

# Sistemas de Tempo Real - Notas de Aula

Prof. Dr. Aleardo Manacero Jr.

Aluno: Gabriel H. M. Saraiva

Primeiro Semestre / 2014

# Chapter 1

## Introdução

### 1.1 Sistemas de Tempo Real

São sistemas que demandam que os resultados sejam corretos e produzidos dentro de intervalos de tempo pré-determinados, de forma a serem úteis.

Podem ser classificados em:

- Críticos (hard real-time): quando falhas possam acarretar perda de vidas ou dinheiro;
- Não-Críticos (soft real-time): quando falhas não trazem prejuízos.

Além disso, o tipo de tarefas que são executadas permitem classificá-los em:

- Sistemas dirigidos por tempo (time-driven): em que os instantes em que as tarefas executam são definidos por ciclos;
- Sistemas dirigidos por evento (event-driven): em que a execução de tarefas é determinada pela ocorrência de certos eventos.

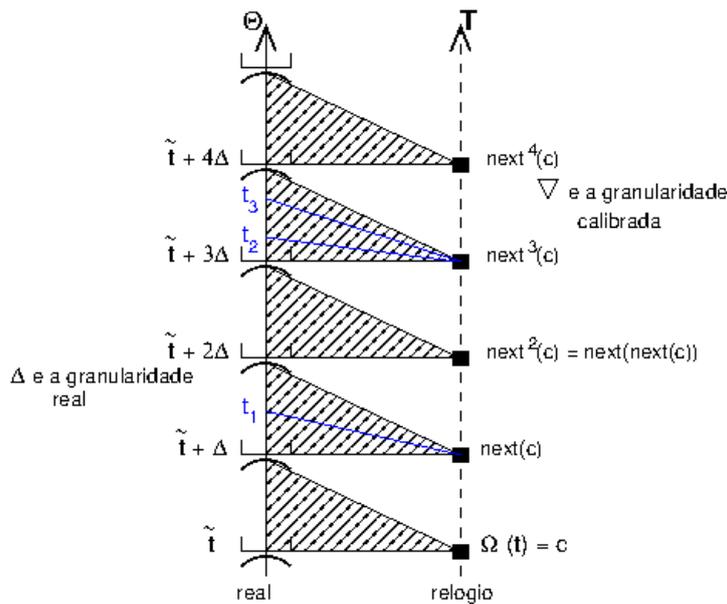
A partir disso tarefas podem ainda se redefinidas como:

- periódicas, por terem ciclos bem definidos;
- aperiódicas, quando ocorrerem regularmente mas sem ciclo definido;
- esporádicas, que não ocorrem regularmente.

## 1.2 Tempo e Relógio

Tempo pode ser visto como um processo, que avança continuamente e não pode ser precisamente definido, ou como uma medida, que é resultado de transformações numéricas sobre o processo.

O tempo visto como processo é o que chamamos de real, enquanto o tempo como medida (ou concreto) é o nosso tempo de relógio.



Analogia com o relógio sem ponteiro de segundos: O que acontece por exemplo aos 15:24:17 é registrado em 15:24

### 1.2.1 Propriedades do tempo

- Monotonicidade:  
 $\forall t_1, t_2 : \tilde{\Theta} \bullet (t_2 > t_1 \Rightarrow \tilde{\Omega}t_2 \geq \tilde{\Omega}t_1) \wedge (\tilde{\Omega}t_2 > \tilde{\Omega}t_1 \Rightarrow t_2 > t_1)$
- Granularidade calibrada ( $\nabla$ ):  
 É a menor medida de tempo que pode ser feita em T ou, de outro modo, é a medida tal que  $\exists t_1, t_2 : \tilde{\Theta} \bullet \| (\tilde{\Omega}t_2, \tilde{\Omega}t_1) \| = \nabla$
- Uniformidade:  
 $\forall t_1, t_2, t_3, t_4 : \tilde{\Theta} \bullet t_2 - t_1 = t_4 - t_3 \Rightarrow (\| (\tilde{\Omega}t_2, \tilde{\Omega}t_1) \| - \| (\tilde{\Omega}t_4, \tilde{\Omega}t_3) \|) \in \{-\nabla, 0, +\nabla\}$

- Vivacidade de relógio:  
 $\forall t : \tilde{\Theta} \bullet t \in \text{dom } \tilde{\Omega} \Rightarrow (\exists t' : \tilde{\Omega} \mid t' > t \wedge \tilde{\Omega}(t') > \tilde{\Omega}(t))$
- Tick Times: são valores definidos por uma função de transição  $\omega$ , que mapeia valores de tempo real em instantes de relógio. Assim, temos:

$$t \in \text{dom } \omega \Rightarrow t = \bar{t}$$

e ainda que:

$$\bar{t} \leq t < \bar{t} + \Delta$$

Temos ainda:

$$\tilde{\Omega}t_1 = \tilde{\Omega}t_2 \vdash \tilde{t}_1 \leq t_2 < \tilde{t}_1 + \Delta$$

ou

$$\tilde{\Omega}t_1 = \tilde{\Omega}t_2 \vdash 0 \leq |t_2 - t_1| < \Delta$$

Disso se pode observar que eventos “instantâneos” no tempo de relógio podem ter uma “duração” diferente de zero no tempo real.

Por outro lado, temos ainda que:

$$\tilde{\Omega}t_1 < \tilde{\Omega}t_2 \vdash \tilde{t}_1 < \tilde{t}_2$$

## 1.2.2 Relógios (tempo) padrões

- Tempo astronômico: Revolução da terra;
- Tempo universal padrão: transição do  $Cs_{133}$
- Tempo universal coordenado (UTC): combina o padrão e o astronômico

## 1.2.3 Desvio de relógio

- Time/Clock drift: taxa de variação entre o tempo real e o tempo medido, sendo que cristais usados nos relógios de computadores apresentam um drift da ordem de  $10^{-6}$  ou  $10^{-8}$  s/s, o que resulta em erro de 10ms num período de 3h a 11 dias;
- Time/Clock skew: é o erro (diferença) da medida

## 1.3 Relógios reais

Um relógio com funcionamento “correto” ou “bom” deve atender a relação:

$$1 - \rho \leq \frac{\delta_{\text{medido}}}{\delta_{\text{observado}}} \leq 1 + \rho$$

Em que  $\rho$  é o desvio admitido e  $\delta$  é um intervalo de tempo (medido ou observado).

Essa relação pode ser transformada para levar em conta as granularidades real e calibrada, ficando assim:

$$1 - \rho \leq \frac{\Delta}{\nabla} \cdot \frac{\|(\Omega(t_1), \Omega(t_2))\|}{t_1 - t_2} \leq 1 + \rho$$

Observa-se que  $\frac{\Delta}{\nabla}$  é a taxa de conversão entre tempo medido e observado, devendo idealmente ser próximo de 1. Dessa expressão temos ainda que  $\frac{\Delta}{\nabla} < 1$  indica o relógio está adiantando e  $\frac{\Delta}{\nabla} > 1$  indica que o relógio está atrasando.

## 1.4 Intervalos temporais

Do ponto de vista funcional trabalha-se tempo como sendo uma composição de intervalos temporais, que podem ser de quatro tipos, de acordo com sua regra de fechamento.

$$(t_1, t_2), [t_1, t_2), (t_1, t_2] \text{ e } [t_1, t_2]$$

Desses tipos se usa mais frequentemente os intervalos abertos à direita, sendo que  $\Gamma$  representa o conjunto de todos os intervalos desse tipo, sendo definido por:

$$\Gamma \stackrel{\text{def}}{=} \{[t_1, t_2) \mid t_1, t_2 : \mathbb{R}\}$$

ou

$$[t_1, t_2) = \{t \bullet t : \mathbb{R} \mid t_1 \leq t < t_2\}$$

Para a análise de intervalos podem ser definidas ainda três funções sobre suas extremidades. Assim, para um intervalo  $\theta$  na forma  $[t_1, t_2)$ , ou outro qualquer, temos:

$$\begin{aligned} \text{left}(\theta) &= t_1 \\ \text{right}(\theta) &= t_2 \\ \text{cl}(\theta) &= \text{cl}([t_1, t_2)) = [t_1, t_2] \end{aligned}$$

Já para intervalos de relógio é possível transformar intervalos abertos em fechados, pois para  $\Theta_c = \tilde{\Omega}(|\Theta|)$ , temos:

$$\begin{aligned} t \in [t_1, t_2) &\Leftrightarrow t_1 \leq t \wedge t < t_2 \Rightarrow \\ &(\tilde{\Omega}t_1 \leq \tilde{\Omega}t) \wedge (\tilde{\Omega}t \leq \tilde{\Omega}t_2) \Leftrightarrow \tilde{\Omega}t \in [\tilde{\Omega}t_1, \tilde{\Omega}t_2] \end{aligned}$$

## 1.5 Relações entre intervalos no tempo real

- $\theta$  before  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{right}(\theta) < \text{left}(\theta') \stackrel{\text{def}}{\iff} \theta < \theta'$ ;
- $\theta$  equal  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \theta = \theta'$ ;
- $\theta$  meets  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{right}(\theta) = \text{left}(\theta')$ ;
- $\theta$  overlaps  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{left}(\theta) < \text{left}(\theta') < \text{right}(\theta) < \text{right}(\theta') \vee \text{left}(\theta') < \text{left}(\theta) < \text{right}(\theta') < \text{right}(\theta)$
- $\theta$  during  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{left}(\theta') < \text{left}(\theta) \wedge \text{right}(\theta) < \text{right}(\theta')$ ;
- $\theta$  starts  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{left}(\theta) = \text{left}(\theta') \wedge \text{right}(\theta) < \text{right}(\theta')$ ;
- $\theta$  finishes  $\theta'$   $\stackrel{\text{def}}{\iff} \text{right}(\theta) = \text{right}(\theta') \wedge \text{left}(\theta') < \text{left}(\theta)$ ;

### 1.5.1 Correspondência entre intervalos de tempo real e de relógio

Já vimos que a transformação de um intervalo de tempo real em um intervalo no tempo de relógio implica no “fechamento” do intervalo. Assim, as relações entre intervalos anteriormente indicadas acabam tendo interpretações diferentes quando vistas em tempo de relógio. Assim, por exemplo temos:

$\theta$  before  $\theta' \vdash \theta_c$  before  $\theta'_c \vee \theta_c$  meets  $\theta'_c$ , ou, quando visto pela transformação contrária  
 $\theta_c$  before  $\theta'_c \vdash \theta$  before  $\theta'$

As demais correspondências devem ser tomadas com ainda mais cuidado. Por exemplo, a relação *equal* em tempo de relógio pode resultar em praticamente qualquer relação de intervalos no tempo real.

## 1.6 Eventos

A representação de eventos e estados deve ser feita criteriosamente, considerando-se a noção de intervalos que acabamos de ver. Assim, definir quando um evento ocorre e em que momento um estado é válido depende das relações entre intervalos. Além disso, eventos podem ser classificados segundo características específicas, como:

- **Durativos** ou **pontuais**, de acordo com o tempo necessário para ocorrerem. Eventos durativos podem ser expressos por proposições e sua progressão é perceptível. Já eventos pontuais são instantâneos e não podem ser percebidos (ou já ocorreram ou irão ocorrer).
- **Momentâneos**, formam uma classe especial de eventos instantâneos que podem ser expressos por uma proposição e percebidos em sua ocorrência, como o ponto em que um projétil atinge sua altitude máxima.
- **Télicos** ou **atélicos**, que dizem respeito ao progresso ocorrido em um evento. Eventos télicos são aqueles que precisam terminar para que o sistema os enxergue como ocorridos. Já os atélicos precisam apenas iniciar (completar parte deles) para que sejam reconhecidos como ocorridos.

### 1.6.1 Progressão de eventos

Eventos podem ter sua progressão (ou execução) definida semanticamente de várias formas:

1. **Sentido estrito**, em que uma vez começado o evento continua até terminar;
2. **Sentido amplo**, quando pode ser interrompido, mas depois continua até terminar;
3. **Sentido aberto**, que pode ou não terminar, sendo que no caso de não terminar pode ser considerado como não ocorrido, apesar de ter tido algum progresso;
4. **Sentido fechado**, que deve necessariamente terminar.