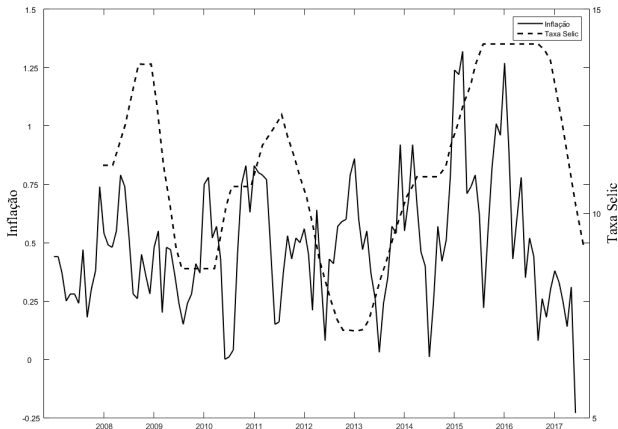
Ex.: velocidade, inflação, posição/força, composição.

Ação (de controle): meio de se alterar o comportamento do sistema

Ex.: ângulo do acelerador, taxa de juros, tensão nos motores, abertura da válvula.

O que é controle?

Sistema econômico



O que é controle?

Controle manual: homem + máquina

Ex.: dirigir um automóvel.

Controle automático: apenas máquina

Ex.: piloto automático.

O que é controle?

Realimentação: leitura da variável controlada e utilização desta informação para alterar seu valor

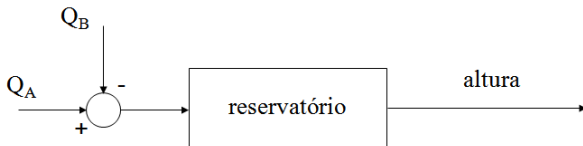
Ex.: visão ao dirigir um automóvel.

Malha Aberta: sistema sem realimentação.

Malha Fechada: sistema realimentado.

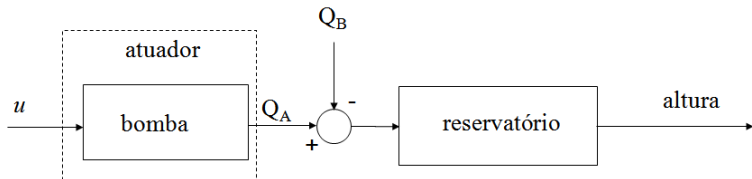
Controle de Nível de um Reservatório

- Planta: reservatório de água
- Variável controlada (saída): altura do nível de água
- Entrada: vazão na bomba de reposição da água (Q_A)
- Distúrbio: vazão na bomba de retirada de água (Q_B)



Controle de Nível de um Reservatório

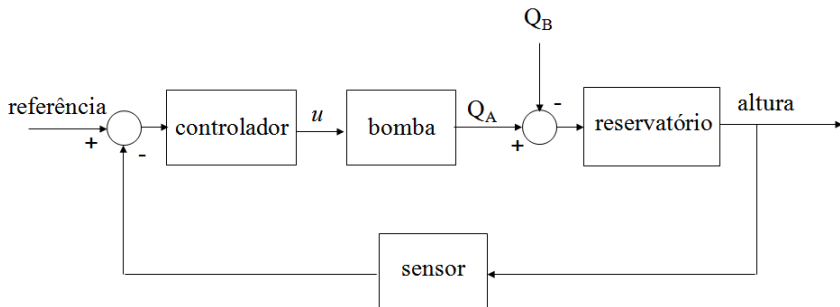
- Atuador: bomba
- u (ação de controle): tensão aplicada na bomba



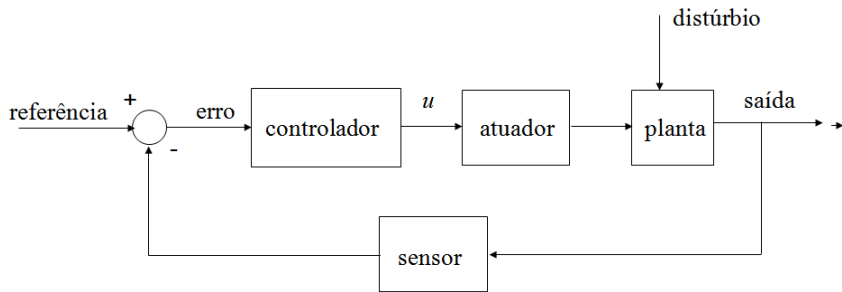
Exemplo

Controle de Nível de um Reservatório

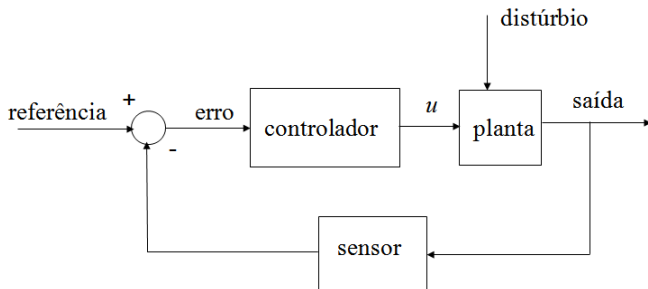
- Sensor: sensor de pressão (altura/pressão $\rightarrow$ tensão)
- Referência: altura desejada
- Controlador: gera a ação de controle



Estrutura básica de um sistema realimentado



Estrutura básica de um sistema realimentado



Malha Aberta X Malha Fechada

Feedforward (Malha Aberta) X *Feedback* (Malha Fechada)

Harold Stephen Black (1898 – 1983)

1927 – Bell Labs – Amplificador Realimentado



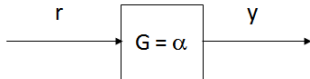
Malha Aberta X Malha Fechada

Problema de Telecomunicação: amplificar o sinal

Entrada: r

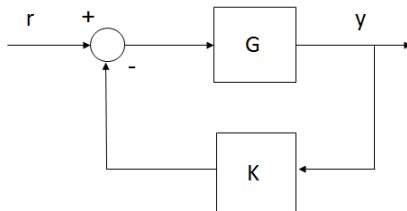
Saída desejada: $y = \alpha r$

Solução inicial: amplificador eletrônico com ganho $G = \alpha$



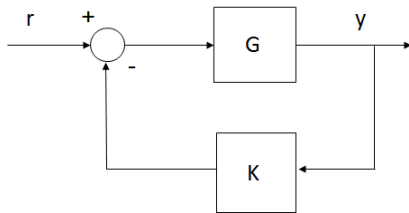
Malha Aberta X Malha Fechada

Solução do Black: amplificador realimentado com ganhos G e K



Malha Aberta X Malha Fechada

Solução do Black: amplificador realimentado com ganhos G e K

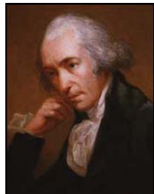
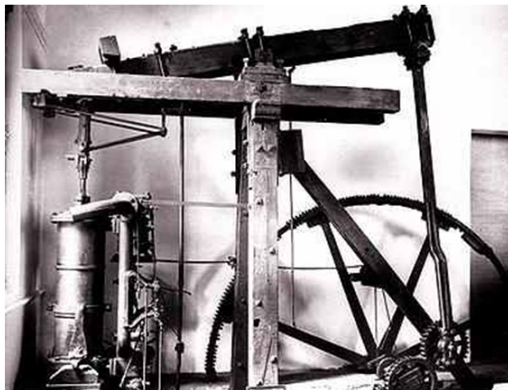


Saída: $y = \frac{G}{1+GK} r$

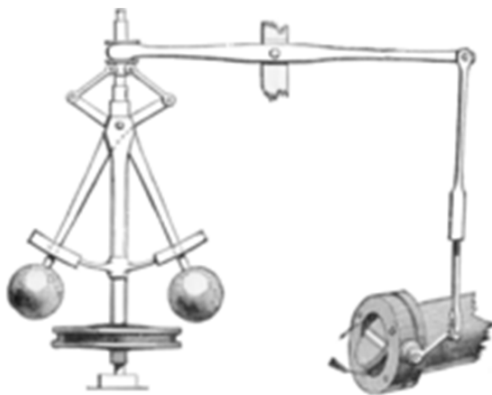
Se $K = \frac{1}{\alpha}$ e $|GK| \gg 1$ (e portanto, $|G| \gg \alpha$) $\Rightarrow y \approx \frac{1}{K} = \alpha r$

James Watt (1736 – 1819)

1788: Controle de velocidade de um motor a vapor



Controlador centrífugo (*fly-ball*)



James Clerk Maxwell (1831 – 1879)

- Primeiro estudo sistemático do controlador centrífugo de Watt
- Artigo: *On Governors* (1868)
- Estabilidade depende das raízes de uma equação característica do sistema
- Raízes devem ter parte real negativa



E. J. Routh (1831 – 1907)

- Adams Prize of 1877
- Critério de Estabilidade de Routh



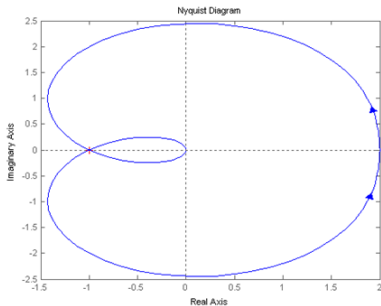
A. M. Lyapunov (1857 – 1917)

- Estabilidade de sistemas não lineares (1890)
- Aplicação apenas após 1958



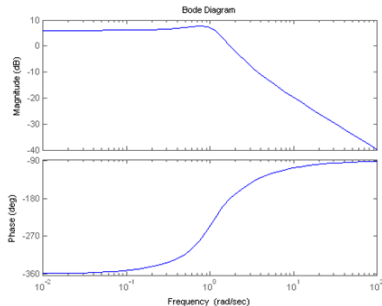
H. Nyquist (1889 – 1976)

- Amplificadores eletrônicos
- Bell Telephone Laboratories
- 1923: Critério de Estabilidade de Nyquist



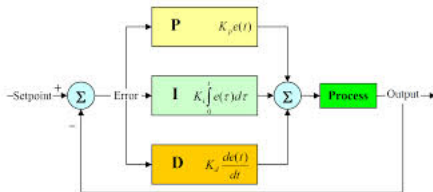
Hendrik W. Bode (1905 – 1982)

- 1938: Resposta em frequência
- Gráficos de Bode
- Margens de estabilidade



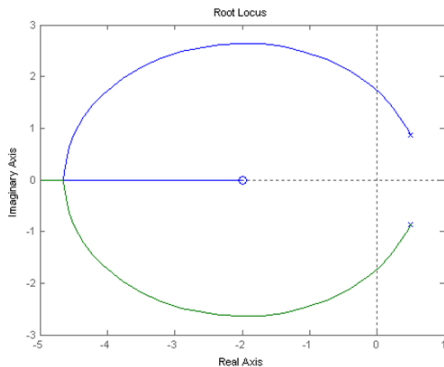
Challender, A., Hartree, DR. and Porter, A. (1936) Time lag in a control system, Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A mathematical and Physical Sciences, 235, pp. 415–444.

- Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)
- Trabalho experimental
- 1942: Método de Ziegler-Nichols



Walter R. Evans (1920 – 1999)

- 1948: Lugar da raízes



L. S. Pontryagin (1908 – 1988)

- 1956: Princípio do Mínimo



R. Bellman

- 1958: Programação Dinâmica
- Problema do caixeiro viajante

Rudolf E. Kalman (1930 – 2016)

- 1960: Controlador e Estimador Ótimos



Uso de computadores (Controle Digital)
Espaço de estados (Controle Moderno)
Corrida Espacial

George Zames (1934 – 1997)

- 1966: Teorema do ganho pequeno
- 1980: Controle Robusto – H_∞

