



*BC-1503*  
*Arquitetura de Computadores*



Universidade Federal do ABC

# Arquitetura de Computadores Paralelos

Guiou Kobayashi  
[guiou.kobayashi@ufabc.edu.br](mailto:guiou.kobayashi@ufabc.edu.br)

2º Quadrimestre, 2014



## CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- História e Evolução dos Computadores e Sistemas
- Estrutura de Computadores Digitais
- Lógica Digital Binária
- Processamento
- Instruções e linguagem de máquina
- Microprocessadores modernos: pipeline, super escalar, RISC
- Memórias cache e gerenciamento de memórias
- Arquitetura de computadores pessoais
- **Arquitetura de Computadores Paralelos**
- Sistemas Computacionais: desempenho e confiabilidade



# Arquitetura de Computadores Paralelos



### COMPUTADORES PARALELOS

Computadores de arquitetura paralela, desenvolvidos especialmente para aplicações que exigem alto desempenho computacional: alta capacidade e elevada performance (velocidade)

- performance sustentada

Exemplos de aplicações típicas:

- modelagem física: estrutura, fluidos, deformações. Indústria automobilística, aeroespacial, petróleo;
- modelagem bioquímica: estrutura molecular. Indústria química e farmacêutica;
- análise de sinais: astronomia, petróleo;
- previsão de tempo;
- pesquisa científica em geral;
- órgãos governamentais: armamentos, modelagem nuclear.

Processamento X Programação: características do problema definem a arquitetura

- processamento vetorial: arquitetura principal dos supercomputadores
- multiprocessamento (MPP): computadores com processadores massivamente paralelos
- cluster computers: arquiteturas compostas por computadores comerciais (servers e workstations)

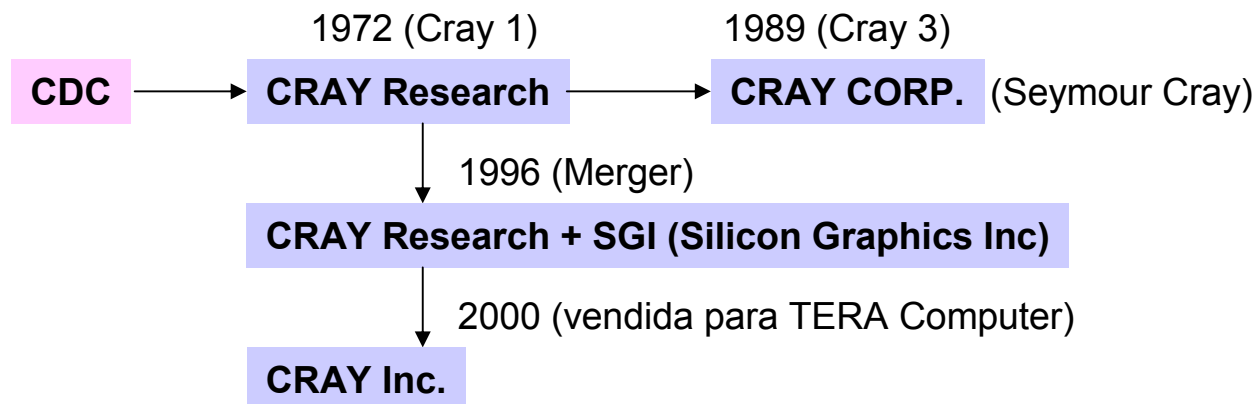
Principais Fabricantes:

- Cray, NEC, CDC Convex (Vector)
- Thinking Machines, MasPar, SGI Origin, Hitachi (MPP)
- IBM SP2, SGI PowerChallenge (Cluster)

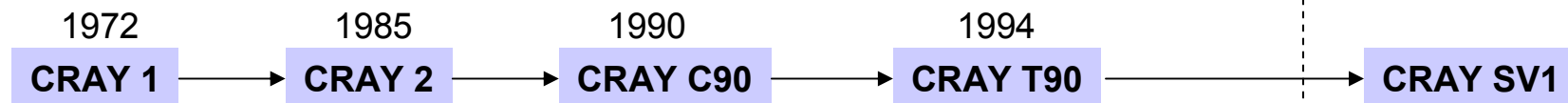


## HISTÓRICO - CRAY

SEYMOUR CRAY  
(1925 - 1996)



## VECTOR PROCESSORS

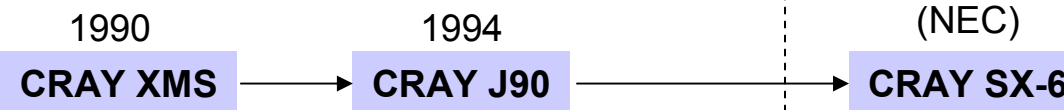


## MULTIPROCESSORS



## MPP

## MINISUPER





### CRAY T3E



- 40 a 2176 Elementos RISC
- 256 ou 512 MB RAM cada
- conexão Toroidal duplo
- 42 a 166 GB/s

### CRAY MTA



- projeto original da TERA
- paralelismo compilador
- multi-thread
- 16 a 256 processadores
- memória compartilhada até 1 TB
- facilidade programação

### CRAY SV1



- arquitetura clássica vetorial, até 24 elementos
- CPU de 8 GFlop
- Memória 128 GB

### CRAY HPC-Cluster



- conjunto de Elementos comerciais de baixo custo: Dell PowerEdge
- interconexão rede de alta velocidade
- software da Cray (Linux)
- balanceamento





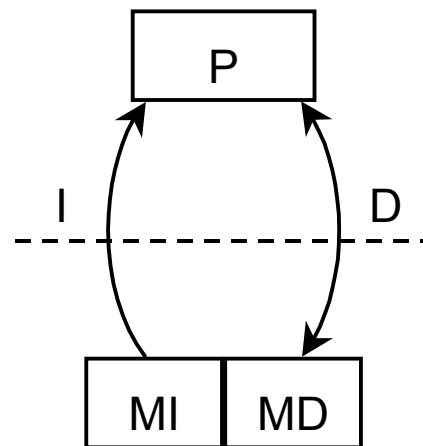
## CLASSIFICAÇÃO DOS COMPUTADORES PARALELOS

Uma classificação genérica de um sistema de computador que perdura até hoje devida à sua simplicidade, é aquela clássica, apresentada por Flynn [FLYNN, 1972], na qual uma máquina é caracterizada através da maneira como trata as suas instruções e os seus dados. As categorias são:

- SISD* - “*Single Instruction, Single Data*”;
- SIMD* - “*Single Instruction, Multiple Data*”;
- MISD* - “*Multiple Instruction, Single Data*”;
- MIMD* - “*Multiple Instruction, Multiple Data*”.

### SISD

Computador von Newmann



Legenda:

P: Processador

MI: Memória de Instruções

MD: Memória de Dados

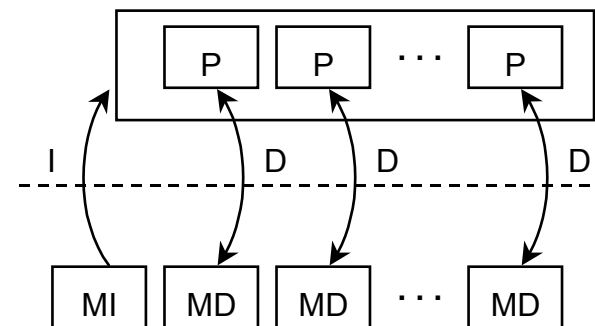
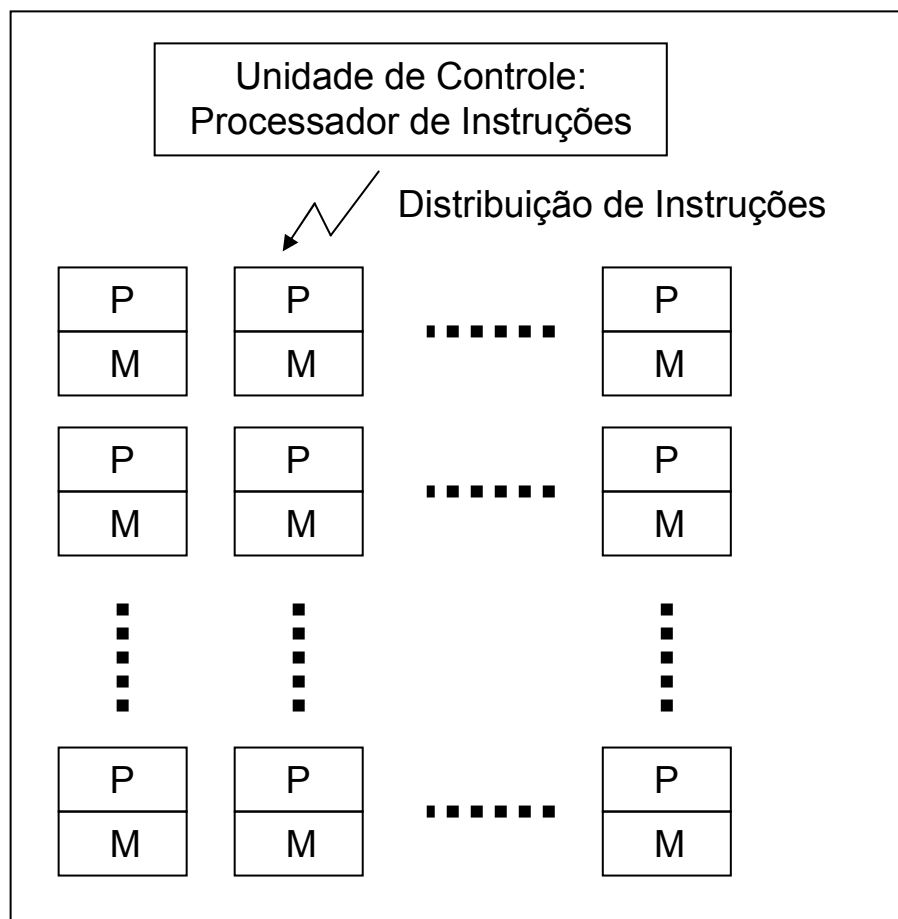
I: Fluxo de Instruções

D: Fluxo de Dados

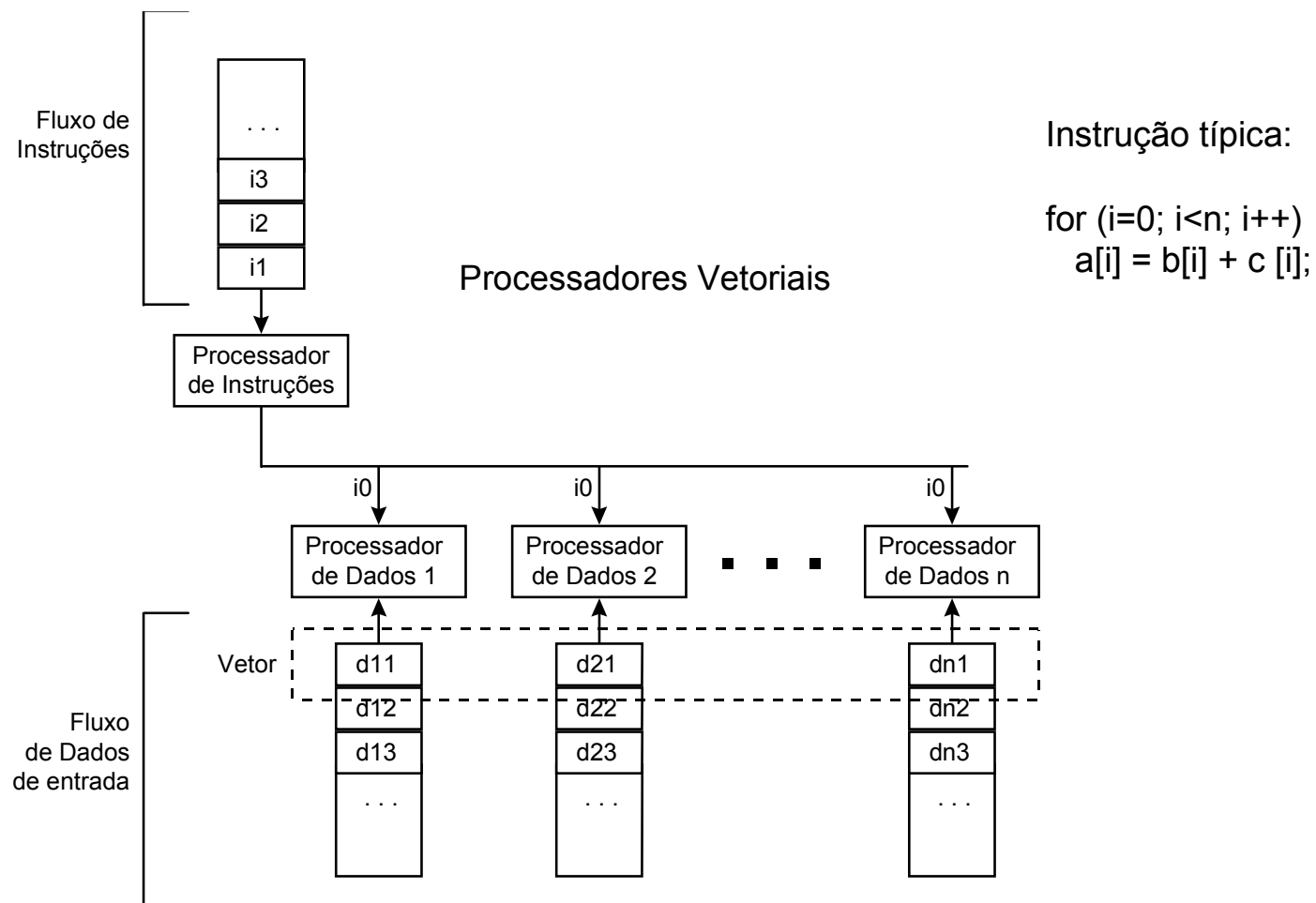


## SIMD

Array Processors







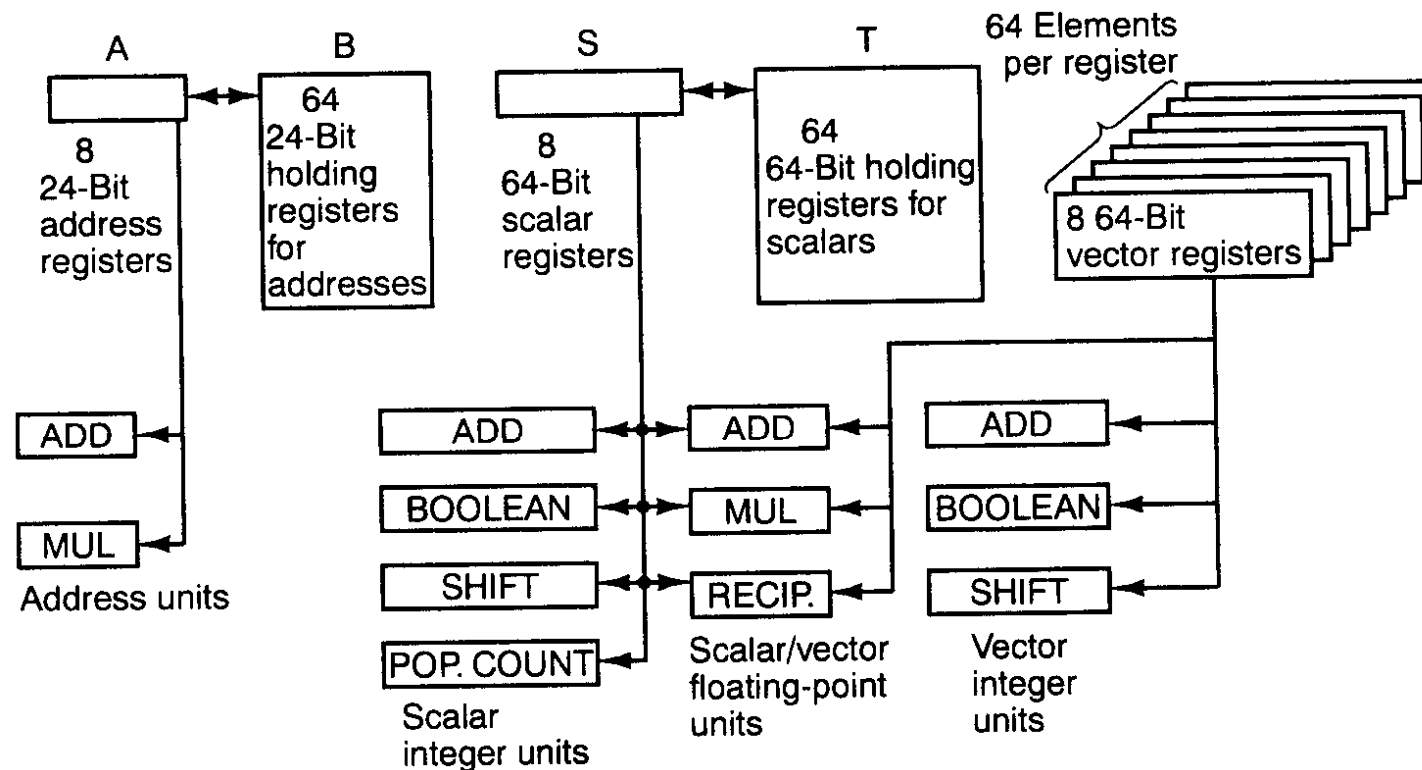
Obs.: por simplificação, não foram representados os demais operandos e os dados de saída



## Exemplo de Computador Vetorial SIMD

Supercomputador Cray-1

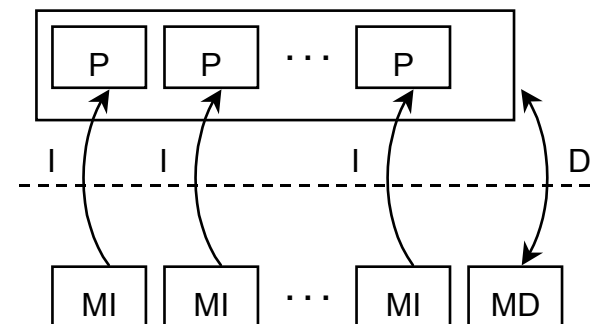
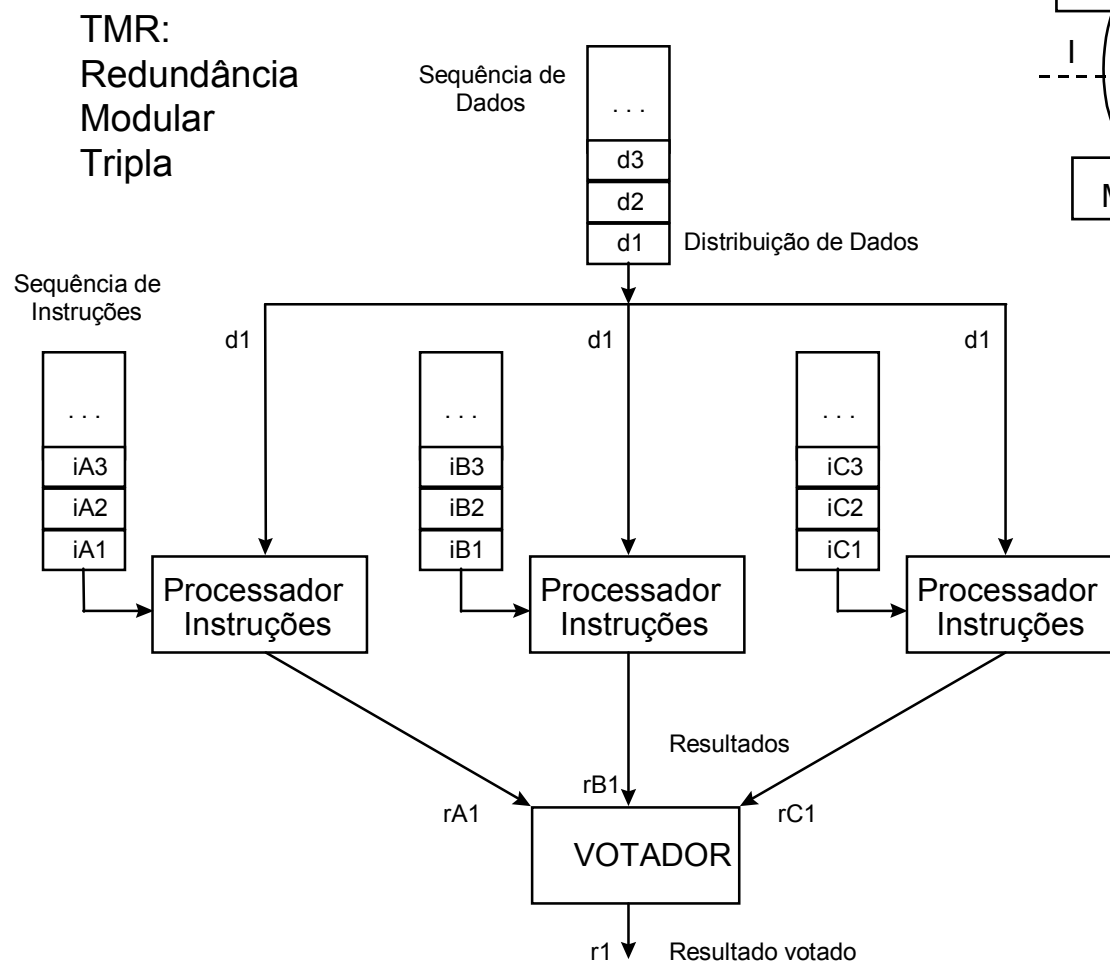
- computador mais poderoso da época (meio a fins de 1970)
- clock 80 MHz e 8 MB de memória principal



**Figure 8-19.** Registers and functional units of the Cray-1



## MISD



Arquitetura de processadores  
Tolerantes a Falha

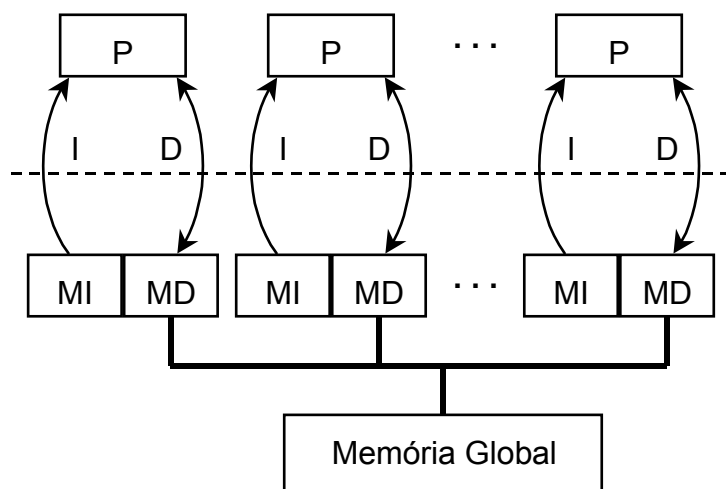


## MIMD

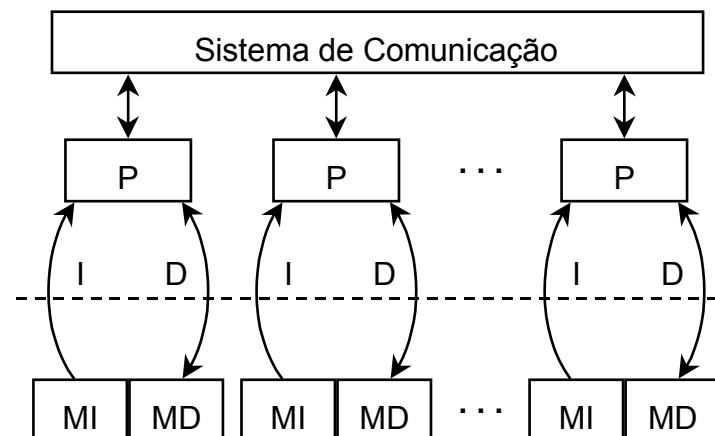
Multiprocessamento: Sistemas Massivamente Paralelos (MMP)

Multicomputadores: Sistemas Distribuídos

MIMD com memória compartilhada

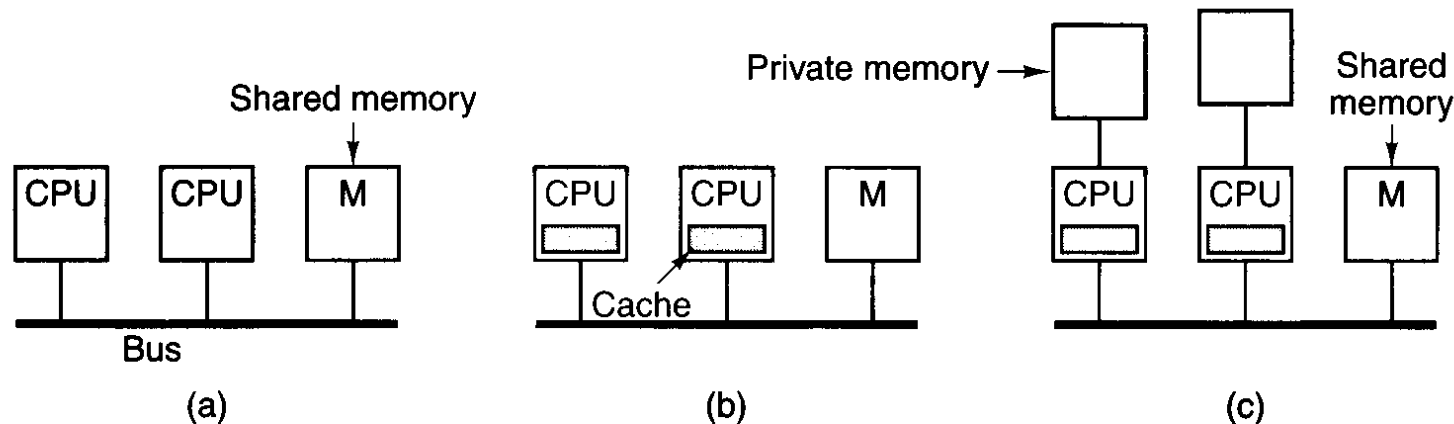


MIMD com troca de mensagens





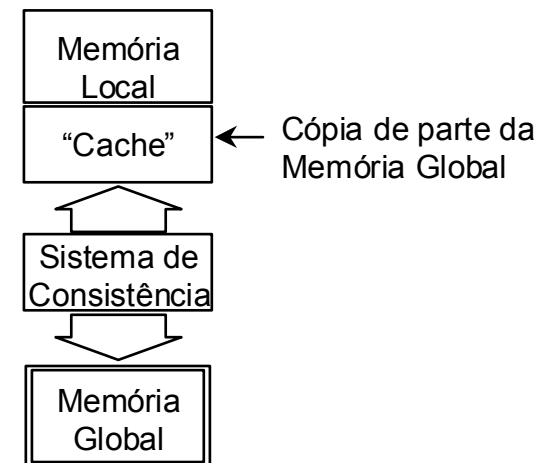
## MIMD MEMÓRIA CACHE



**Figure 8-22.** Three bus-based multiprocessors. (a) Without caching. (b) With caching. (c) With caching and private memories.

Na prática:

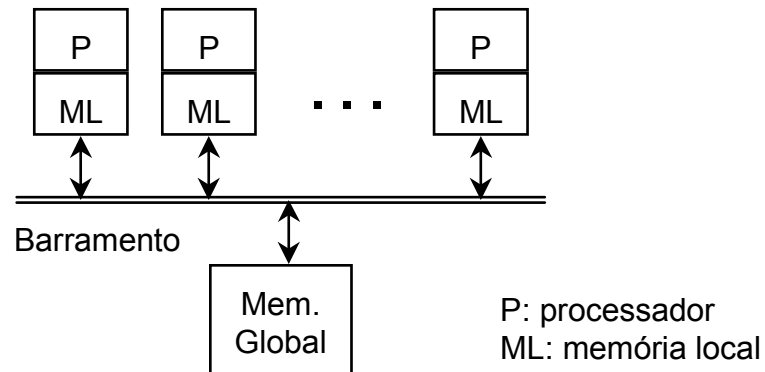
- barramento é o gargalo do sistema
- dificuldade em manter a consistência do Cache
- limite no número de UCPs (dezenas)



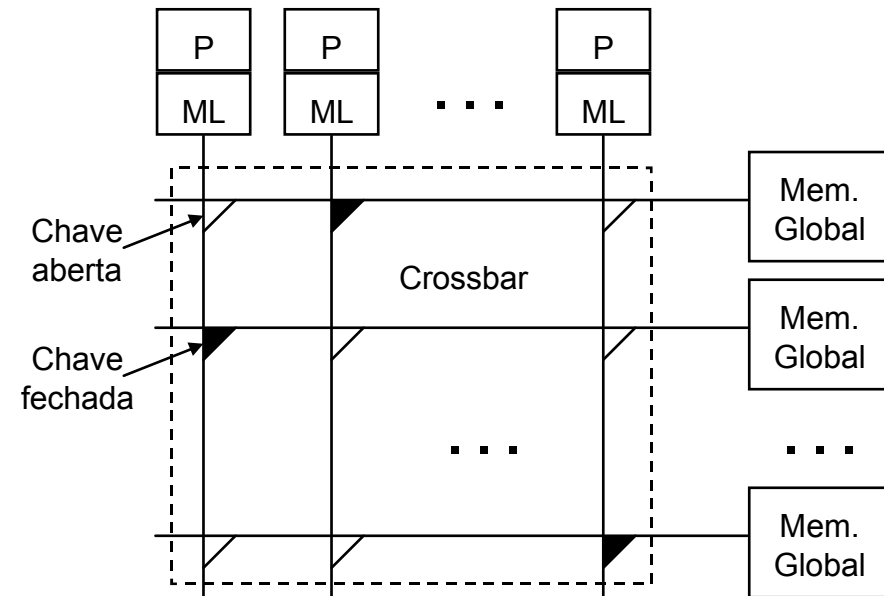


## MIMD MEMÓRIA COMPARTILHADA

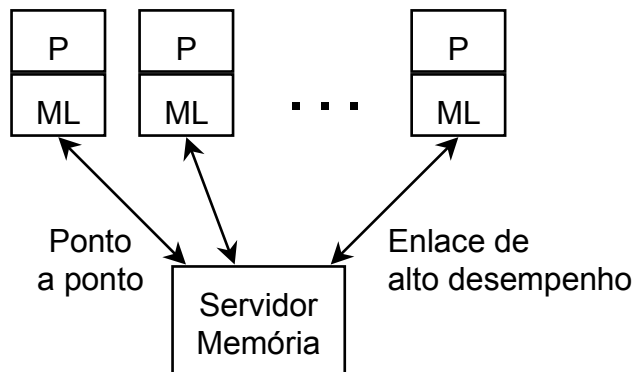
Através de Barramento



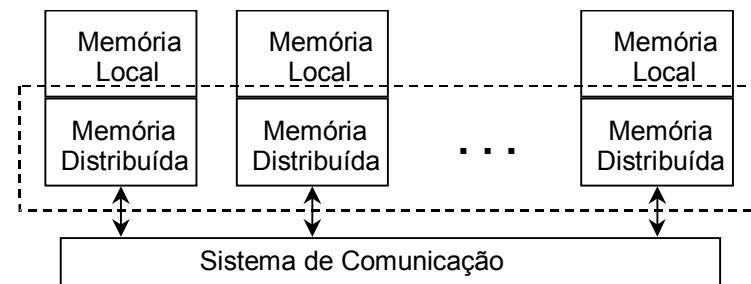
Através de Crossbar



Através de Servidor de Memória



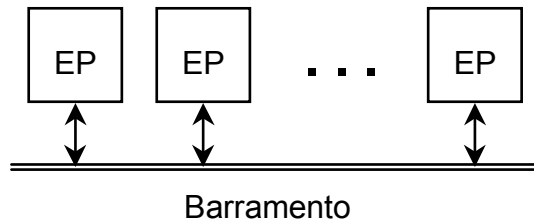
Memória Distribuída com controle de integridade



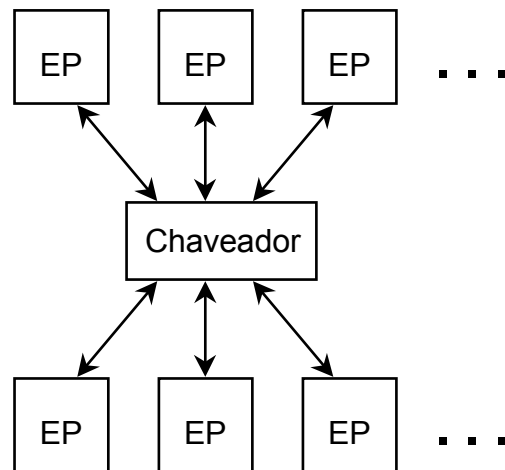


## MIMD TROCA DE MENSAGENS

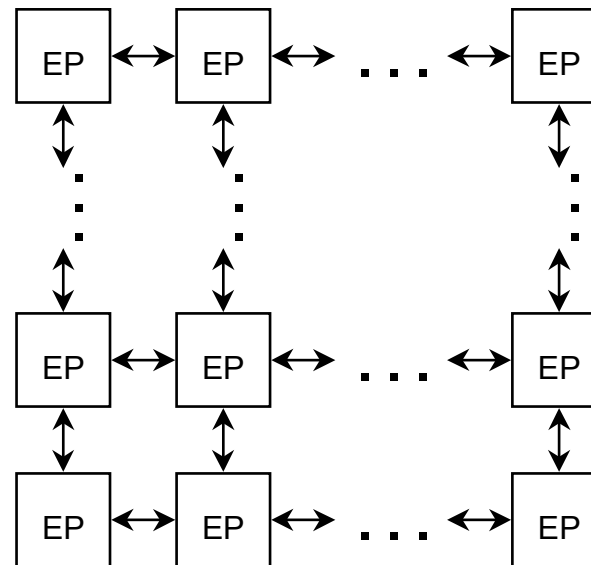
Interconexão por barramento serial ou paralelo



Conexão por chaveador

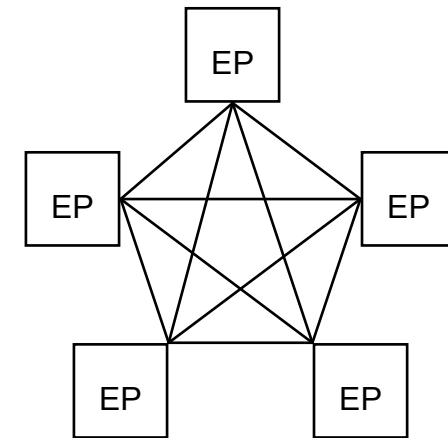


Conexão em Malha (Mesh)

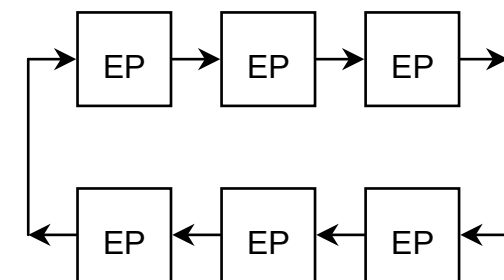


Problema básico: como interligar milhares de Elementos Processadores - Questão de topologia de rede

Conexão total ponto a ponto



Conexão em anel

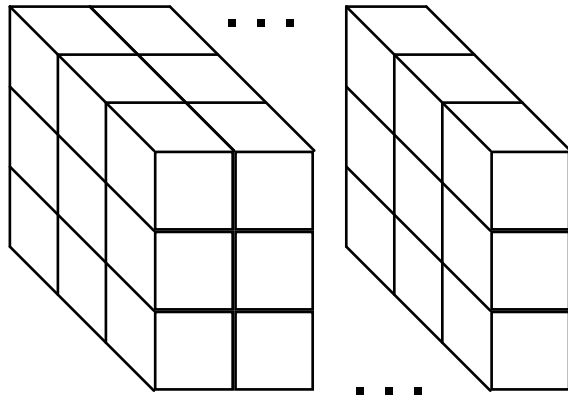




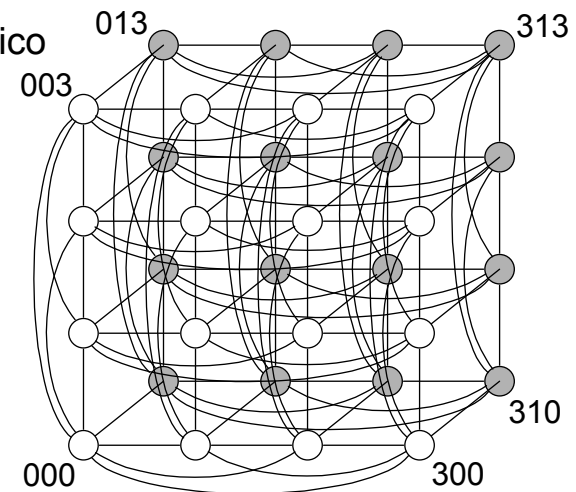


## MIMD TROCA DE MENSAGENS: HIPERCUBOS

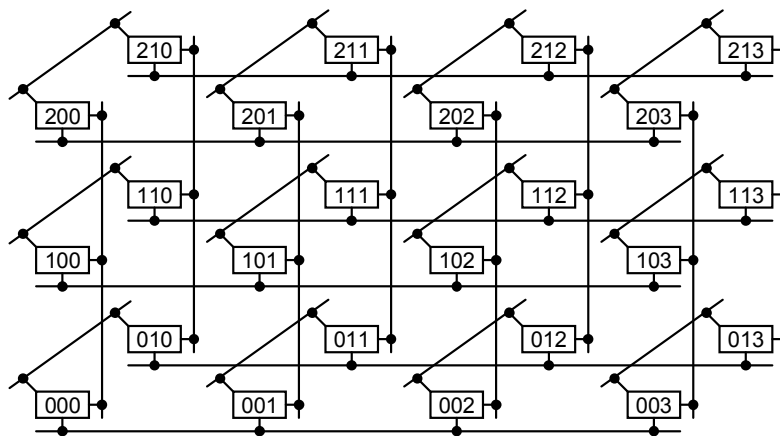
Hipercubo Clássico



Hipercubo Genérico

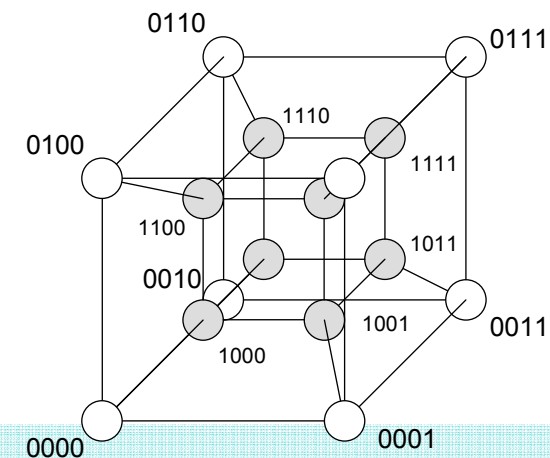


Hipercubo com Múltiplo Acesso



Coordenadas:  $ijk$

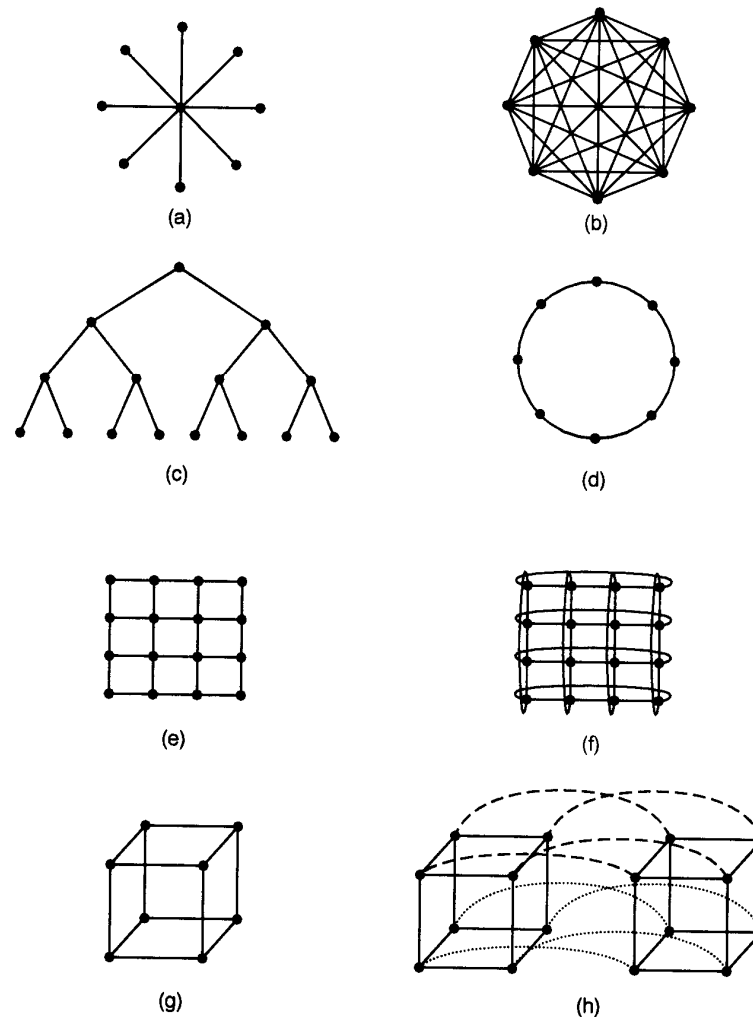
Booleano





## TOPOLOGIAS DE INTERCONEXÃO

Conexão de:  
Memórias  
Processadores  
Computadores



**Figure 8-4.** Various topologies. The heavy dots represent switches. The CPUs and memories are not shown. (a) A star. (b) A complete interconnect. (c) A tree. (d) A ring. (e) A grid. (f) A double torus. (g) A cube. (h) A 4D hypercube.



## QUESTÕES BÁSICAS

### NÍVEIS DE PARALELISMO:

divisão a partir de uma atividade única

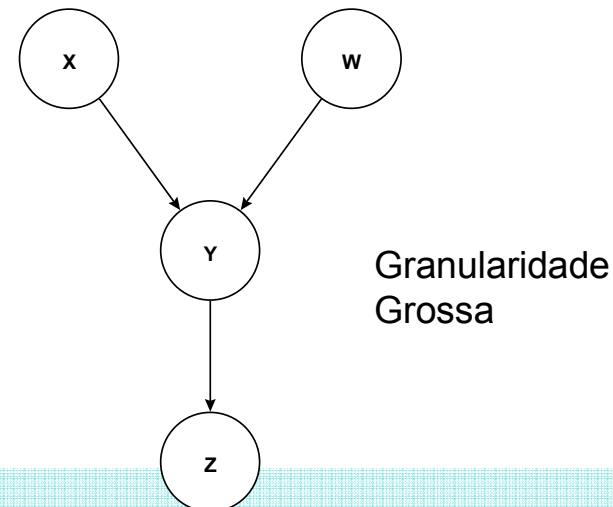
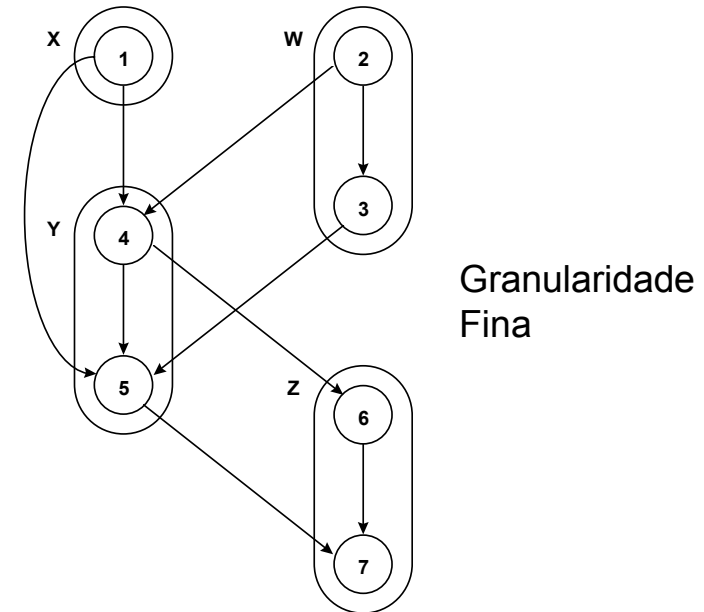
- execução de trabalho ("job"),
- execução de tarefa ("task"),
- execução de função ("thread"),
- execução de instrução,
- transferência de registros e dispositivos lógicos (hardware).

### ORGANIZAÇÃO para execução paralela

- particionamento / granularidade;
- escalação e distribuição (fork);
- sincronização;
- comunicação (join).

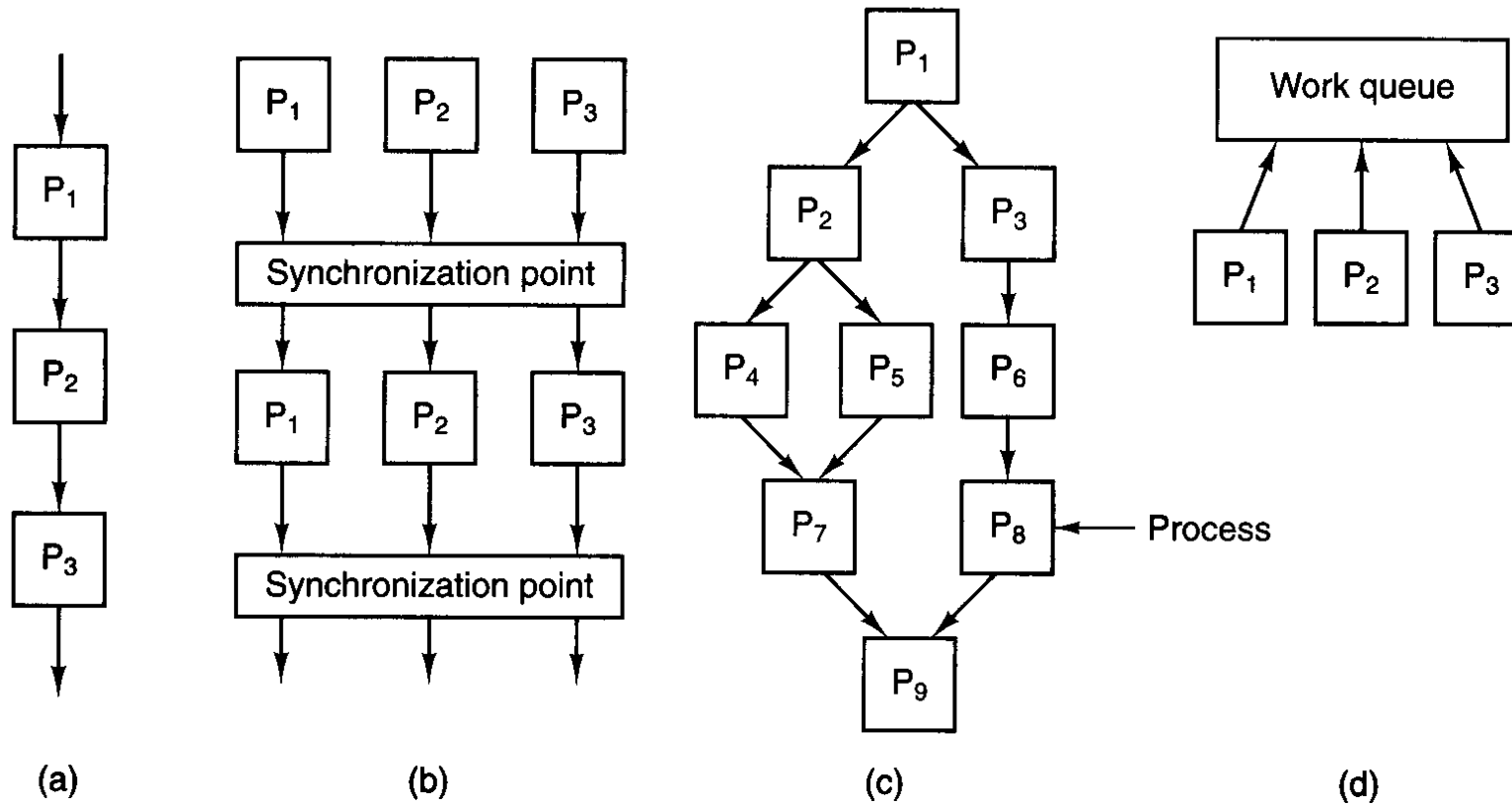
### Grau de ACOPLAMENTO:

- fraco: sistemas distribuídos
- forte: nível de registros





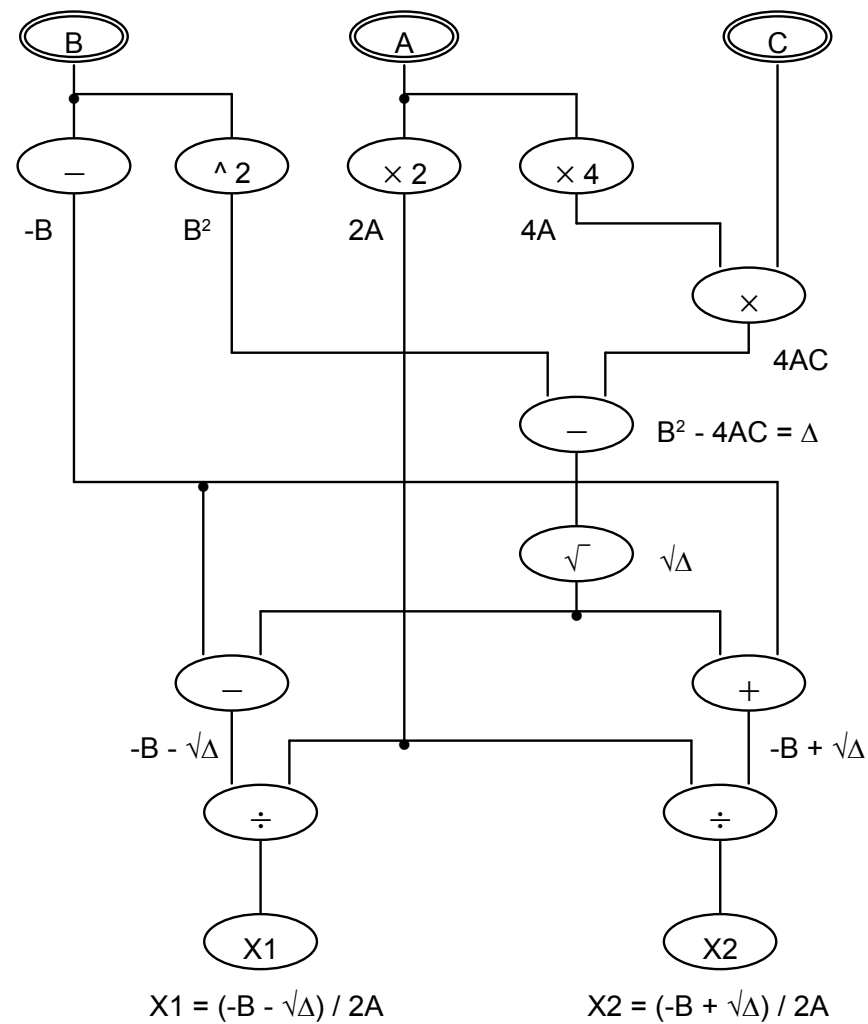
PARADIGMAS DE PROCESSAMENTO



**Figure 8-11.** Computational paradigms. (a) Pipeline. (b) Phased computation. (c) Divide and conquer. (d) Replicated worker.

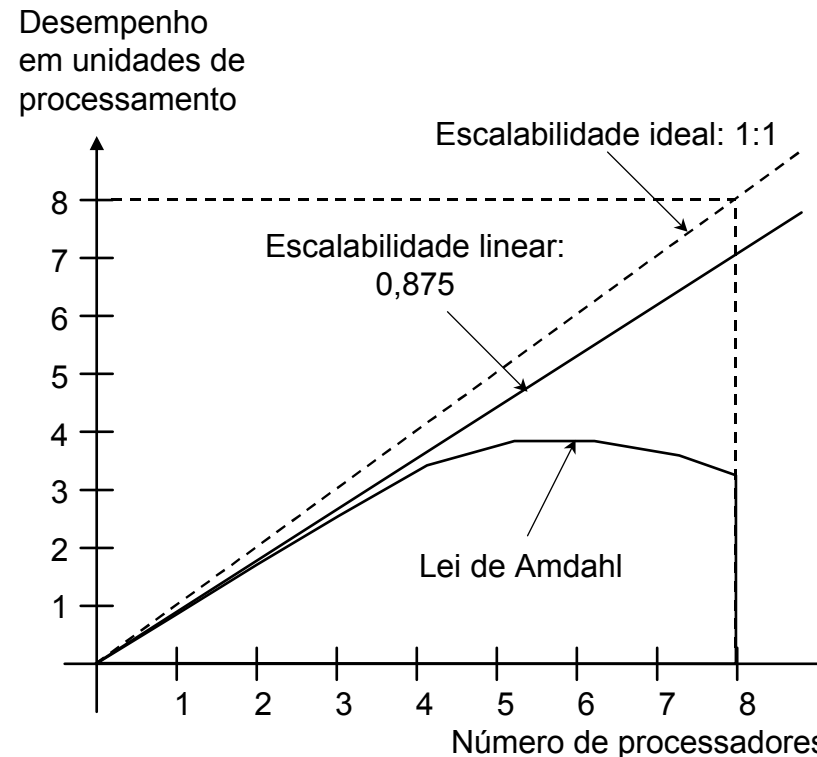


## PARADIGMA DATA-FLOW





## “LEI” DE AMDAHL



“Lei de Amdahl” (1967): interligar computadores em paralelo para realizar uma tarefa implica em coordenar esta solução cooperativa, gerando um "overhead" de natureza seqüencial. Assim, este "overhead" suplantaria a capacidade agregada, estabelecendo um limite superior ao incremento da capacidade de processamento.