

# Aula 2 - Introdução aos Sistemas de Tempo Real

Prof.: Dr. Reuber Regis

E-mail: [reuber.regis@sobral.ufc.br](mailto:reuber.regis@sobral.ufc.br)

# Definição 1/2

- Sistemas de tempo real
- Sistemas computacionais com requisitos de tempo real
- Isto significa:
  - O problema é de tempo real (está na especificação do sistema)
  - Submetidos a requisitos de natureza temporal não triviais
  - Requisitos definidos pelo ambiente físico
  - Resultados devem estar corretos lógica e temporalmente
  - Não é o projetista do sistema que decide se o mesmo será ou não de tempo real, esta decisão já foi tomada por quem especificou o sistema.
- Aspectos temporais
  - NÃO estão limitados a uma questão de maior ou menor desempenho
  - Estão diretamente associados com a funcionalidade
  - Não funciona se não respeitar os requisitos

# Software de tempo real x *Software convencional*

- O software de tempo real tem que computar uma resposta “a tempo”
  - Ex: Controle de Robô – existe um limite entre o tempo em que o robô em movimento percebe uma obstrução em seu caminho, e o tempo em que um atuador, como um controlador de roda, é ativado para mover o robô em uma direção segura.
  - Sistema anticolisão em carros



# Software de tempo real x *Software convencional*

- Software de tempo real deve lidar com concorrência
  - Concorrência de computação
  - Tempo de execução definidos pelos sinais do ambiente de tempo real
- Confiabilidade e Tolerância a falha
  - Medida de quão frequentemente um sistema falhará
  - Erro e falhas podem ser muito caros (prejuízos materiais e humanas)
- Criticalidade
  - Quanto maior o custo da falha, mais crítico é o sistema
  - Ex: Controle de uma aeronave ou de uma usina de energia nuclear.
- Teste e Certificação
  - Simulações confiáveis para sistemas complexos em ambientes reais
  - Testes de subsistemas
  - Especificações cuidadosas
  - Análise de projetos abrangentes
  - Procedimentos de execução completos para detecção e tratamento de falhas

# Definição 2/2

- Sistemas em geral:
  - “Fazer o trabalho usando o tempo necessário”
  - Exemplo: gcc, folha de pagamentos
- Sistemas de tempo real:
  - **“Fazer o trabalho usando o tempo disponível”**
  - Exemplo: freio ABS do automóvel

# Exemplos de Requisitos Temporais

- Deadline da tarefa em questão:
  - Se a pressão no duto passar de X, precisa abrir a válvula em 500 milisegundos, caso contrário o duto explode
- Período da tarefa em questão:
  - Controle realimentado, malha de controle executada a cada 10 milisegundos
  - Reprodução de áudio e vídeo (25 FPS = 40 milisegundos por frame)
- Atualidade ou Frescor dos dados:
  - O controlador da caldeira deve usar uma medição de temperatura feita há no máximo 100 milisegundos
- Simultaneidade dos dados:
  - A tensão elétrica e a corrente elétrica devem ser medidas “ao mesmo tempo”

# Exemplos de Aplicações

- Em quais mercados podem ser encontrados exemplos de aplicações com requisitos de tempo real ?

# Exemplos de Aplicações: Aviação 1/1

- Cockpit do Embraer E-190

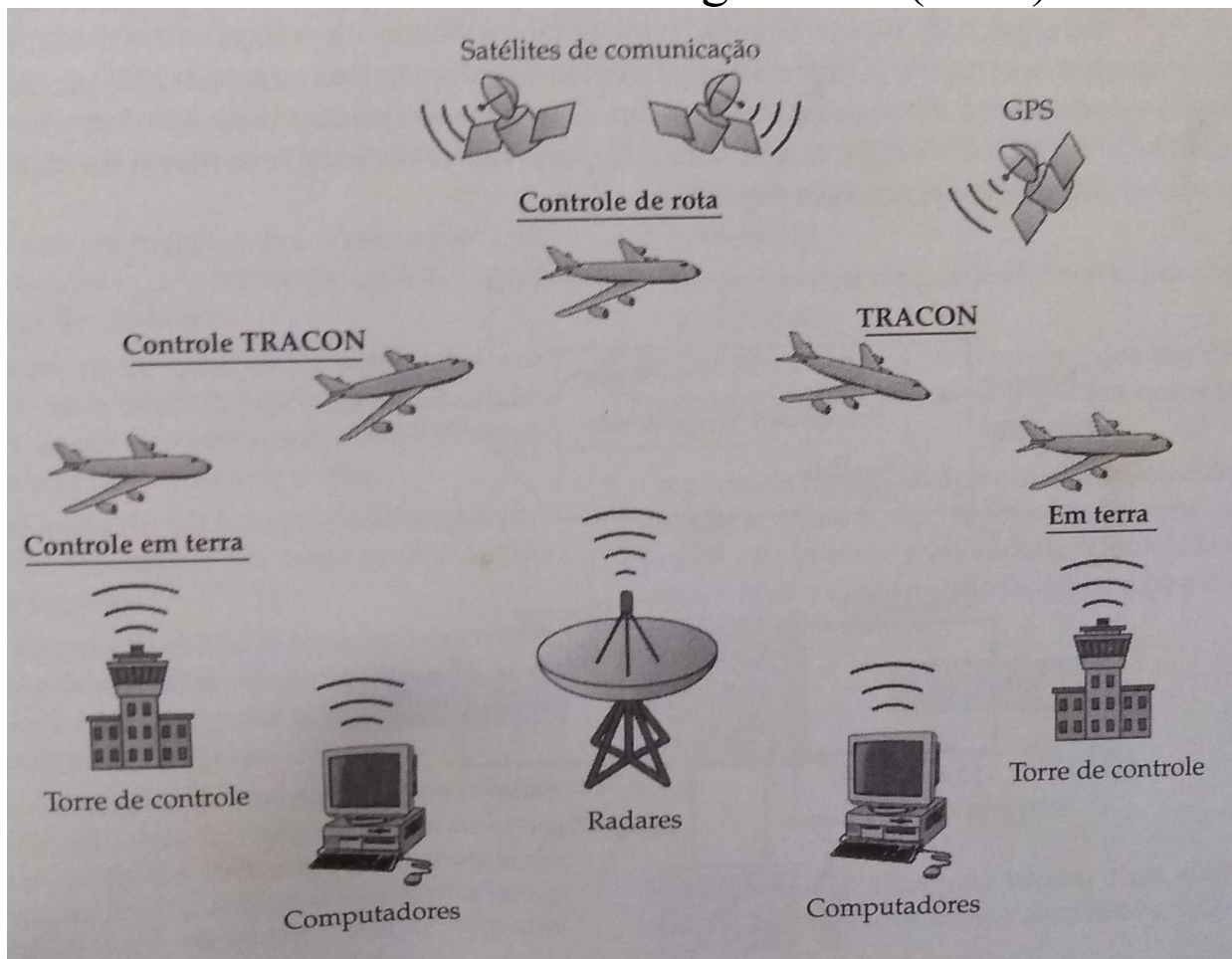


Fundamentos dos Sistemas de  
Tempo Real 8



# Exemplos de Aplicações: Aviação 1/1

- Controle de tráfego aéreo (CTA)



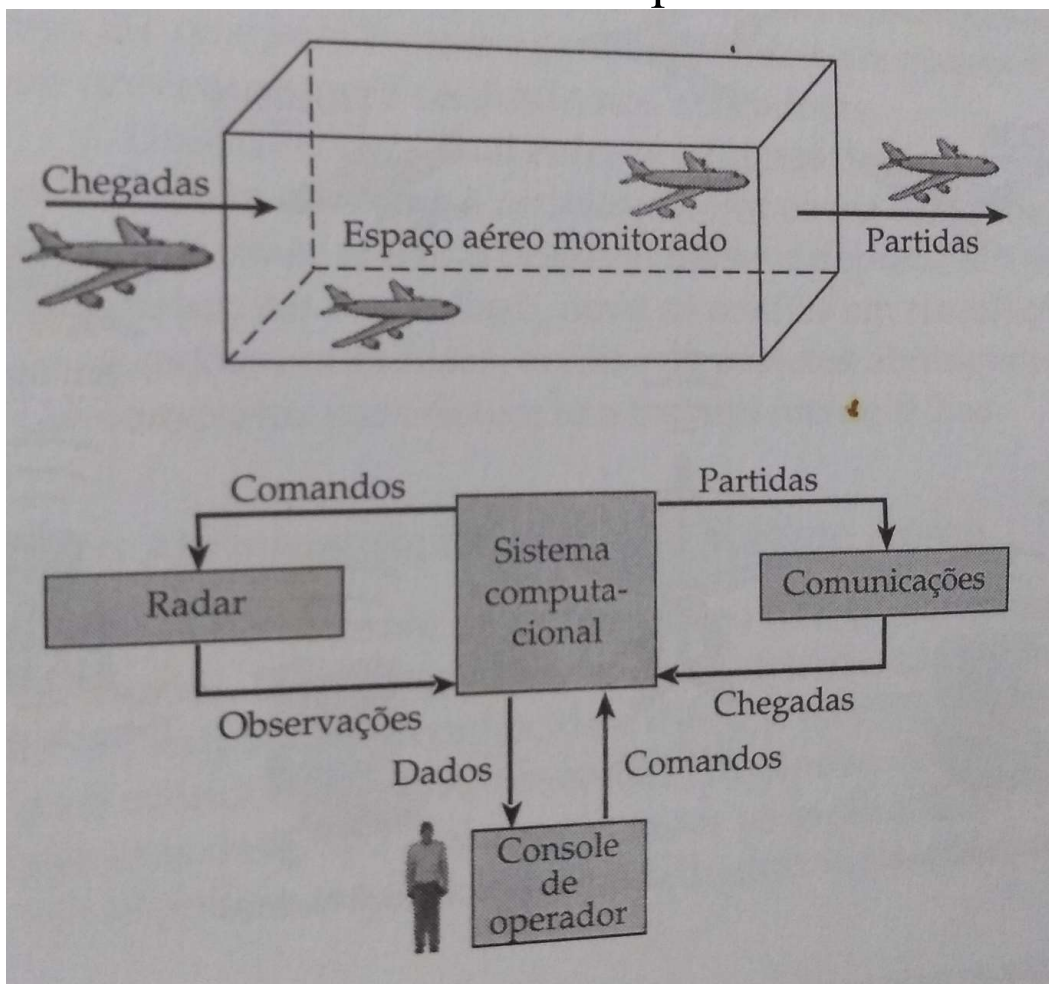
Principais objetivos desses sistemas são:

- Segurança
- Eficiência
- Desempenho

Fonte: Shaw A. C. (2003)

# Exemplos de Aplicações: Aviação 1/1

- Um CTA simplificado



Algumas Restrições temporais nesse tipo de sistema:

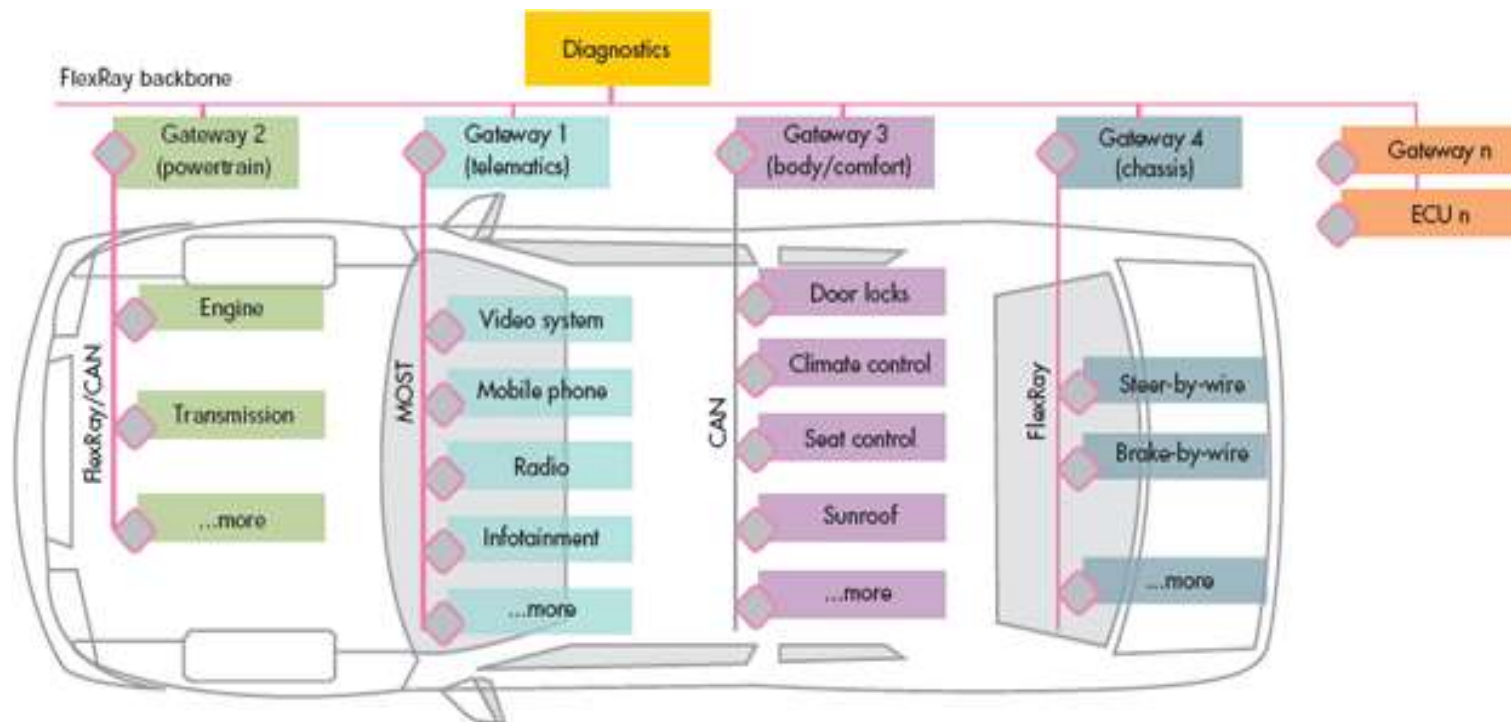
- O Radar deve rastrear cada avião no espaço à razão de, no mínimo, uma observação a cada 10 segundos por avião.
- A posição e o trajeto de cada avião deve ser atualizados e exibidos, no mínimo, uma vez a cada três segundos.
- Uma resposta a um comando de operador deve ser fornecida em até dois segundos.

Objetivo dessas restrições para os operadores:

- Entender o estado do espaço aéreo
- Controlar a posição das aeronaves através de mensagens para elas
- Responder a emergências (colisões, sobrecargas)

# Exemplos de Aplicações: Automotivo 1/1

- Carro moderno possui dezenas de processadores
  - Injeção eletrônica, freio abs, transmissão automática, etc



# Exemplos de Aplicações: Defesa 1/3

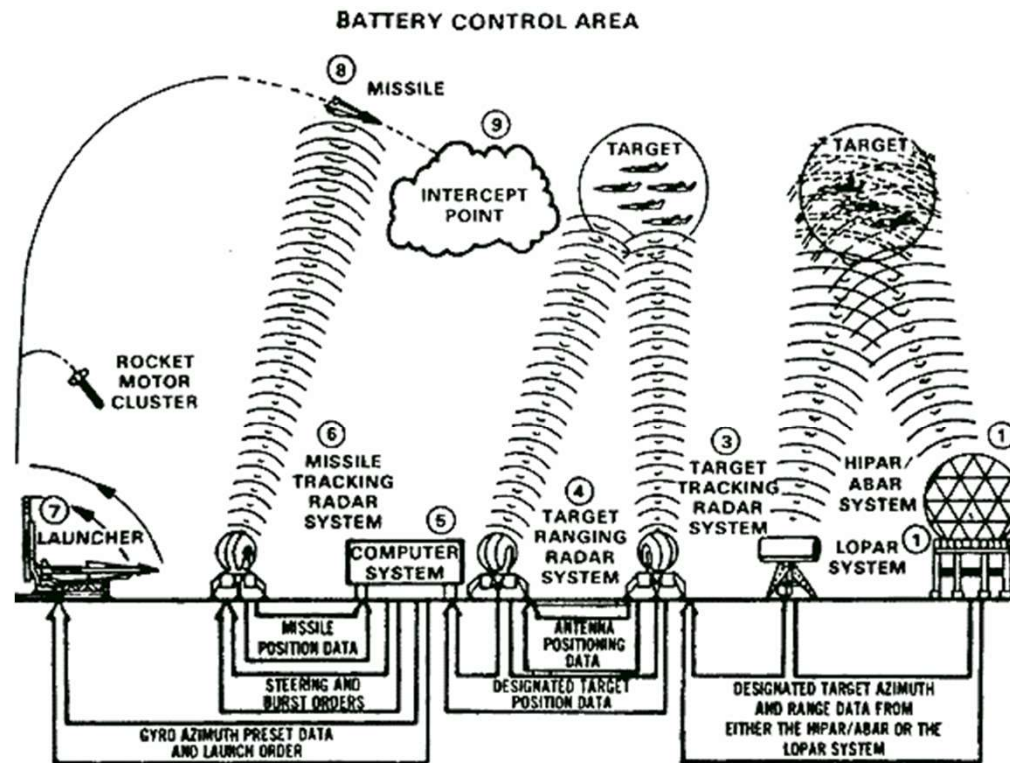
- Sala de controle de um navio da marinha
  - Sonar, Radar, Armamento





# Exemplos de Aplicações: Defesa 2/3

- Nike Hercules
  - Míssel terra-ar de dois estágios com combustível sólido
  - Usado pelos Estados Unidos e OTAN para defesa em médias e alta altitudes



Improved Nike-Hercules missile control and guidance system

# Exemplos de Aplicações: Defesa 3/3

- Nike Hercules
  - Inicialmente construído em 1959
  - Últimas unidades na Europa desativadas em 1988



# Exemplos de Aplicações: Vídeogames 1/2

- First-person shooter



Fundamentos dos Sistemas de  
Tempo Real 15

# Exemplos de Aplicações: Vídeogames 2/2

- Simuladores, esportes





# Exemplos de Aplicações: Telecomunicações 1/1

- Central telefônica
  - Computador disfarçado



- Áudio e vídeo



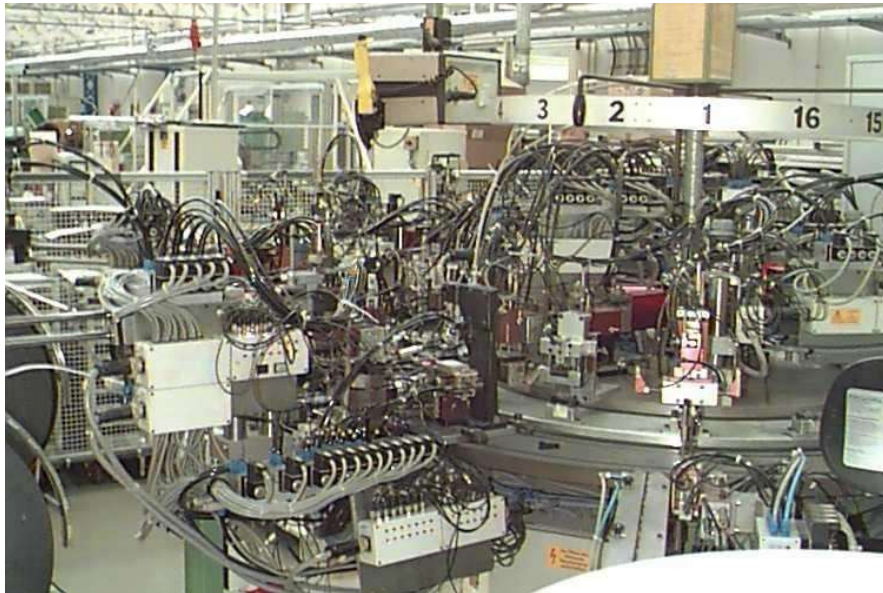
Bem-vindo ao Skype.

# Exemplos de Aplicações: Indústria 1/4

- Robôs



- Manufaturas



# Exemplos de Aplicações: Indústria 2/4

- Petroquímica



# Exemplos de Aplicações: Indústria 3/4

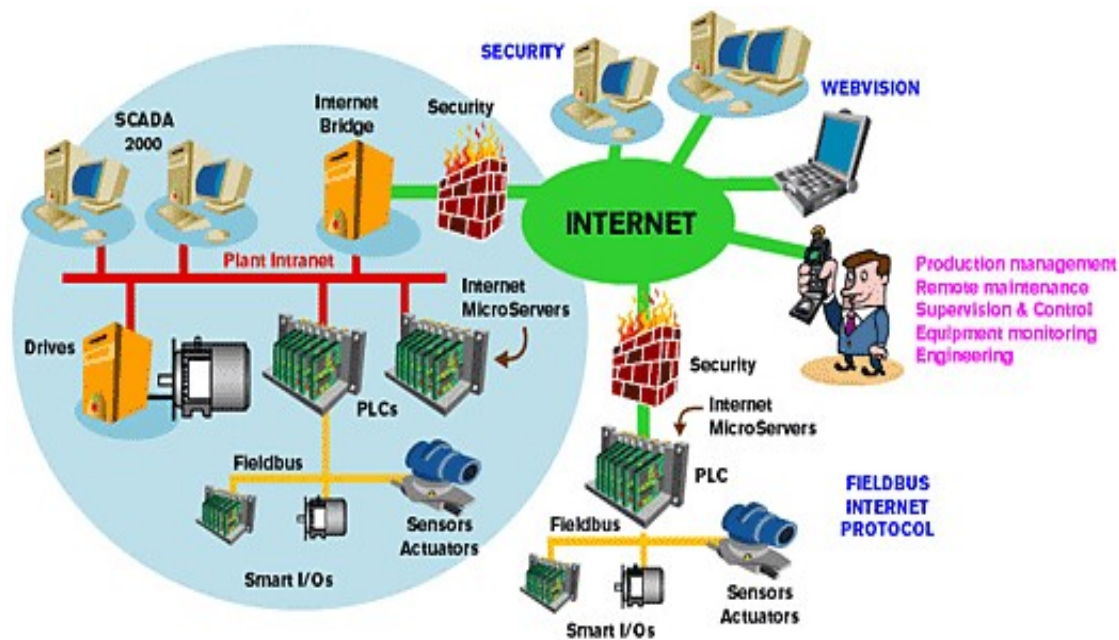
- Setor elétrico





# Exemplos de Aplicações: Indústria 4/4

- Sistemas grandes
  - Várias redes interconectadas
  - Redes industriais, redes locais, Internet



The ALSTOM e-Control Architecture

# Exemplos de Aplicações: Financeiras (Cartões) 1/1

- **Detecção de fraudes em cartões de crédito e débito**
- Uma transação legítima pode ser rejeitada por várias razões
  - Excedeu o limite diário
  - Excedeu o limite do saldo
  - Data do cartão expirou
  - Cartão tem uma garantia pendente (credit hold)
- Para que uma transação de cartão seja aceita
  - O caixa automático ou o lojista deve submeter o pedido
  - e o banco que emitiu o cartão deve autorizar a compra ou o saque
  - Esta aprovação deve ser em **tempo real**, pois o cliente está esperando
- Um sistema de detecção de fraude requer
  - Múltiplos servidores de alta performance
  - Análise das transações em tempo real
  - Algoritmos para detectar transações suspeitas
  - São usados algoritmos de inteligência artificial

# Exemplos de Aplicações: Financeiras (Bolsas) 1/4

- Boa parte das ordens de compra e venda são emitidas por programas de computadores (robôs)
- Quantitative trading é a execução sistemática de ordens de compra/venda decidida por modelos quantitativos do mercado
- Precisa:
  - Plataformas de execução rápidas e confiáveis
  - Modelos de previsão precisos e abrangentes
- Exemplo: Market Making
  - Procura aproveitar diferenças entre as ofertas de compra e venda pendentes existentes (Quote to the market) (High-frequency trading)
- Exemplo: Statistical Arbitrage
  - Aposta na direção do mercado (Trend following)

# Exemplos de Aplicações: Vários Mercados 1/1

- Veículos
  - Automação em aeronaves, automóveis, sondas espaciais
- Defesa
  - Radar, sonar, sistema guia em mísseis
- Entretenimento
  - Videogames, vídeo sob demanda, áudio
- Telecomunicações
  - Centrais telefônicas, videoconferência
- Indústria
  - Controle de processos, robôs, aquisição de dados
- Financeiro
  - Transações em bolsa, negociação automática

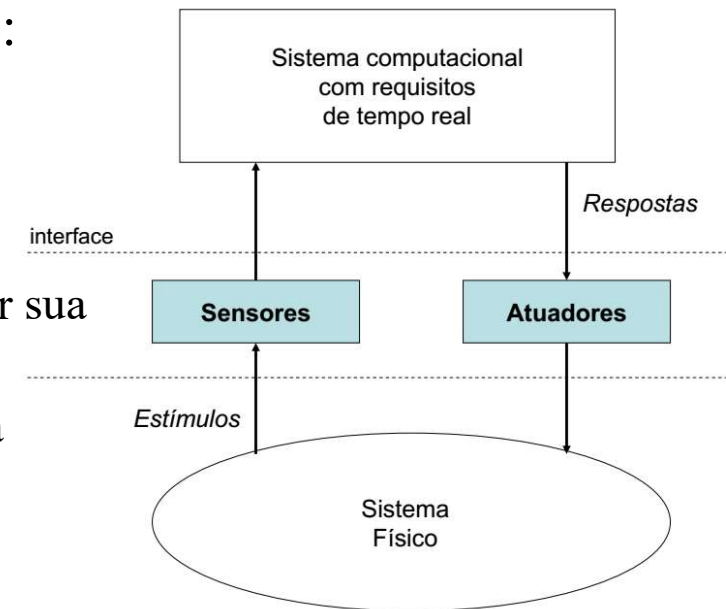
O que elas tem em comum ?

Fundamentos dos Sistemas de  
Tempo Real 27



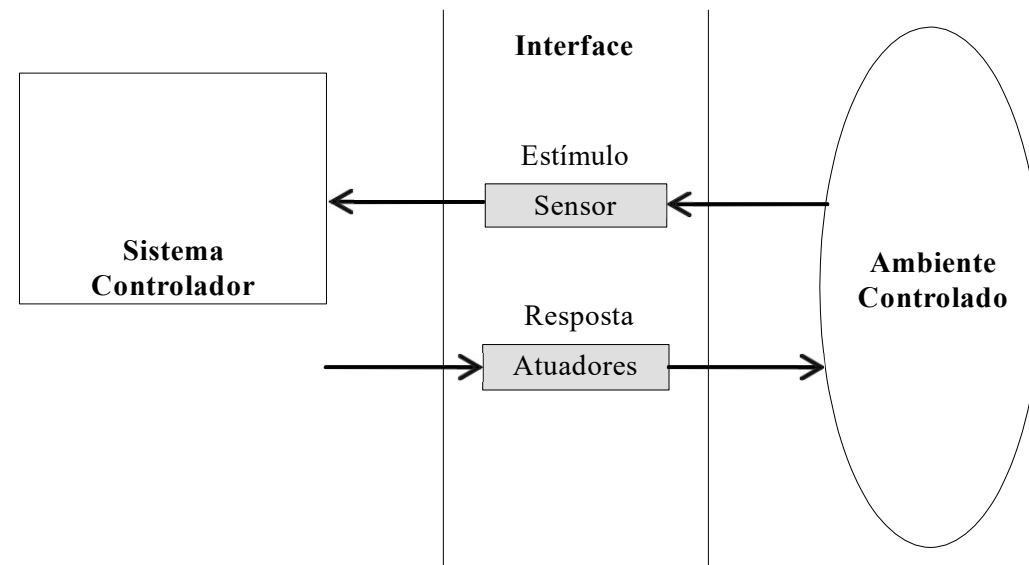
# Caracterização 1/3

- Forte acoplamento do sistema com o seu Ambiente:
  - Forte relação com o mundo físico
  - Processamento ativado por estímulos do ambiente
  - Ex:
    - No caso de um radar, a detecção de um objeto requer sua análise.
    - No caso de um vídeo, a passagem do tempo requer a exibição do próximo quadro (frame).
- Requisitos temporais são definidos pelo ambiente
  - Mundo físico onde o sistema computacional está inserido
    - No caso de um vídeo, é a física do olho humano que define os tempos para a exibição dos quadros.
- **Tempos de Resposta** delimitam **Estímulos/Respostas**
  - Processamentos devem terminar dentro de prazos (**deadlines**)
  - Se terminar fora de prazo sistema falha (**falha temporal**)



## Caracterização 2/3

- Fluxos de estímulos na execução são definidos pelo ambiente:
  - Todo sistema de tempo real, o poder do computador sobre o ambiente controlado é limitado.
  - Não é possível congelar o mundo externo quando o processador estiver sobrecarregado.
  - A dinâmica do sistema físico segue suas próprias regras, e o sistema computacional está a mercê destas regras.
  - Quase sempre impossível controlar os estímulos provenientes do ambiente



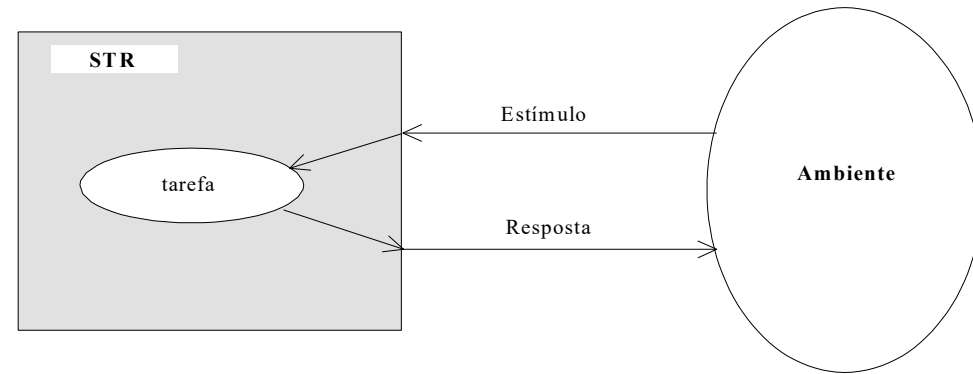
A propriedade mais importante de um sistema de tempo real é a sua previsibilidade temporal (predictability).

# Caracterização 3/3

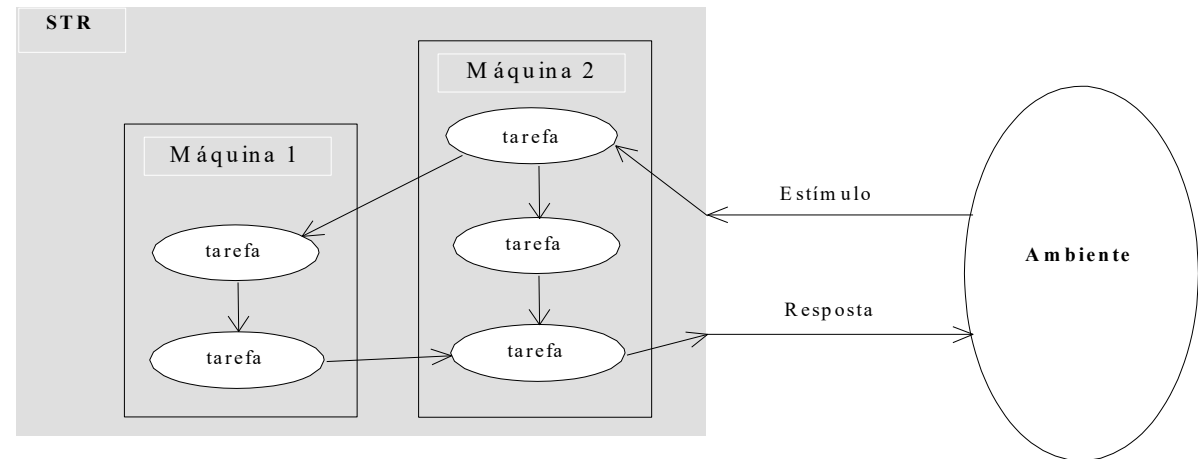
Complexidade variada

O comportamento no tempo de um dado sistema é afetado por vários fatores:

- Linguagem de Programação
- Sistema Operacional
- Protocolos de comunicação
- Arquitetura de computador
- Etc.



Sistema Simples: Tarefa Única Responde ao Ambiente



Sistema Complexo: Grafo de Tarefas Responde ao Ambiente

# Concepções Erradas 1/3

- ERRADO: Tempo real significa execução rápida
- Tempo real é a necessidade de cumprir requisitos temporais
- Não necessariamente significa execução rápida
- Fazer muito rápido pode ser tão ruim quanto fazer muito lento
  - Controlador semafórico
  - Amostragem de uma variável física através de um sensor

## Concepções Erradas 2/3

- ERRADO: Computadores cada vez mais rápidos resolverão todos os problemas
- Computadores cada vez mais poderosos facilitam a construção de sistemas
- Mas restrições de custo exige processador mais barato
- Processadores multicore requerem múltiplas threads

# Concepções Erradas 3/3

- ERRADO: Sistemas de tempo real são pequenos, apenas tratadores de interrupção
- Sistemas abordo de um avião
- Sistemas de defesa em um navio
- Etc

# Referências

- Rômulo S. de Oliveira. Fundamentos dos Sistemas de Tempo Real. Publicação independente, 2018)