

-
-
-
-
-

IF-705 – Automação Inteligente

Sistemas de Controle - Fundamentos

Aluizio Fausto Ribeiro Araújo
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática - CIn
Departamento de Sistemas da Computação
aluizioa@cin.ufpe.br



Sumário

- Introdução
- Histórico de Controle Automático
- Exemplo de Uso de *Feedback*
- Prática de Engenharia de Controle
- Exemplos de Sistemas de Controle
- Resumo de Abordagens de Sistemas de Controle
- Futuro dos Sistemas de Controle
- Projetos de Engenharia
- Modelagem de Sistemas de Controle
- Mais Exemplos



Introdução

- A engenharia está interessada no entendimento e no controle de materiais e fenômenos da natureza.
- A Engenharia de Sistema de Controle foca em segmentos desses ambientes, chamados de SISTEMAS.
- O grande desafio da Engenharia de Controle é modelar (descrever) e controlar Sistemas modernos com alto grau de complexidade e inter-relação, tais como:
 - Sistemas de tráfego;
 - Processos químicos;
 - Sistemas robóticos



Introdução

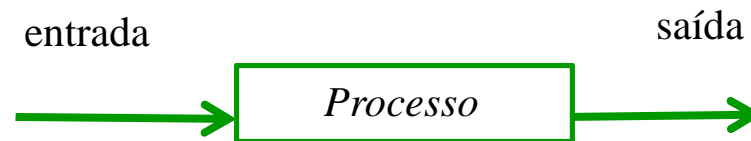
- Engenharia de Controle baseia-se em duas fundamentações:
 - Teoria de realimentação (*feedback*)
 - Análise de Sistemas Lineares
- Esses dois temas são integrados com conceitos de Teoria de Redes e de Comunicação.
- Engenharia de Controle é muito ampla, e pode ser utilizada em diversas áreas, tais como:
 - Na Engenharia: Ambiental, Aeronáutica, Biomédica, Civil, Elétrica, Mecânica, Naval, Química.
 - Em outras áreas: Biologia, Economia, etc.

Introdução

- Um SISTEMA de CONTROLE é um conjunto de componentes, interconectados, que gera uma configuração capaz de prover uma resposta desejada pelo Sistema.
- Assume-se que existe uma relação *linear* de CAUSA-EFEITO para componentes do Sistema que é linear.
- Sistema composto por:
 - Componente que deve ser controlada: Processo ou Planta;
 - Componente que determina o controle: Controlador;
 - Componente que realiza o controle: Atuador;
 - Componente que monitora o sistema: Realimentador.

Introdução

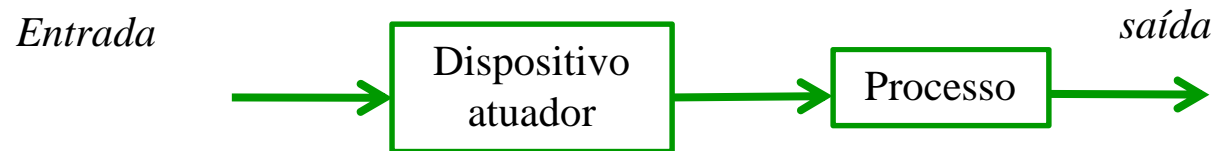
- Os Sistemas de Controle são representados graficamente por blocos.
- O bloco de uma componente é sintetizado por um sinal de entrada, que é modificado, resultando em um sinal de saída.



- A relação entre entrada e saída (*input-output*) para a componente do Sistema, é assumida como relação de *causa-efeito*.

Introdução

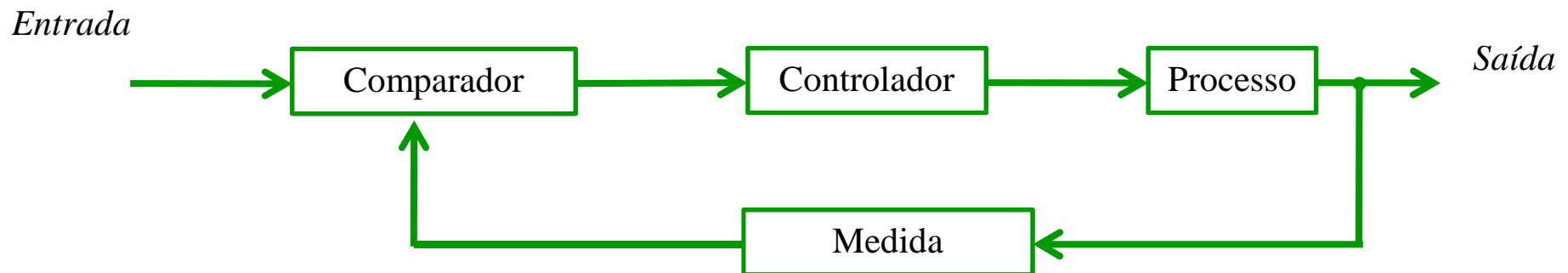
- Sistema de Controle de Malha Aberta (*opened-loop control system*) utiliza um controlador (e/ou atuador de controle) para obter a resposta desejada.



- Neste Sistema de Controle, o controle ocorre diretamente, sem a utilização de realimentação (*feedback*).
- A entrada expressa um valor desejado para a saída do processo.

Introdução

- Sistema de Controle de Malha Fechada (*closed-loop control system*) utiliza uma medida da atual resposta do Sistema para o seu controle.



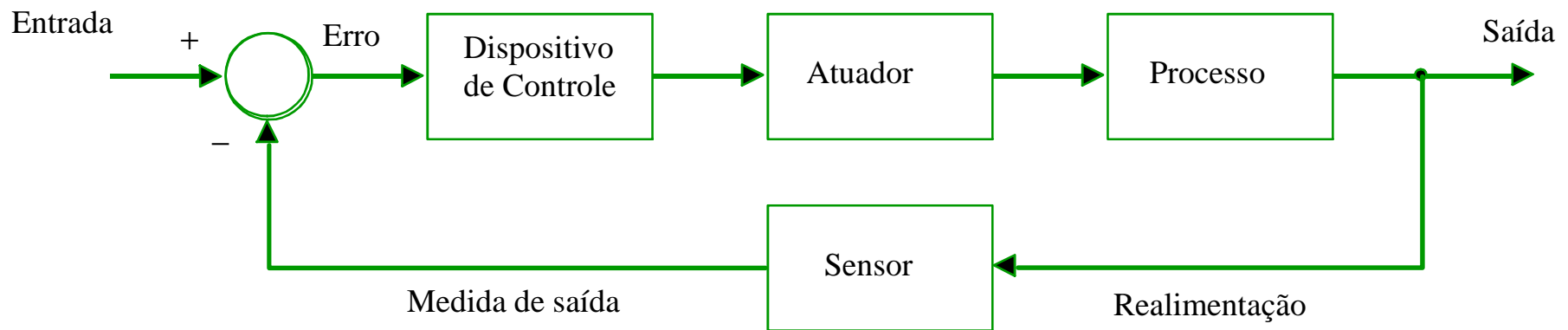
- Este é um esquema de um sistema SISO (*single input single output*) com realimentação de saída.

Introdução

- Processo ou Planta: Representa a parte do sistema cujo comportamento se quer controlar;
- Medidas de realimentação: Saída do processo que é convertida para a dimensão da entrada e realimenta o Comparador.
- Comparador: Compara o comportamento do sistema representado por todas as medidas naquele instante, com uma configuração de referência, a saída desejada;
- Saída desejada : Valor desejado para o sistema, representado pela entrada em seus terminais.
- Controlador: Atua como “guia”, calcula as modificações que devem ser realizadas para levar o sistema ao comportamento desejado. O sinal que especifica tais modificações devem ser enviadas à planta.

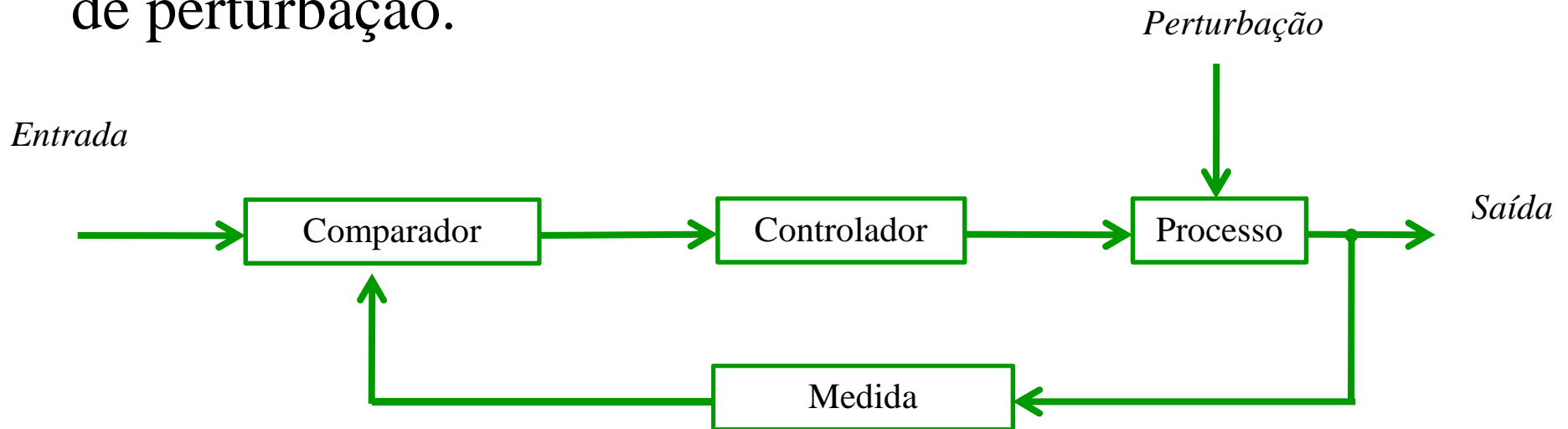
Introdução

- Diagrama de Blocos de um Sistema de Controle de Malha Fechada (*closed-loop control system*):



Introdução

- Em um caso mais real, deve-se adicionar uma componente de perturbação.



- Perturbação é um sinal atípico. Pode ser adicionado à saída do controlador, como na figura, ou adicionado à saída do processo, antes de realimentar o sistema.

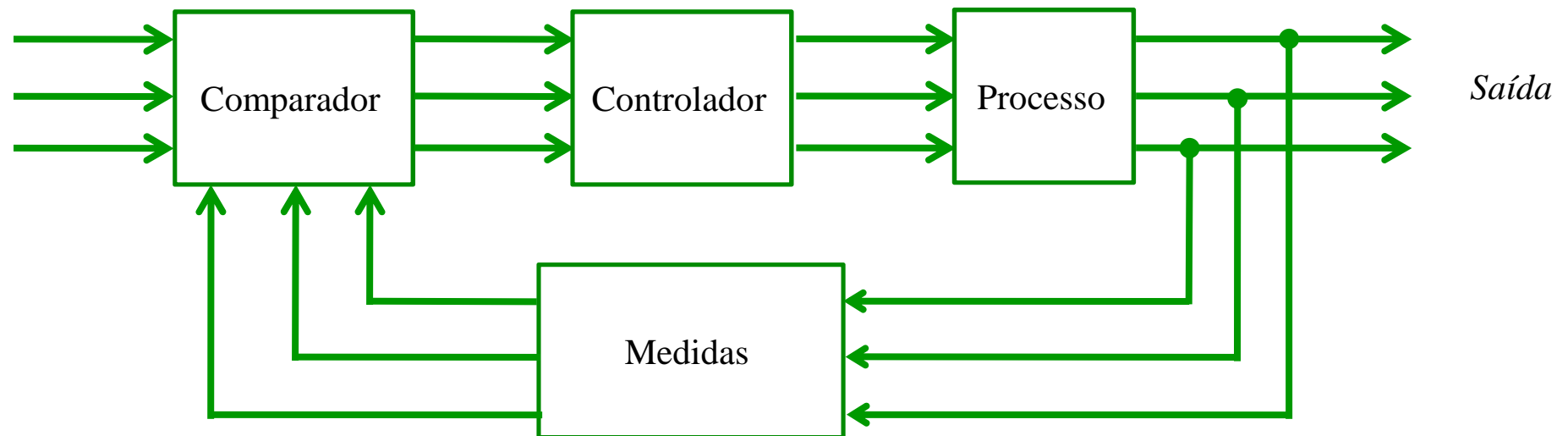
Introdução

- Exemplo 1: temperatura do forno de um fogão elétrico
 - Sistema de malha fechada;
 - Objetivo: Manter a temperatura do forno do fogão no valor ajustado para uma temperatura de referência;
 - Um sensor mede a temperatura atual, e retorna para o comparador, que, indica uma ação de: ligar o aquecimento ou de desligar o aquecimento;
 - Abrir o forno pode ser considerado uma perturbação.
- Exemplo 2: máquina de lavar roupas
 - Sistema de malha aberta;
 - Após a escolha do tipo de lavagem, a máquina realiza uma seqüência definida de operações que irão resultar na lavagem;
 - Cada tipo de lavagem tem uma seqüência de operações pré-definidas.

Introdução

- Sistemas de Controle mais complexos podem controlar diversas variáveis.
- Sistema MIMO (*multiple input multiple output*)

Entrada

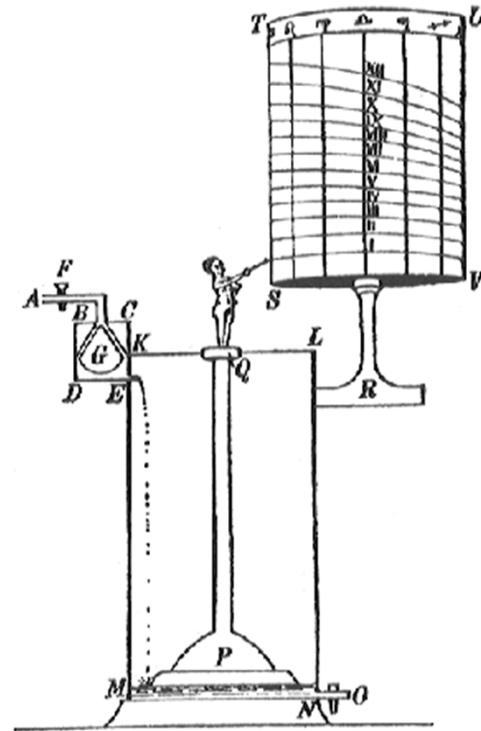


Introdução

- Exemplo 3: avião comercial
 - Sistema *MIMO*;
 - Objetivos:
 - manter cabine pressurizada;
 - piloto automático;
 - temperatura interna;
 - etc;
 - Diversos sensores diferentes para avaliar a tomar diferentes ações;

Histórico de Controle Automático

- Primeira aplicação de Controle com realimentação data do século III a.C.
 - Relógio de água de Ktesibios;
 - Regulado por uma bóia.

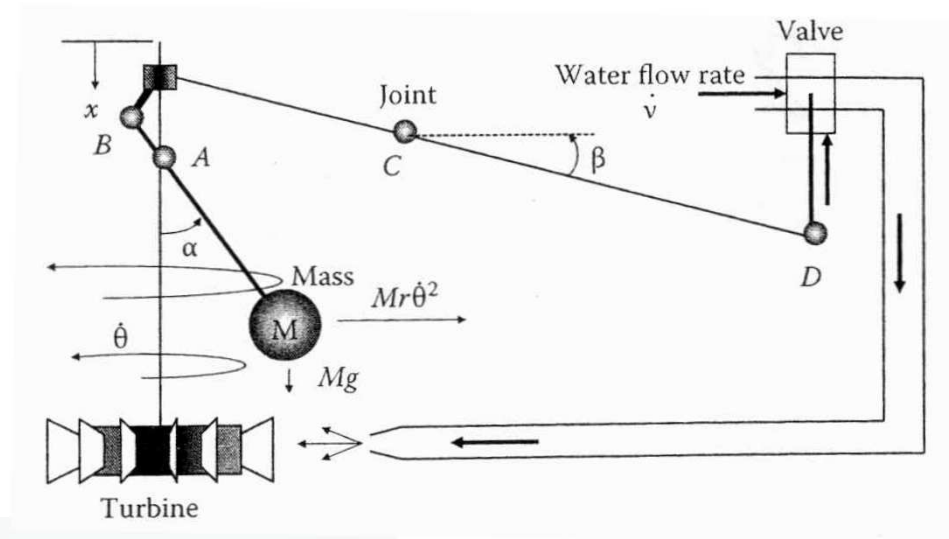
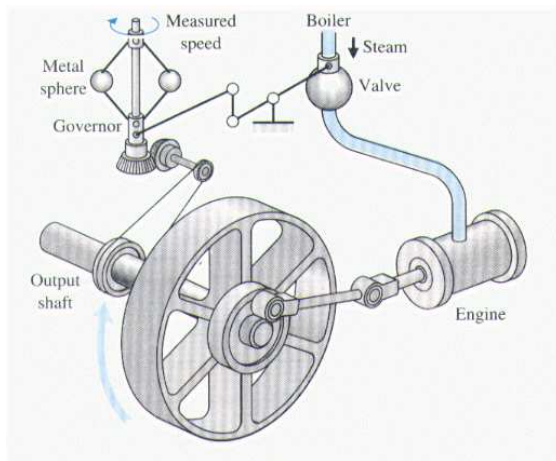


Histórico de Controle Automático

- No século I D.C., Heron de Alexandria publicou o livro “Pneumática”, que mostrava vários mecanismos de níveis de água que utilizavam reguladores flutuadores;
- Primeiro regulador de temperatura foi desenvolvido no século VXII por Cornelis Drebbel;
- Pouco depois o primeiro regulador de pressão de caldeiras a vapor foi criado por Dennis Papin;

Histórico de Controle Automático

- O primeiro controlador automático com *feedback*, utilizado em processos industriais, foi o *flyball governor*, criado por James Watts em 1769;
 - controla a velocidade de uma máquina a vapor



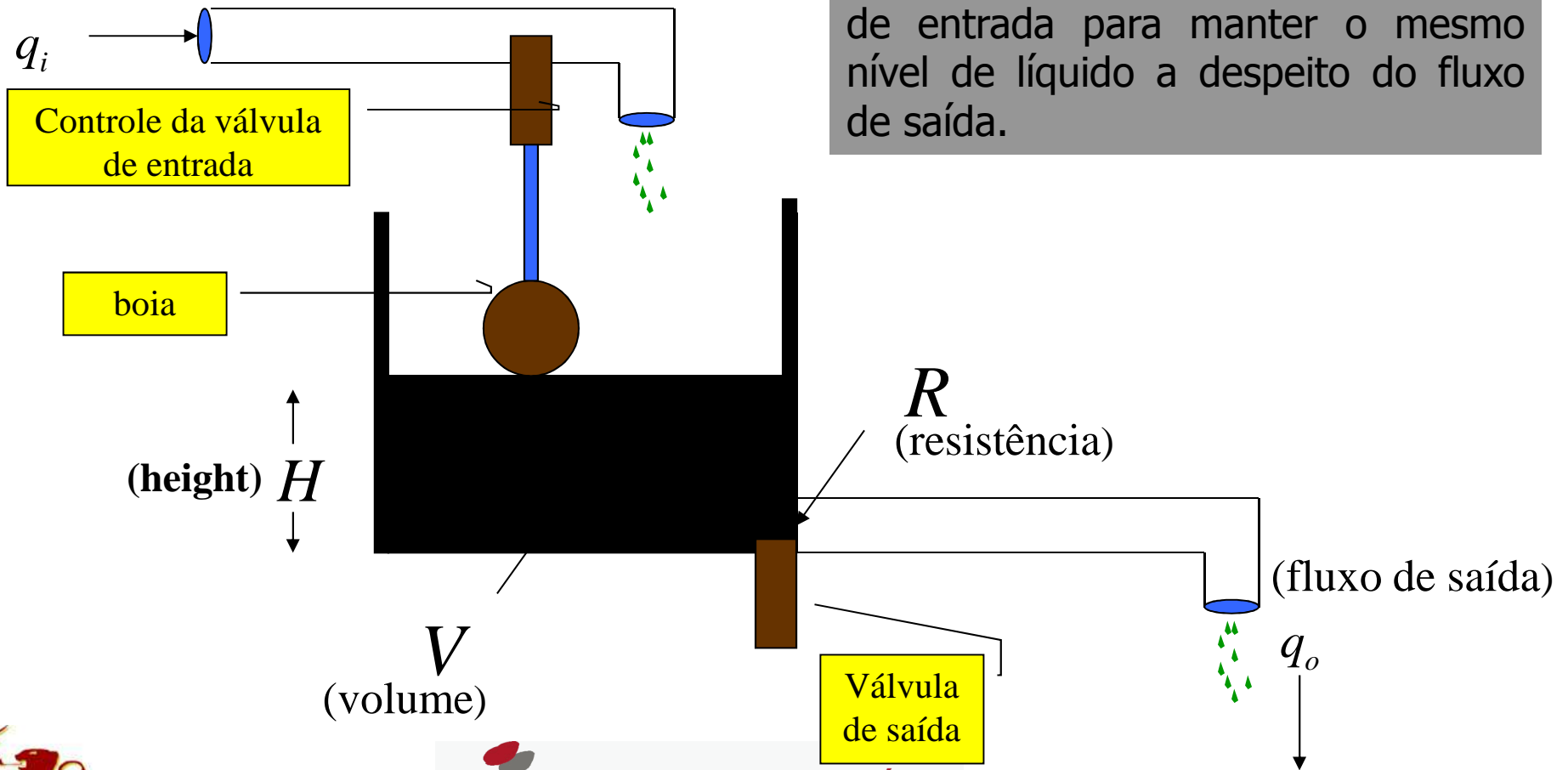
Histórico de Controle Automático

- Em 1868 J. C. Maxwell formulou uma teoria consistente para explicar o controle automático de sistemas baseando-se em modelos de equações diferenciais
- Durante a 2ª Guerra mundial, os EUA desenvolveram os sistemas de telefonia e amplificadores eletrônicos de realimentação em termos de largura de banda e variáveis de frequência, nos laboratórios da Bell.
- Transformadas de Laplace e notação complexa passaram a ser utilizadas na descrição dos Sistemas de Controle;

Exemplo de uso de Realimentação

Sistema de Nível de Líquido

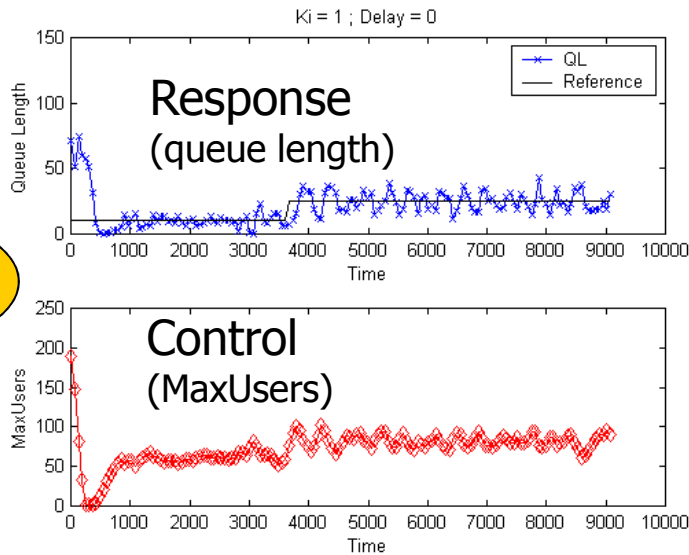
Fluxo de entrada



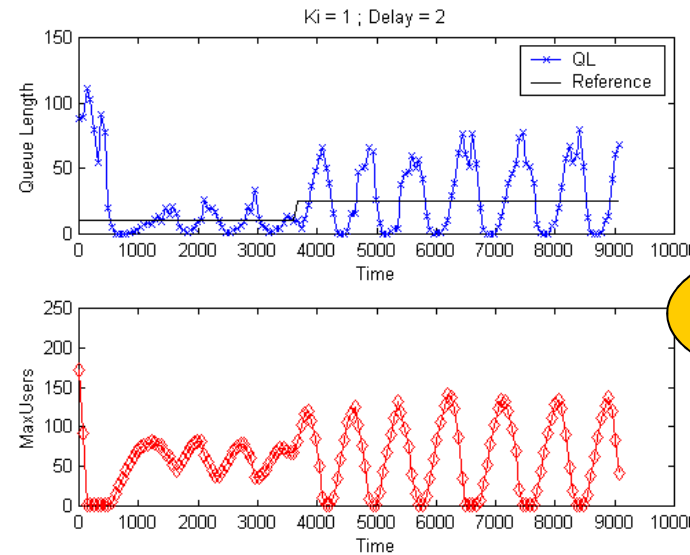
Meta: projetar o controle da válvula de entrada para manter o mesmo nível de líquido a despeito do fluxo de saída.

Exemplo de uso de Realimentação Controle e Resposta de Servidora de Email

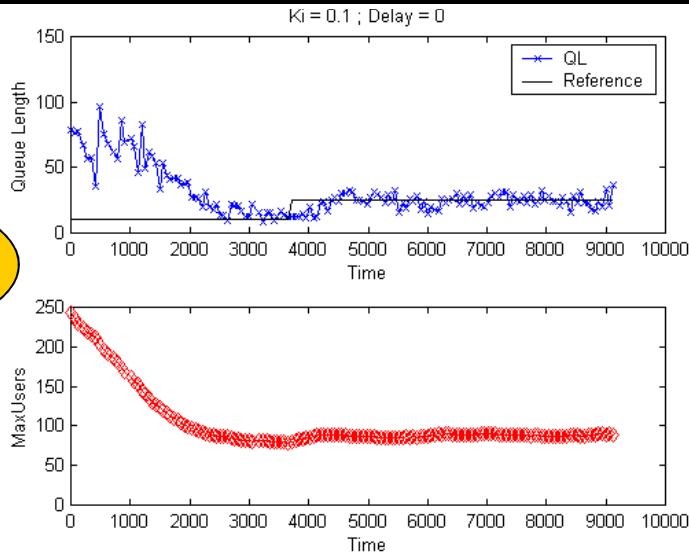
Good



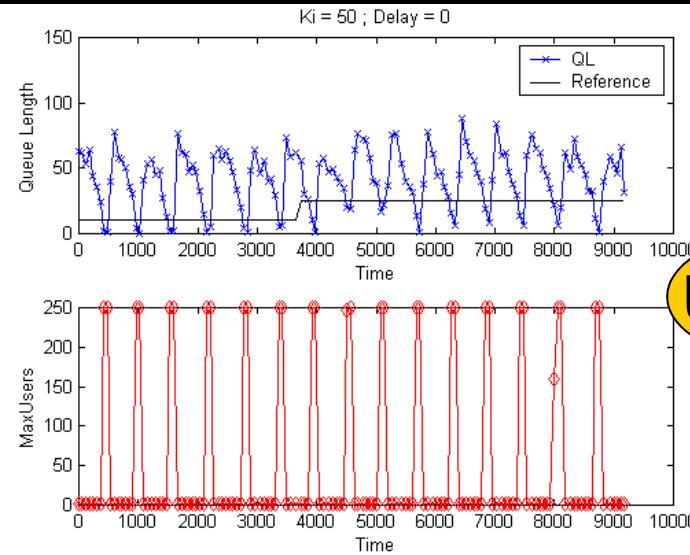
Bad



Slow



Useless



Prática de Engenharia de Controle

- A Teoria de Controle Moderno se interessa por Sistemas que tenham auto-organização, adaptabilidade, robustez, aprendizagem e otimização de qualidades.
- Por automação, entende-se qualquer processo industrial executado de forma automática ao invés de forma manual.
- Algumas das principais indústrias que empregam automação:
 - Química, de energia elétrica, de papel, automobilística e siderúrgica;

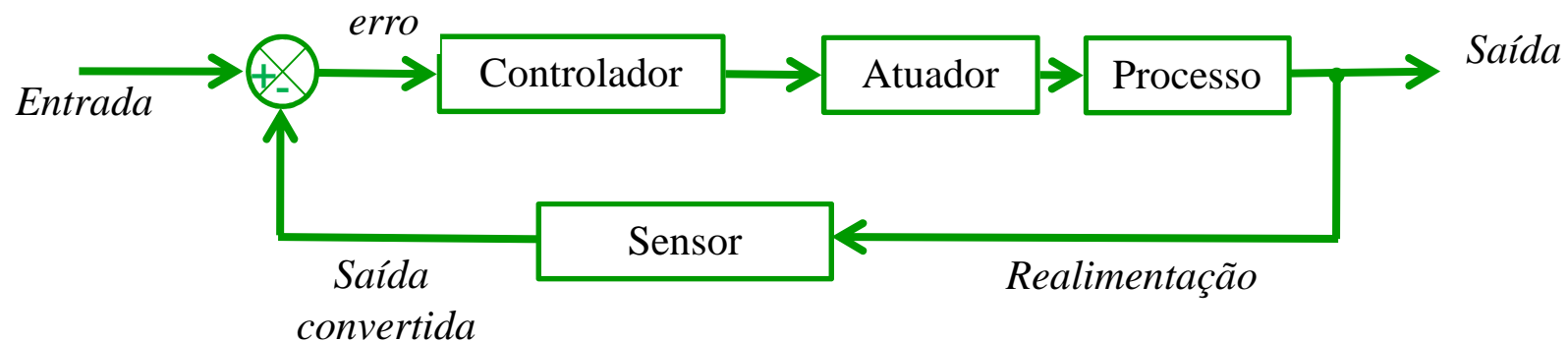


Prática de Engenharia de Controle

- A Produtividade é definida como a quantidade produzida por intervalo de tempo trabalhado;
- A automação nas indústrias tem como principais objetivos:
 - o aumento da produtividade;
 - a aumento da qualidade do produtos através do aumento da precisão na produção.

Exemplos de Sistemas de Controle Moderno

- Refrigerador: possui um termostato que mede a temperatura e calcula erro com respeito a uma temperatura de referência. O compressor do motor é acionado para regular a temperatura.



Exemplos de Sistemas de Controle Moderno

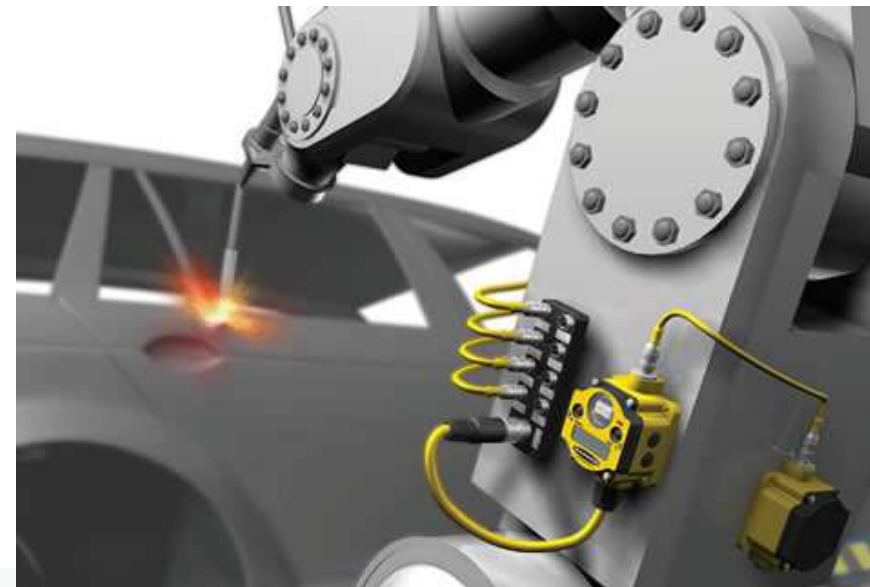
- Robôs são máquinas controladas por computador que possuem alta tecnologia e estão associadas em geral, com automação.
- Robôs podem ter características que lembram as humanas, como por exemplo, um manipulador que lembra um braço com uma mão.
- Dessa forma, eles podem substituir o trabalho humano em determinadas situações.

Exemplos de Sistemas de Controle Moderno



Braço robô escrevendo

Braço robô soldando um veículo



Abordagens de Sistemas de Controle

- A teoria de controle para análise e projeto:
 - Lida com resposta transitória;
 - Considera intervalos de amostragem e frequência de controle;
 - Possui taxonomia para tipos de controles distintos;
 - Seleciona controlado com base em características desejadas.
 - Prediz resposta do sistema para alguma entrada;
 - Compatibiliza controle velocidade de resposta da planta;
 - Lida com oscilações nas respostas;
 - Apresenta abordagens para avaliar estabilidade e ciclos limites.

Abordagens de Sistemas de Controle

- Controle clássico, a partir nos 1930s, se caracterizam por serem definidos através de procedimentos gráficos. Muito útil antes do computador.
- Alguns métodos: resposta em frequência, lugar das raízes, função de transferência, transformadas (Laplace e Z).
- Tópicos: Sistemas lineares invariantes no tempo, modelo entrada-saída, domínio da frequência, comportamento de estado permanente, margens de estabilidade.
- Tecnologias de suporte: computadores analógicos, sensores e atuadores.

Abordagens de Sistemas de Controle

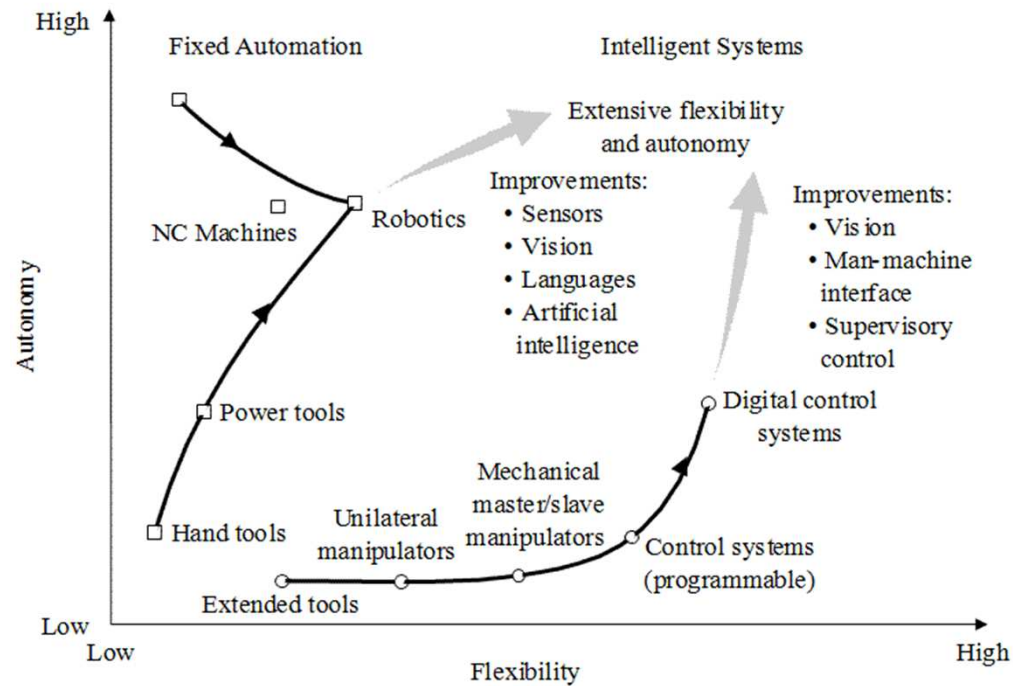
- Controle moderno, a partir dos 1960s, foram viabilizados por computação de dados feitos por computador digital.
- Alguns métodos: Regulador linear quadrático, filtro de Kalman, trajetória ótima, síntese H_∞/μ .
- Tópicos: Domínio do tempo, sistemas de variáveis múltiplas, análise e projeto automatizados.
- Controle pós-moderno, a partir do final do século XX.
- Alguns métodos: sistemas nebulosos, redes neurais, sistemas especialistas, busca numérica.
- Tópicos: sistemas não-lineares variantes no tempo, tomada de decisão, adaptação, desempenho, tolerância a falhas.

Abordagens de Sistemas de Controle

- Inteligência está relacionada com habilidade para calcular, raciocinar, perceber analogias e correlações, aprender, recuperar informação, classificar, generalizar entendimentos, adaptar-se a novas situações, entre outras coisas.
- Controle inteligente (CI) compreende emprego de controladores com habilidade para compreender, raciocinar e aprender sobre processos, perturbações e condições de operação.
 - CI pode ser visto como um sistema de controle de proposição geral que aprende ao longo do tempo para atingir objetivos em ambientes dinâmicos e não-lineares cujas dinâmicas devem ser aprendidas online.
- Funções inteligentes: planejam ações, aprendem de experiências passadas, identificam mudanças, reagem a situações novas, melhoram desempenho ao longo do tempo.

Futuro dos Sistemas de Controle

- A pesquisa e o desenvolvimento contínuo em Sistemas de Controle seguem duas vertentes: flexibilidade e autonomia;



Futuro dos Sistemas de Controle

- Com o objetivo de tornar os Sistemas de Controle mais universais, economicamente viáveis e melhor adaptados as necessidades crescentes dos diversos setores produtivos.
- As pesquisas tem sido focadas em:
 - Inteligência computacional;
 - Integração sensorial;
 - Visão computacional;
 - Programação CAD/CAM.

Projetos de Engenharia

- Projeto de Engenharia é uma das principais tarefas da engenharia, que envolve simultaneamente criatividade e análise de regras.
- Um dos grandes desafios enfrentados na elaboração de Projetos é formular especificações para produtos técnicos.
- Especificações são um conjunto de informações que definem explicitamente quando e como um produto ou dispositivo deve ou pode ser utilizado;

Projetos de Engenharia

- O Projeto (*design*) de produtos técnicos deve levar em consideração quatro características:
 - Complexidade;
 - Compromisso entre prós e contras (*Trade-off*);
 - Lacuna entre projetos (*Design gap*);
 - Risco.
- A complexidade está ligada diretamente a quantidade de ferramentas, de conhecimentos necessários e de fatores que devem influenciar na elaboração técnica do Projeto.

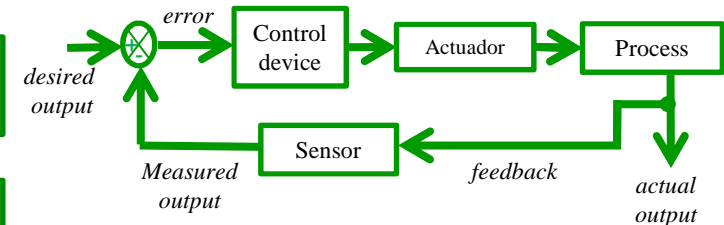
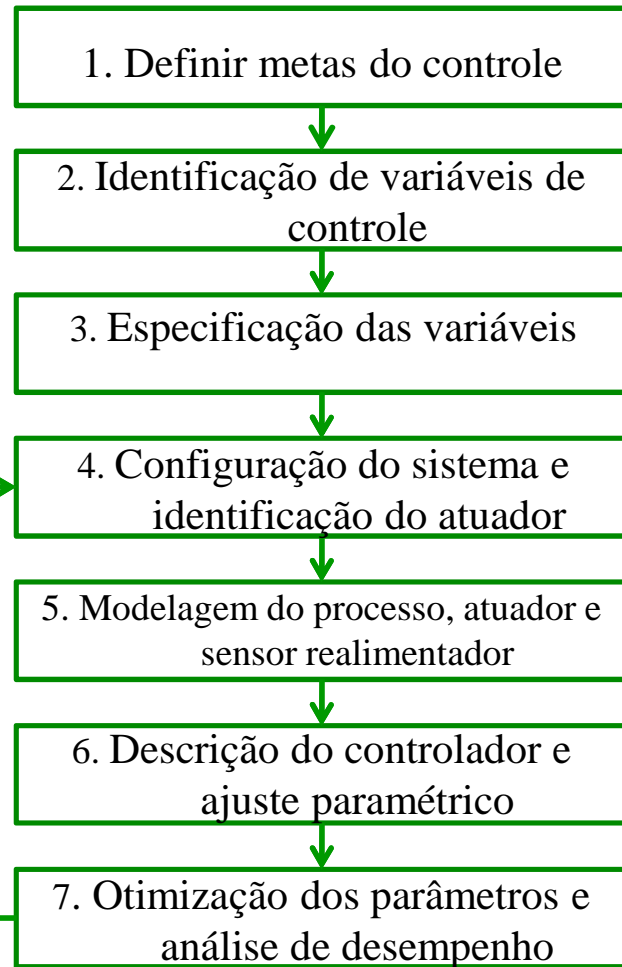
Projetos de Engenharia

- O Compromisso entre prós e contras (*trade-off*) diz respeito a avaliar metas conflitantes dentro de um projeto, onde deseja-se o melhor desempenho delas;
- Criar um modelo real a partir de um modelo físico teórico (ou a idéia conceitual) requer uma série de adaptações devido lacunas (*gaps*) entre o produto teórico e o produto real. A lacuna de projeto procura achar soluções para esse tipo de problema;

Projetos de Engenharia

- O Risco é um fator que leva em consideração as três características anteriores. Ele avalia as dificuldades da elaboração do projeto e define qual o grau da viabilidade econômica e ou tecnológica do mesmo.
- Projeto de Engenharia é um processo é interativo, criativo e sobretudo não linear.

Modelagem de Sistemas de Controle



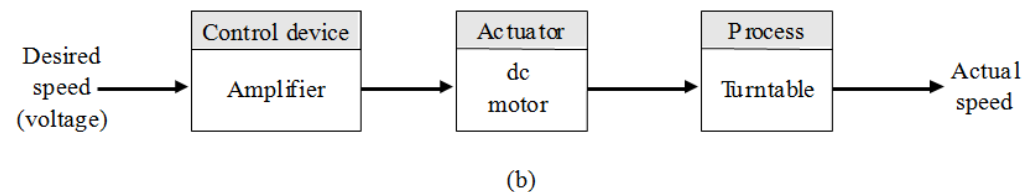
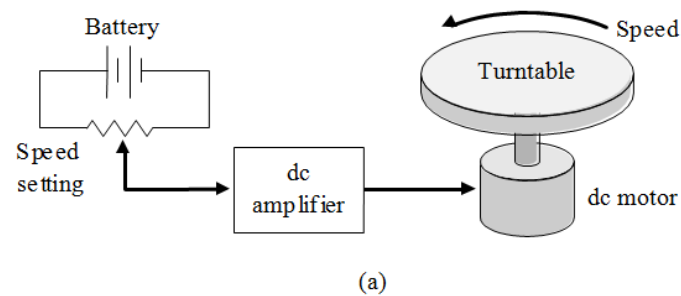
Se o desempenho não atingir especificações, ajuste configuração e atuador

Se o desempenho for satisfatório, finalize o projeto



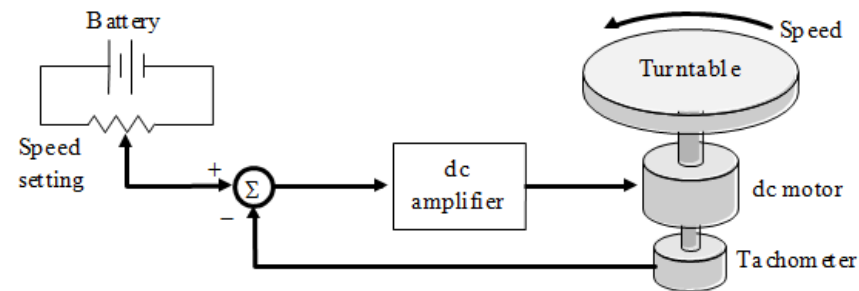
Mais Exemplos

- Controle de Velocidade de uma mesa que gira;
- Neste caso, um controle de loop aberto.

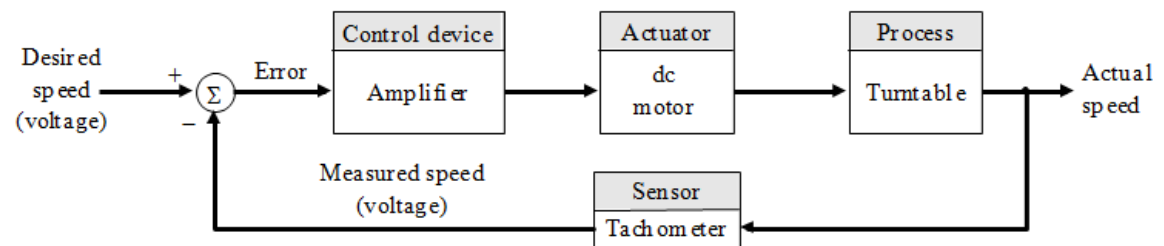


Mais Exemplos

- Agora o controle é de loop fechado.
- Um tacômetro mede a velocidade angular instantaneamente.



(a)



(b)

Bibliografia Básica

- Dorf, R.C & Bishop, R.H. (1994). *Modern Control Systems*. ADDISON-WESLEY , 8 edition, 1998.