

# ***Sistemas de Tempo-Real***

## **Aula 1**

# **Restrições temporais: origem e caracterização**

**Conceitos básicos de *tempo-real*  
Requisitos dos Sistemas de Tempo-Real**

Adaptado dos slides desenvolvidos pelo Prof. Doutor Luís Almeida para a disciplina “Sistemas de Tempo-Real”

# *Definições relacionadas com “Tempo-Real”*

Existe uma grande diversidade de definições relacionadas com **Tempo-Real**, os **sistemas** que lidam com Tempo-Real, os **serviços** que prestam e as **funcionalidades** que desempenham.

Em comum têm o facto de exprimirem a **dependência de um sistema** computacional face ao **tempo** tal como existe num determinado **processo físico**.



# ***Definições relacionadas com “Tempo-Real”***

## **Funcionalidade ou Serviço de Tempo-Real**

Que tem de ser desempenhada ou prestado dentro de **intervalos de tempo finitos impostos por um processo físico**

## **Sistema de Tempo-Real**

Aquele que desempenha pelo menos uma funcionalidade de tempo-real ou que presta pelo menos um serviço de tempo-real (PDC, 1990)

## **Ciência de Tempo-Real**

Ramo da **Ciência da Computação** que estuda a introdução de **Tempo-Real** nos sistemas computacionais.

# Computação de Tempo-Real

Os **resultados das computações** devem ser

- Logicamente corretos
- Produzidos a tempo

(Stankovic, 1988)

**Pontualidade**  
(timeliness)



**Correção  
lógica**



# Sistema de Tempo-Real

## Sistema Controlado

### Sistema Controlador

Sistema Computacional

14:45:26

Operador

Atuadores

Sensores

Meio envolvente  
(processo físico)

$t_{out/phy}^n$

$t_{in/phy}^n$

Restrições temporais  
impostas pelo meio  
envolvente

$$\forall n, t_{out/phy}^n - t_{in/phy}^n < \delta$$

$$\forall n, t_{in/phy}^{n+1} - t_{in/phy}^n < T$$

# *Noção de “Tempo-Real”*

O **meio envolvente** com o qual o sistema computacional interage (**processo físico**) possui o seu próprio **ritmo de evolução**, i.e., a sua **própria dinâmica**.

Esse **ritmo** é **inerente** ao próprio processo físico e não pode (ou não deve, caso dos simuladores) ser controlado externamente. Designa-se por **Tempo-Real**.



# Noção de “Tempo-Real”

Assim, o meio envolvente **impõe** ao sistema **requisitos temporais** de acordo com o seu *tempo-real*, i.e., a sua dinâmica.

Para que o sistema computadorizado seja capaz de **interagir** com o seu meio envolvente, tem de atuar sobre ele **a tempo**, i.e., de acordo com o respetivo *tempo-real*.

# Noção de “Tempo-Real”

Notar que *tempo-real* não significa rapidez mas apenas um ritmo de evolução próprio de um certo processo físico (**termo relativo**)

Notar igualmente o **antagonismo** face a situações em que o **ritmo de evolução pode ser controlado** quer pelo operador quer pelo próprio sistema de controlo (e.g., o sistema de reservas de viagens de avião, sistemas bancários de controlo de contas). Nestes casos, perante um excesso de solicitações, o sistema atrasa a resposta a cada uma continuando o respetivo processamento ao ritmo que for possível (**best effort**). Leva à formação de filas de acesso...





# Noção de “Tempo-Real”



- Exemplo - **piloto de F1**  
(mas aplica-se a qualquer condutor ou a um robô...)
  - O **controle** da direção tem de ser **preciso**, qualquer que seja a **velocidade** a que o carro circula
  - todos os **eventos inesperados** (e.g. carros acidentados, pessoas na pista, poça de água, furo numa roda) que surjam enquanto o **carro circula a alta velocidade** têm que ser **tratados a essa velocidade**

A **velocidade do carro** determina o **tempo-real**

**Não é possível parar instantaneamente para pensar !!...**

# Noção de “Tempo-Real”

- Genericamente, quando um sistema de controlo ou monitorização consegue **acompanhar o estado** de um dado processo físico e, se necessário, atuar **a tempo sobre ele**, então trata-se de um **sistema de tempo-real**.
- Todos os seres vivos são *sistemas de tempo-real* relativamente aos seus habitats naturais, os quais determinam o respectivo tempo-real.
- Por outro lado, quando construímos **máquinas** (programáveis) para **interagir com processos físicos**, necessitamos de usar **técnicas de programação** e **infraestruturas de SW** que nos permitam ter **confiança na capacidade de atuação pontual**.



# Objetivo do estudo dos STR

- O principal **objetivo** do estudo dos Sistemas de Tempo-Real (STR) é o de **desenvolver técnicas de**
  - projeto,
  - análise e
  - verificação

que permitam **obter garantias** de que um dado sistema, que se pretende de tempo-real, tenha **comportamento temporal adequado** à **dinâmica** do sistema com o qual deve interagir.

# *Objetivo do estudo dos STR*

Relativamente às atividades **computacionais** dos STR  
os aspetos que normalmente mais interessa **caracterizar** são:

- O tempo de execução
- O tempo de resposta
- A regularidade de eventos periódicos



# Objetivo do estudo dos STR

Alguns **aspetos** particularmente importantes relativamente ao

- Tempo de execução

- Estrutura do código (linguagem, condicionais, ciclos)
- DMA, caches, pipeline
- Sistema operativo ou *kernel* (*system calls*)

- Tempo de resposta e regularidade

- Interrupções
- *Multi-tasking*
- Acesso a recursos partilhados (*buses*, discos, portos de comunicação,...)

# ***Requisitos dos Sistemas de Tempo-Real***

Os requisitos tipicamente impostos aos Sistemas de Tempo-Real são de 3 tipos:

- **Funcionais**
- **Temporais**
- **de Dependabilidade**



# ***Requisitos funcionais***

## **Recolha de dados**

- Amostragem das variáveis do sistema (**entidades de tempo-real**) quer do tipo contínuo quer discreto

## **Controlo Digital Direto (DDC)**

- Acesso direto do sistema controlador aos sensores e atuadores

## **Interação com o operador (MMI)**

- Informação do estado do sistema, registo histórico, suporte à correta operação do sistema

# *Requisitos funcionais*

## Recolha de dados

Internamente ao sistema controlador existem **imagens** locais (variáveis internas) das **entidades de tempo-real** do sistema.

Cada imagem de uma entidade de tempo-real tem uma **validade temporal limitada** devido à dinâmica do processo físico.

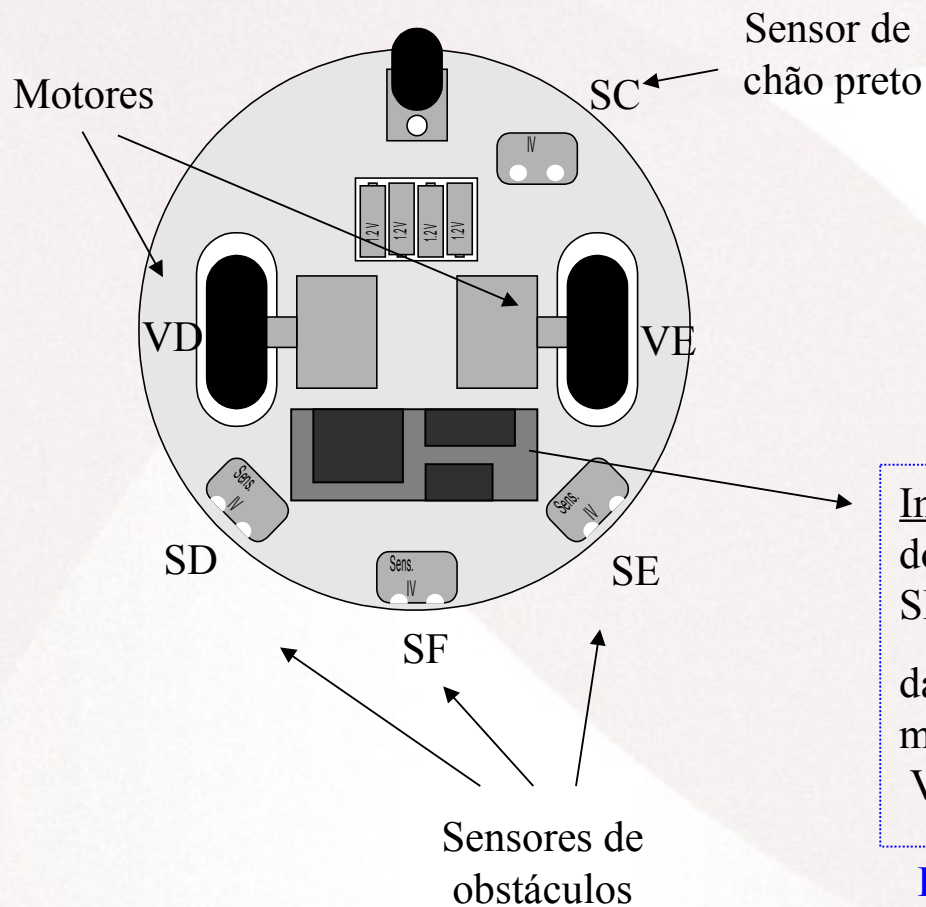
O **conjunto das imagens** das entidades de tempo-real compõe a **base-de-dados de tempo-real**.

A **base-de-dados de tempo-real** tem que ser atualizada sempre que houver uma mudança de valor numa entidade de tempo-real.



# Requisitos funcionais

**Exemplo:**  
**Um pequeno robô móvel**



Entidades TR:  
sensores:  
SE, SF, SD e SC  
velocidades dos  
motores:  
VE e VD

Imagens internas:  
dos sensores:  
SE', SF', SD' e SC'  
das velocidades dos  
motores:  
VE' e VD'

**Base-de-dados TR**

# Requisitos temporais

Normalmente advêm da **dinâmica do processo físico** que se pretende controlar

Impõem **restrições**:

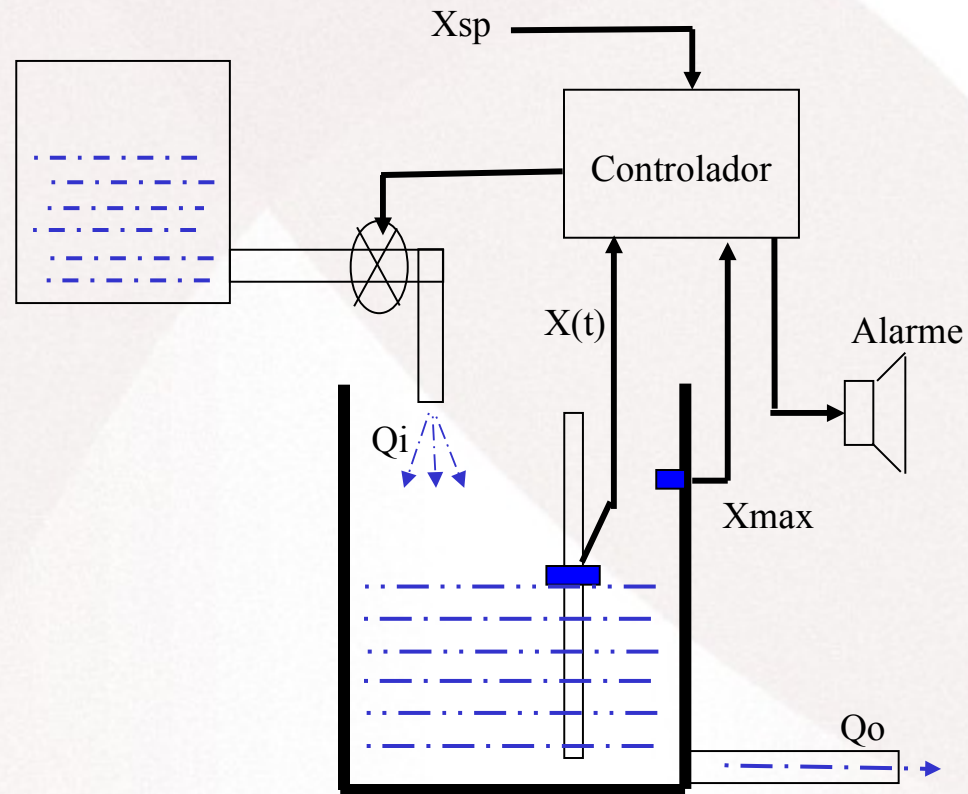
- Aos **atrasos de observação** do estado do sistema
- Aos **atrasos de computação** dos novos valores de controlo (atuação)
- Às **variações dos atrasos** anteriores (**jitter**)

que têm de ser cumpridas em **todas as instâncias** (incluindo o pior caso) e **não apenas em termos médios**



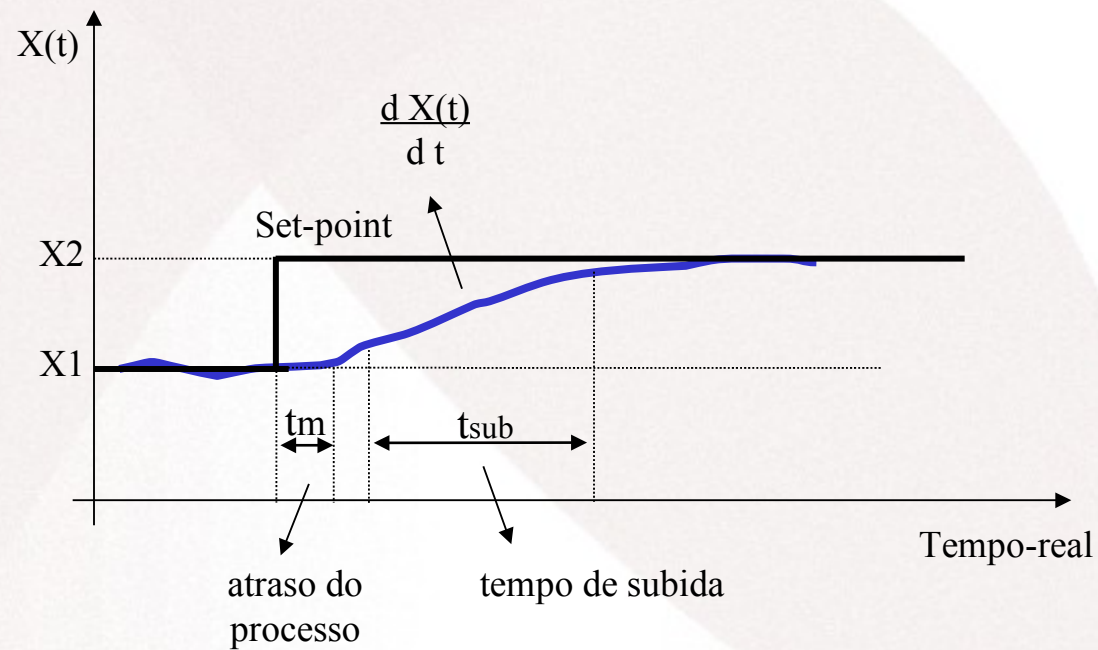
# Requisitos temporais

## Controlo de nível num depósito de líquido



# Requisitos temporais

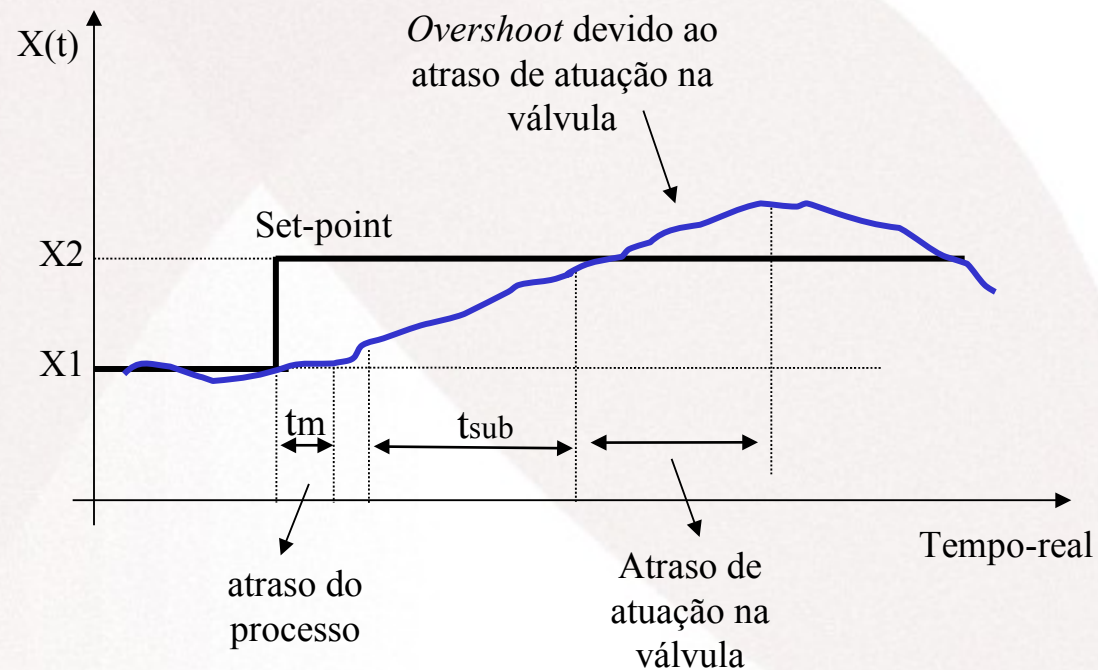
## Controlo de nível num depósito de líquido





# Requisitos temporais

## Atraso na atuação – degradação do controlo



# Requisitos temporais

## (Sistema de controlo)

Período de **amostragem** –  $T_s$  ( $\sim < 1/10 t_{sub}$  - controlo *quase-contínuo*)

**Atraso** máximo na **resposta** da válvula –  $d_{max}$  ( $< T_s$ )  
(atraso de controlo – pode ser facilmente compensado)

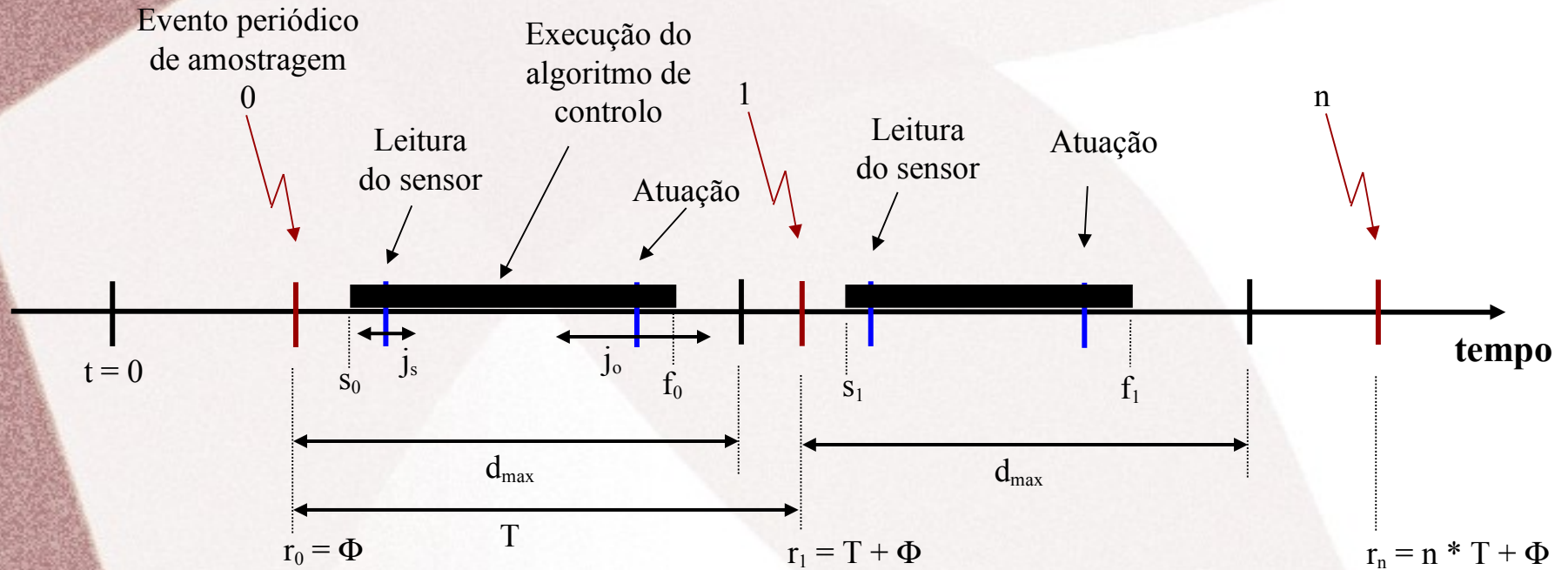
**Variações** no atraso de leitura do nível (**jitter**) –  $j_{s,max}$  ( $<< d_{max}$ )

**Variações** no atraso de atuação da válvula (**jitter**) –  $j_{o,max}$  ( $<< d_{max}$ )  
(difíceis de compensar – degradação da qualidade do controlo)

**Atraso** máximo na **sinalização** de alarme –  $d_{al,max}$



# Requisitos temporais



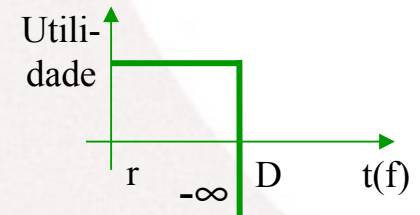
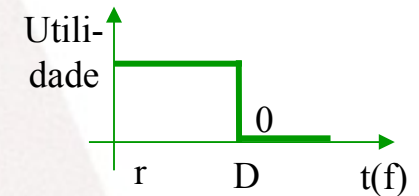
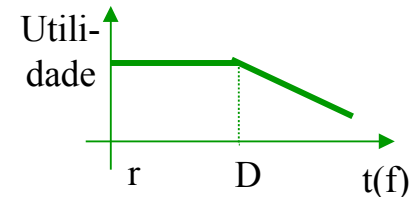
$r_n$  – ativação  
 $s_n$  – início de execução  
 $f_n$  – fim de execução

# Requisitos temporais

## Classificação das restrições temporais:

(de acordo com a utilidade do resultado para a aplicação)

- **Suave (Soft)** – Restrição temporal em que o resultado que a ela está associado mantém **alguma utilidade** para a aplicação mesmo depois de um limite  $D$  embora haja uma degradação da qualidade de serviço.
- **Firme (Firm)** – Restrição temporal em que o resultado que a ela está associado **perde qualquer utilidade** para a aplicação depois de um limite  $D$ .
- **Rígida (Hard)** – Restrição temporal que, quando não cumprida, pode originar uma **falha catastrófica**.





# Requisitos temporais

## Classificação dos Sistemas de Tempo-Real:

(de acordo com o tipo das restrições temporais)

- **Soft Real-Time** – O sistema apenas apresenta restrições temporais do tipo **firm** ou **soft** (e.g., simuladores, sistemas multimédia)
- **Hard Real-Time** – O sistema apresenta pelo menos uma restrição temporal do tipo **hard**. São sistemas de **segurança crítica** (e.g. controlo de voo de aviões, de mísseis, de centrais nucleares, de fábricas de produtos perigosos)

# Requisitos de Dependabilidade

Os **sistemas de tempo-real** são normalmente usados em **aplicações críticas** quer em termos de **segurança** quer **económicos** (e.g., centrais nucleares, controlo de tráfego ferroviário e aéreo, indústria de processo).

Daqui resulta um requisito de:

**Elevada Fiabilidade** – Em sistemas *hard real-time* são típicos requisitos de **fiabilidade ultra elevada** ( $\lambda < 10^{-9}$  falhas/hora – não se pode verificar experimentalmente!).



# Requisitos de Dependabilidade

## Aspetos importantes num sistema de **segurança crítica**:

- **Interfaces estáveis** entre os subsistemas críticos e os restantes por forma a evitar a **propagação de erros** de uns para os outros.
- **Cenários de pior caso** bem definidos. O sistema deve possuir os **recursos adequados** para fazer face aos cenários de pior caso sem necessidade de recurso a argumentos probabilísticos, i.e., deve fornecer **garantias de serviço** mesmo em tais cenários.
- **Arquitetura** composta por **subsistemas autónomos**, cujas propriedades podem ser verificadas independentemente uns dos outros (composabilidade).

# Resumo da Aula 1



# Resumo da Aula 1

- Noção de **tempo real** e de **sistema de tempo real**
- Antagonismo **tempo real** vs **best effort**
- Objetivo do estudo dos STR – obter **garantias** de **comportamento temporal adequado**
- Aspectos a considerar: **tempo de execução**, de **resposta**, e **regularidade** de eventos periódicos
- Requisitos dos STR: **funcionais**, **temporais** e de **dependabilidade**
- Noção de **base de dados de tempo real**
- Restrições **soft**, **firm** e **hard**, e **hard real time** vs **soft real time**
- Importância de ter em conta o **cenário de pior caso**

# ***Apresentação***

- POSIX 4 – Extensões tempo-real
  - Literatura de base:
    - [www.cse.yorku.ca/~oz/papers/posix4.ps.gz](http://www.cse.yorku.ca/~oz/papers/posix4.ps.gz)