
Sistemas de Tempo Real: Sincronização de Relógios

Rômulo Silva de Oliveira

Departamento de Automação e Sistemas – DAS – UFSC

romulo@das.ufsc.br

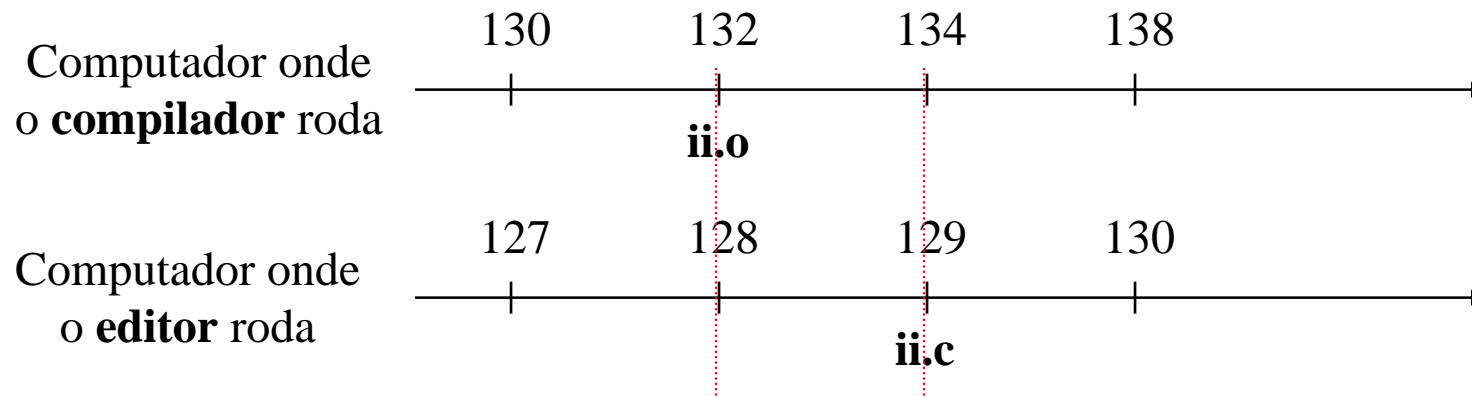
<http://www.das.ufsc.br/~romulo>

Sincronização de Relógios

- Motivação
- Relógio Lógico
- Relógio Físico - Astronômico
- Relógio Físico - Atômico
- Relógio Físico - UTC
- Relógio Físico - Computadores
- Sincronização de Relógios
- Sincronização - Uma Solução Centralizada
- Sincronização - Uma Solução Distribuída
- Sincronização através de GPS

Motivação

- Cada computador possui o seu relógio
- Sincronização dos relógios
 - Necessária para aplicação distribuída dirigida pelo tempo
 - Estabelece ordem entre os eventos internos ao sistema computacional (pode ser feito com relógio lógico)
 - Estabelece ordem entre eventos do computador e do mundo
- Exemplo de problema



Relógio Lógico

- Sincronização baseada em relógio lógico
 - Tempo lógico, sem relação com relógio da parede
 - Estabelece concordância sobre a ordem dos eventos
- Lamport, 1978, relação “acontece-antes”: \rightarrow
 - Se A e B são eventos do mesmo processo e A aconteceu antes de B então $A \rightarrow B$
 - Se A é o evento de enviar uma mensagem e B o evento de receber esta mensagem então $A \rightarrow B$
 - Eventos podem ser concorrentes
 - Relação transitiva: se $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$ então $A \rightarrow C$
 - Objetivo: Se $A \rightarrow B$ então $\text{Clock}(A) < \text{Clock}(B)$

Relógio Lógico

- Implementação: Receptor deve manter coerência adiantando relógio

00	00	00
06	08	10
12	16	20
18	24	30
24	32	40
30	40	50
36	51	60
42	59	70
60	67	80
66	75	90

Relógio Lógico

- Não serve quando
 - Hora do mundo real é necessária
 - Distância temporal é relevante

- Exemplo:
 - Falha em sistema de distribuição de energia elétrica
 - Linha de transmissão por centenas de quilômetros
 - Equipamentos espalhados por toda a linha registram eventos
 - O que aconteceu antes do que ?
 - Quanto tempo levou entre dois eventos registrados ?

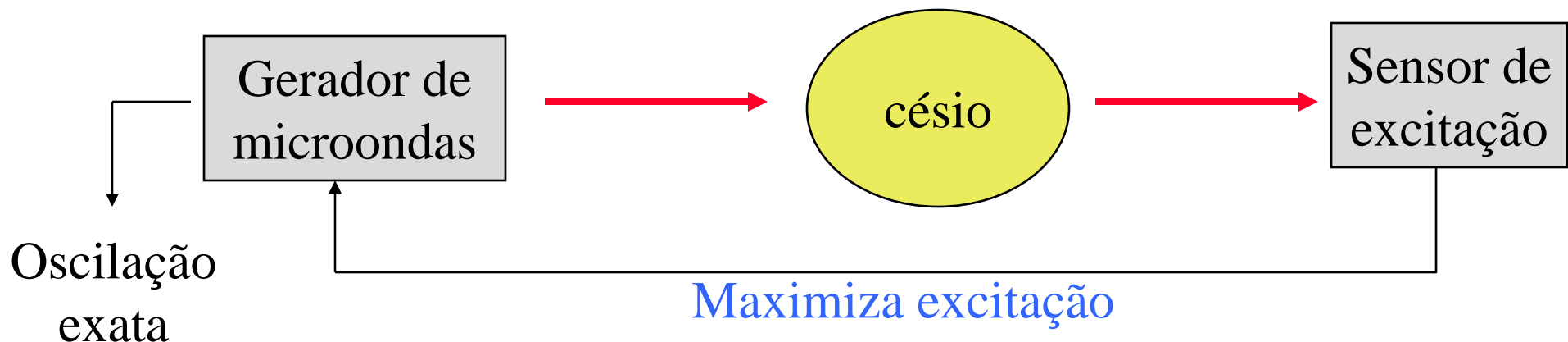
Relógio Físico - Astronômico

- Medição do tempo em termos **astronômicos**
 - Sol no ponto aparente mais alto: Trânsito Solar
 - Intervalo entre dois trânsitos solares: Dia Solar
 - $1/(24*3600)$ do Dia Solar: Segundo Solar

- Rotação da terra diminui com o tempo
 - 400 dias por ano a 300 milhões de anos atrás
 - Os dias estão ficando mais longos
 - Segundo Solar Médio - média de vários dias

Relógio Físico - Atômico

- Medição do tempo em termos **atômicos**
- Em 1948 foi criado o relógio atômico
 - Definição de segundo: Tempo necessário para ocorrerem 9.192.631.770 transições do átomo de césio 133
 - Por quê 9.192.631.770 ?
 - Resulta em 1 segundo solar médio no ano em que o relógio atômico foi introduzido



Relógio Físico - Atômico

- Atualmente dezenas de laboratórios no mundo possuem um relógio atômico
- Coordenados pelo Bureau International de l'Heure - BIH, Paris-França
- Cada laboratório informa o BIH quantos ticks ocorreram
- BIH faz a média, produz o
International Atomic Time - TAI
- TAI é a média de ticks contados desde 1/jan/58

Relógio Físico - UTC

- Problema:

24*3600 segundos do TAI é

3mS menor que o dia solar médio

- Dia solar médio está ficando maior
- Rotação da terra está ficando mais lenta

- Usando somente o TAI

- Meio-dia do relógio e do sol ficariam diferentes

Relógio Físico - UTC

- Solução:
 - BIH atrasa segundos para manter o TAI em sincronia com o sol
 - Sempre que diferença entre TAI e tempo solar passa de 800 mS
 - Até hoje cerca de 30 segundos foram atrasados
- Relógio Atômico Corrigido é chamado de

UTC - Universal Coordinated Time

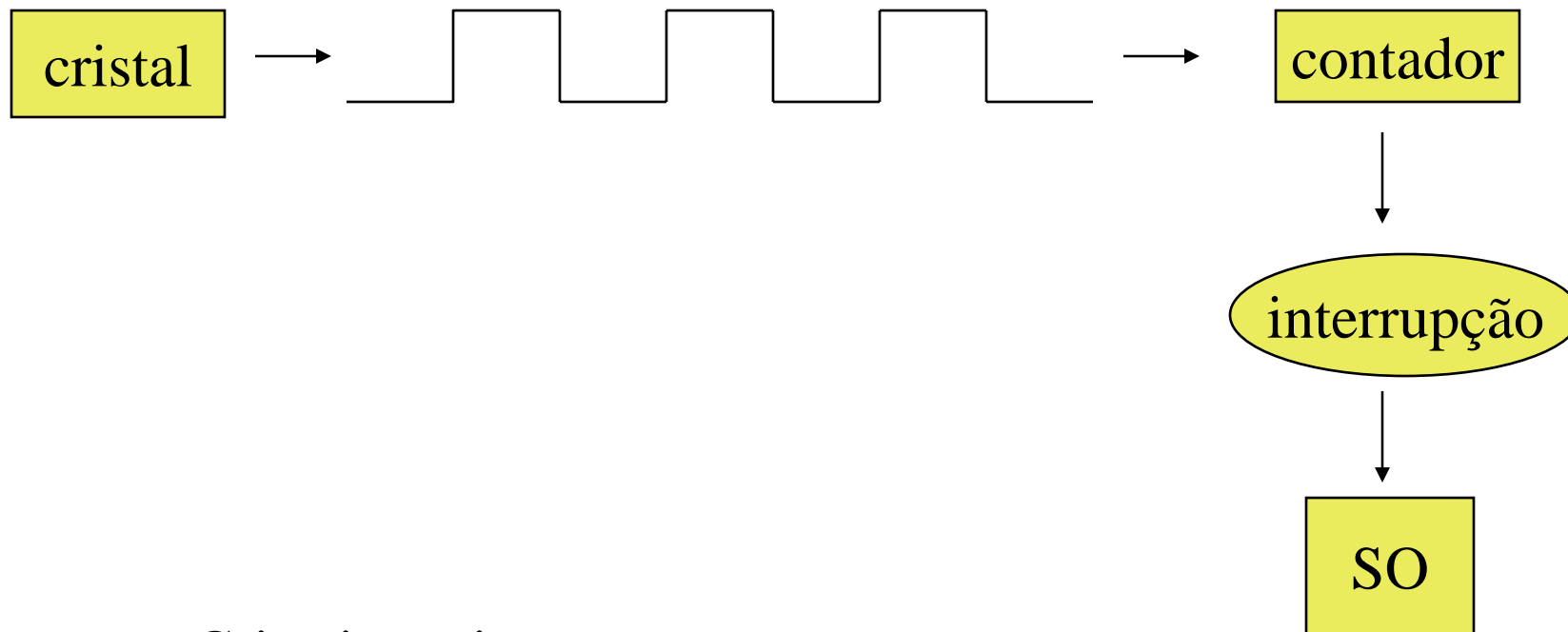
Relógio Físico - UTC

- Como obter o UTC - Universal Coordinated Time ?
 - Estações de rádio de ondas curtas
 - Erro em torno de 5 mS
 - Satélites
 - GEOS - Geostationary Environment Operational Satellite
 - Erro em torno de 0.5 mS
 - Atualmente: GPS
- É necessário saber a distância entre transmissor e receptor
 - Para compensar o tempo de propagação

Relógio Físico - Computadores

- Cristais de quartzo sob tensão
 - Oscilam em uma frequência bem definida
 - Frequência depende do tipo de cristal, lapidação e tensão
- Um contador (Timer) é iniciado com algum valor
- Cada oscilação do cristal decrementa o contador
- Quando contador chega a zero
 - Interrupção é gerada (clock tick)
 - Contador é reinicializado
- Período das interrupções definido pelo valor colocado na inicialização do timer

Relógio Físico - Computadores



- Cristais variam
 - É impossível produzir cristais com frequência exatamente igual
 - Na prática é preciso considerar frequências ligeiramente diferentes

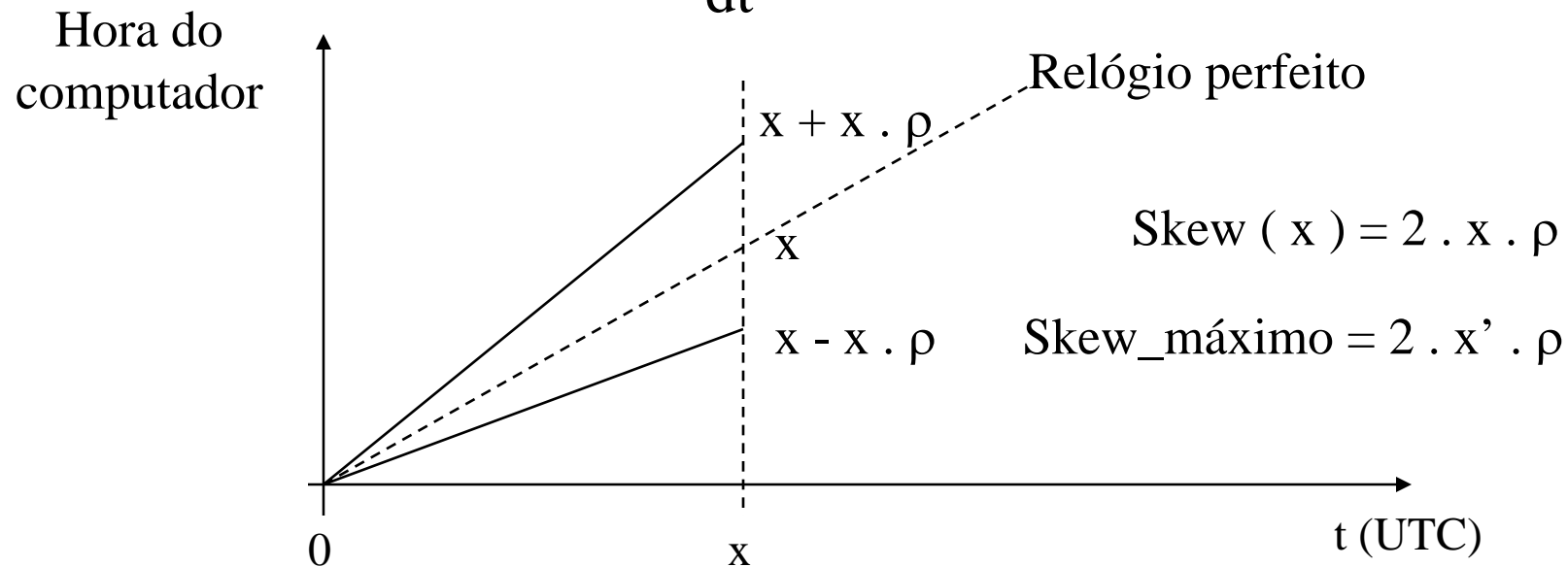
Sincronização de Relógios

- Seja t a hora UTC
- Seja $C_p(t)$ a hora indicada pela máquina p no instante t
- Ideal: Para qualquer p , qualquer t , $C_p(t) = t$
- Ou ainda: $dC / dt = 1$
 - $dC / dt > 1$ indica relógio muito rápido
 - $dC / dt < 1$ indica relógio muito lento
- Exemplo: Timer deve gerar 60 interrupções por segundo
 - Resulta em $60 * 60 * 60 = 216000$ ticks por hora
 - Erro típico é de 10^{-5}
 - Máquina típica vai gerar entre 215998 e 216002 ticks por hora
- Diferença absoluta entre relógios é chamada **SKEW**

Sincronização de Relógios

- Drift Rate máximo - ρ
 - Indica a precisão do timer
 - Definido por:

$$1 - \rho \leq \frac{dC}{dt} \leq 1 + \rho$$



Sincronização - Solução Centralizada

- Time Server, Cristian, 1989
- Time Server tem acesso ao UTC
- Periodicamente, no máximo a cada $\text{Skew_máximo} / 2 \cdot \rho$
 - Clientes perguntam a hora
 - Time Server responde a UTC
- Se $\text{UTC} < \text{hora local}$
 - Não pode atrasar o relógio
 - Faz a correção gradualmente
- Tempo para comunicação entre clientes e servidores
 - Mede atraso entre request e reply, divide por 2
 - Usa média do atraso de vários pares request-reply
 - Considera tempo de processamento do server

Sincronização - Solução Distribuída

- Não existe um servidor centralizado
- Intervalos de sincronização:
 - i -ésimo intervalo entre $T_0 + i.R$ e $T_0 + (i+1).R$
- No início de cada intervalo:
 - Cada máquina difunde a sua hora local
 - Relógios desincronizados, difusão não ocorre ao mesmo tempo
- Após enviar a sua hora:
 - Cada máquina coleta todas as outras difusões
 - Limita coleta a um intervalo S
 - Descarta valores extremos
 - Estima atrasos de comunicação e processamento
 - Computa nova hora local fazendo a média

Sincronização Através de GPS

- GPS - Global Positioning System
- Sistema de navegação baseado em satélites orbitando a terra
- Fornece 24 horas por dia, no globo inteiro:
 - Posição precisa em 3 dimensões
 - Tempo preciso, relacionado com o UTC
- Operado pela Força Aérea americana, dirigido pelo DoD
- Projetado originalmente para fins militares
- Atualmente usado largamente para fins civis:
 - Monitoração de veículos, mapeamento, navegação
- Capacidade operacional completa em julho de 1995
- 50+ empresas fornecem 275+ modelos de receptores (1997)

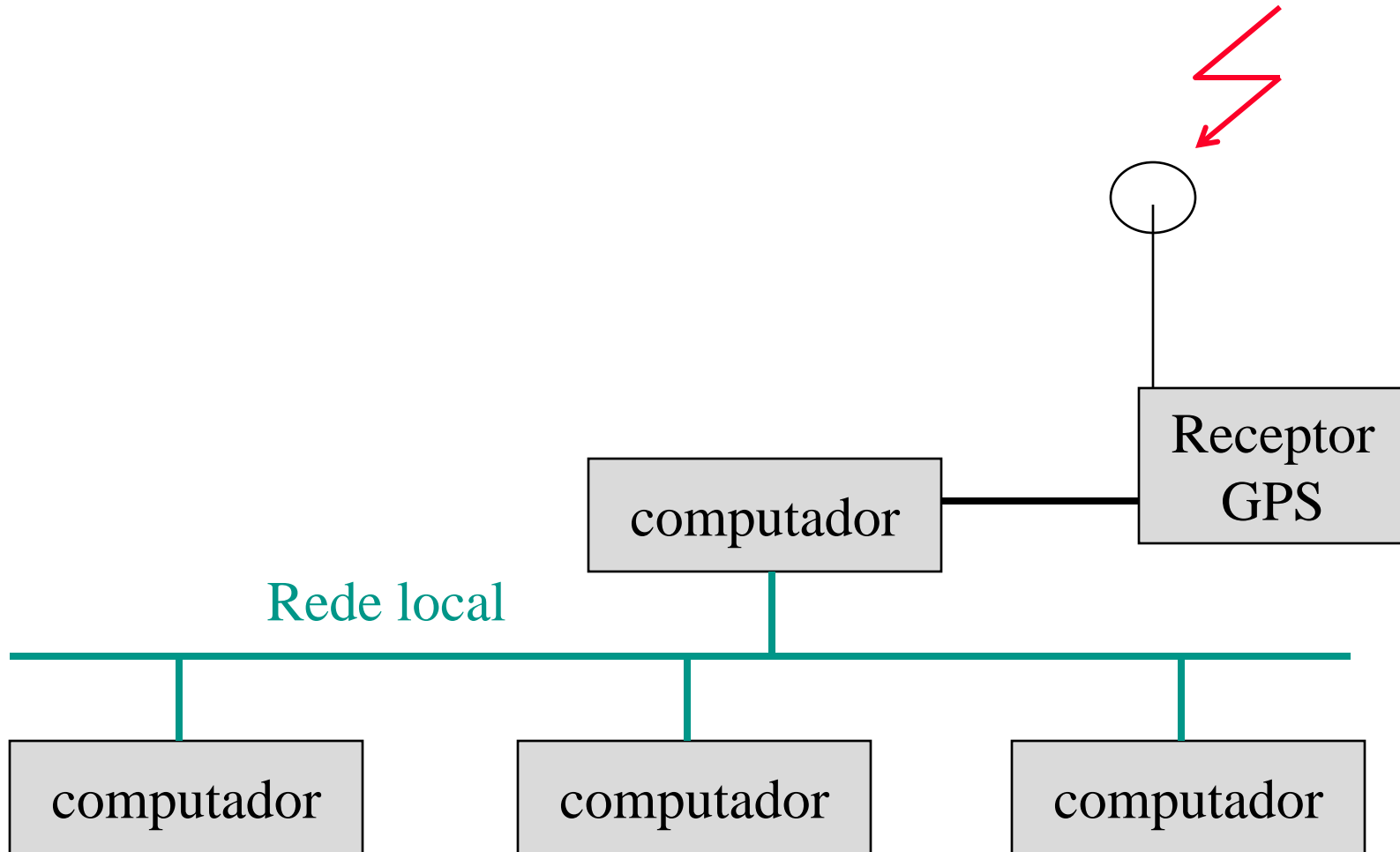
Sincronização Através de GPS

- Níveis de precisão diferentes para civis e militares
- SPS - Standard Positioning Service
 - Disponível sem restrições no mundo inteiro
 - Precisão horizontal de 100m (95%)
 - Precisão vertical de 156m (95%)
 - Precisão temporal de 340nS (95%)
- PPS - Precise Positioning Service
 - Uso restrito, precisão (95%) de 22m, 27.7m e 200nS
- 21 satélites + 3 satélites reserva
- 6 planos orbitais com inclinação de 55 graus
- Altura 20.200 Km, órbitas de 12 horas

Sincronização Através de GPS

- GPS-Time expresso em semanas e segundos desde 6/jan/1980 UTC
- Não inclui segundos atrasados (leap-seconds), ex: 11 em 1/1/96
- Mantido por relógios atômicos em terra e nos satélites
- Receptores para tempo são diferentes dos para navegação
 - Em geral assumem posição fixa e conhecida
 - Atrasos na antena, cabo e eletrônica devem ser computados
- 29 empresas (1995) produzem “GPS time and frequency receivers”
- Preço entre US\$ 200,00 e US\$ 60.000,00
- Muitos sinalizam tempo via RS-232, IEEE-488 e ethernet
- Problema: Colocação da antena é crítica
 - Visada direta entre antena e satélite, reflexos, perdas no cabo
 - Determinação da posição da antena

Sincronização Através de GPS



Resumo

- Algumas aplicações necessitam manipular o tempo
- Relógio lógico serve para determinar ordem dos eventos
- Relógio Físico
 - Astronômico
 - Atômico
 - UTC
- Computadores utilizam a oscilação dos cristais
- Sincronização de Relógios é por vezes necessária
 - Algoritmo centralizado
 - Algoritmo distribuído
 - Através de GPS