

**Universidade de São Paulo**  
**Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação**  
**Departamento de Sistemas de Computação**  
**Laboratório de Sistemas Distribuídos e Programação Concorrente**

Notas de Aulas da Disciplina  
SSC0903 – Computação de Alto Desempenho

Módulo 2 – Arquiteturas Paralelas – Redes de Conexão

*por Paulo Sérgio Lopes de Souza*

Este material pode ser utilizado livremente para atividades de ensino desde que a autoria deste conteúdo seja explicitamente indicada durante o seu uso.

São Carlos/SP – Brasil – 2020

## Conteúdo

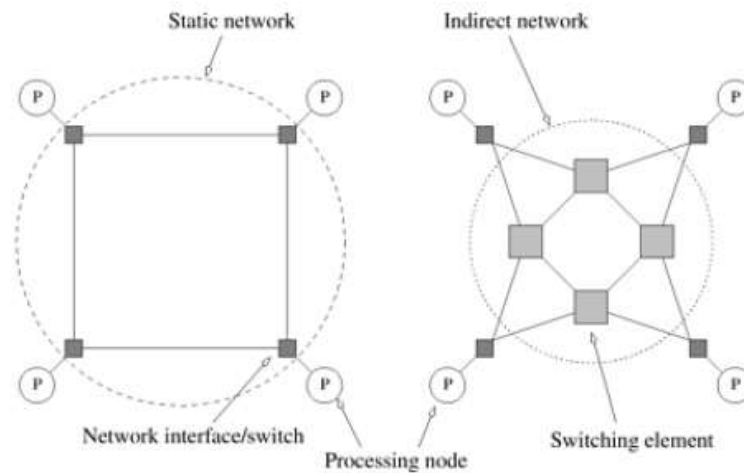
2 Arquiteturas Paralelas (continuação).....	1
2.1 Redes de Conexão nas Arquiteturas Paralelas.....	1
2.1.1 Organização e Componentes Básicos.....	1
2.1.2 Propriedades das Redes de Conexão.....	1
2.1.2.1 Topologia.....	1
2.1.2.2 Diâmetro da rede.....	1
2.1.2.3 Grau do nó.....	1
2.1.2.4 Latência.....	1
2.1.2.5 Conectividade do nó e Conectividade de aresta.....	1
2.1.2.6 Largura da bisseção.....	1
2.1.2.7 Largura do Canal.....	1
2.1.2.8 Largura de banda da bisseção.....	1
2.1.2.9 Custo do hardware.....	2
2.1.2.10 Throughput da rede.....	2
2.1.2.11 Funções de Roteamento.....	2
2.1.2.12 Funções de chaveamento.....	2
2.1.2.13 Redes bloqueantes e não bloqueantes.....	2
2.1.2.14 Dimensão da Rede de Conexão.....	2
2.1.2.15 Broadcast e Multicast.....	2
2.1.3 Topologias de Redes em Arquiteturas Paralelas/Distribuídas.....	2
2.1.3.1. Topologias Dinâmicas.....	2
2.1.3.2. Topologias Estáticas.....	6
2.2 Considerações Finais de Arquitetura Paralelas.....	8
Referências.....	8

## 2 Arquiteturas Paralelas (continuação)

### 2.1 Redes de Conexão nas Arquiteturas Paralelas

#### 2.1.1 Organização e Componentes Básicos

**Figure 2.6. Classification of interconnection networks: (a) a static network; and (b) a dynamic network.**



(Grama et al., 2003)

#### Definições de nós, links, switches e interfaces

#### Redes estáticas e dinâmicas:

#### 2.1.2 Propriedades das Redes de Conexão

(Grama Seção 2.4.4, Unit 3, section 3.2,

Caracterizam redes de conexão em termos de organização, funcionalidade, desempenho e custo.

##### 2.1.2.1 Topologia

##### 2.1.2.2 Diâmetro da rede

##### 2.1.2.3 Grau do nó

##### 2.1.2.4 Latência

##### 2.1.2.5 Conectividade do nó e Conectividade de aresta

##### 2.1.2.6 Largura da bisseção

##### 2.1.2.7 Largura do Canal

##### 2.1.2.8 Largura de banda da bisseção

2.1.2.9 Custo do hardware

2.1.2.10 *Throughput* da rede

2.1.2.11 Funções de Roteamento

2.1.2.12 Funções de chaveamento

2.1.2.13 Redes bloqueantes e não bloqueantes

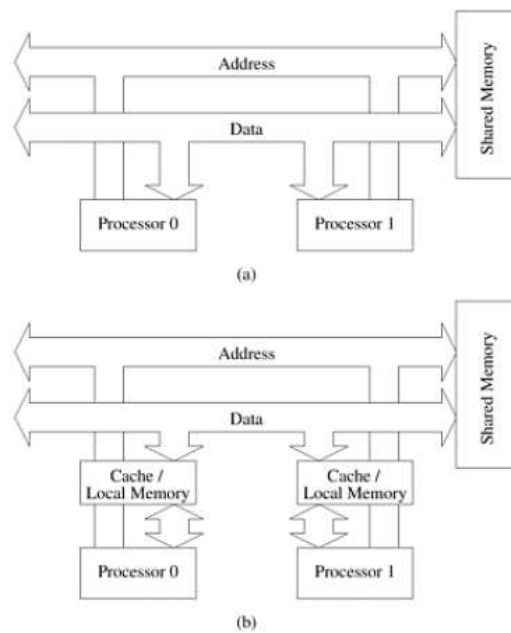
2.1.2.14 Dimensão da Rede de Conexão

2.1.2.15 *Broadcast* e *Multicast*

2.1.3 Topologias de Redes em Arquiteturas Paralelas/Distribuídas

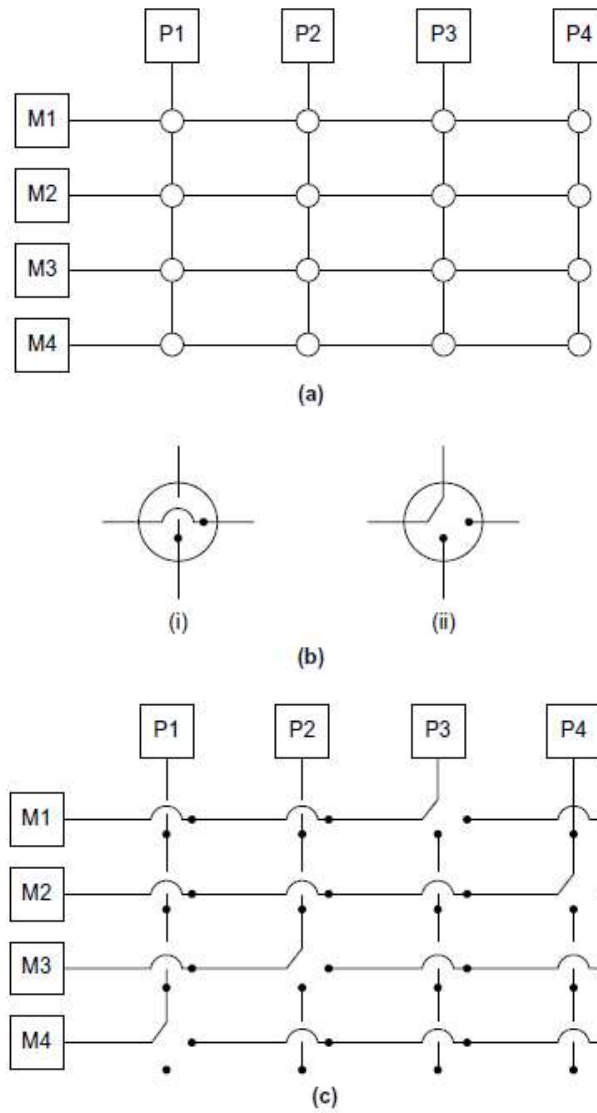
2.1.3.1. Topologias Dinâmicas

### **Redes em Barramento**



(Grama et al., 2003), Seção 2.4.3, Figura 2.7

# **Redes Crossbar**



**FIGURE 2.7**

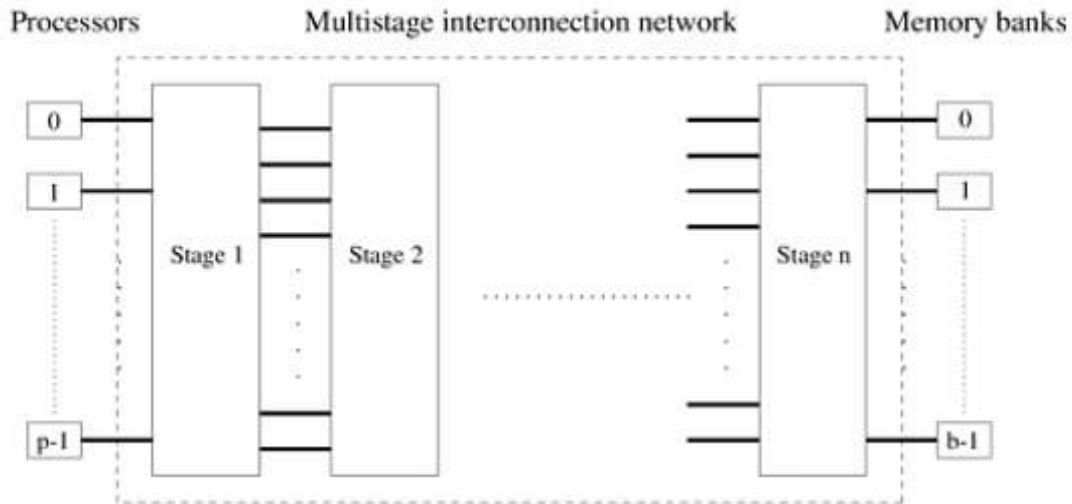
(a) A crossbar switch connecting four processors ( $P_i$ ) and four memory modules ( $M_j$ ); (b) configuration of internal switches in a crossbar; (c) simultaneous memory accesses by the processors

(Pacheco, 2011)

## Redes Multiestágio

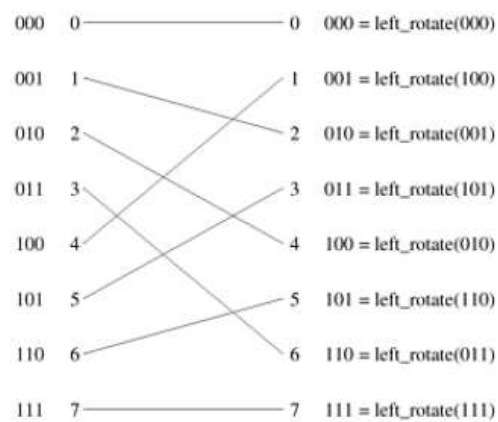
Rede ômega é um tipo de rede multiestágio

**Figure 2.9. The schematic of a typical multistage interconnection network.**



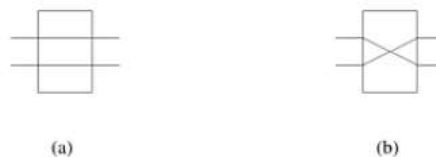
(Grama et al., 2003)

**Figure 2.10. A perfect shuffle interconnection for eight inputs and outputs.**



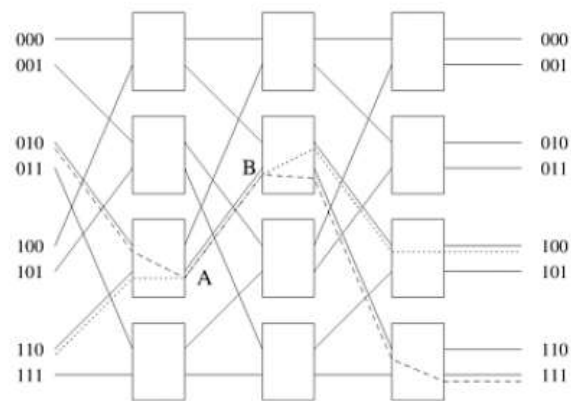
(Grama et al., 2003)

**Figure 2.11. Two switching configurations of the 2 x 2 switch: (a) Pass-through; (b) Cross-over.**



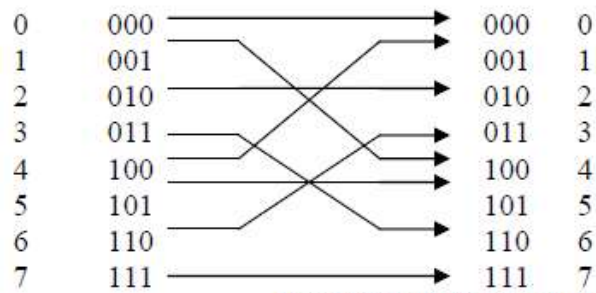
(Grama et al., 2003)

**Figure 2.13. An example of blocking in omega network: one of the messages (010 to 111 or 110 to 100) is blocked at link AB.**



(Grama et al., 2003)

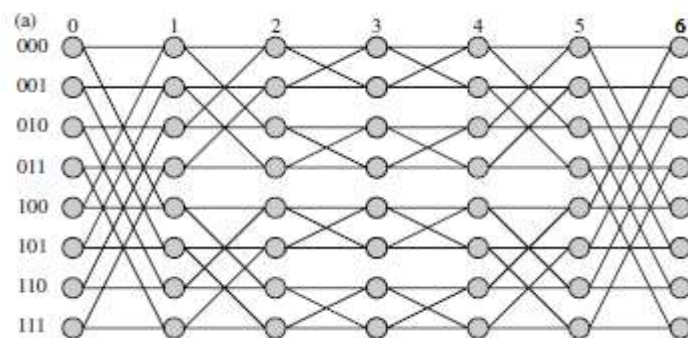
**Rede borboleta (*butterfly*) é outro tipo de rede multiestágio**



**Figure 18: Butterfly permutation**

*Material WEB, Unit 3, pág 57, Figura 18*

**Redes Benes**



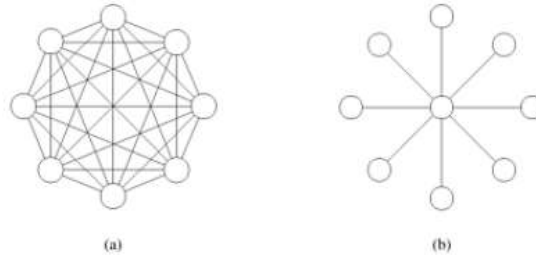
**(Rauber & Rünger, 2010) - Figura 2.20 Rede Benes não bloqueante**

### 2.1.3.2. Topologias Estáticas

#### Redes Completamente Conectadas

#### Redes em Estrela

**Figure 2.14. (a) A completely-connected network of eight nodes; (b) a star connected network of nine nodes.**



(Grama et al. 2003)

#### Redes Arranjo Linear (em Linha)

#### Redes em Anel

**Figure 2.15. Linear arrays: (a) with no wraparound links; (b) with wraparound link.**



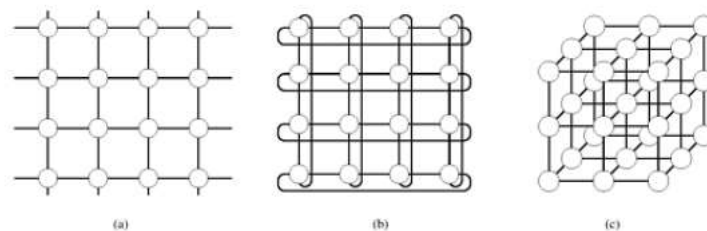
(Grama et al. 2003)

#### Redes em malha 2D (mesh 2D)

#### Redes Torus 2D

#### Redes em cubo ou hipercubo de dimensão k.

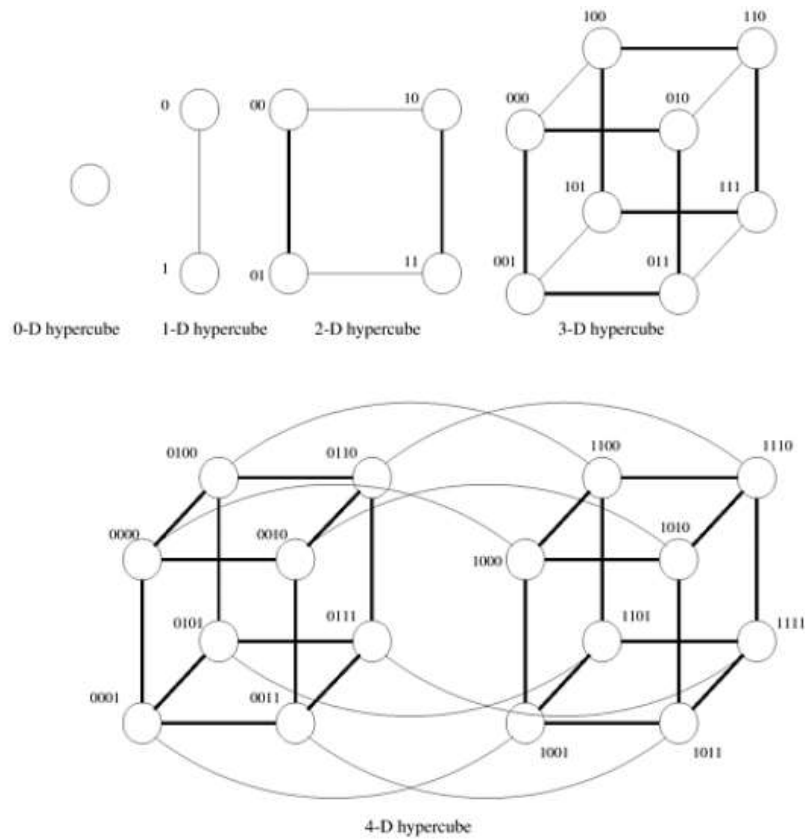
**Figure 2.16. Two and three dimensional meshes: (a) 2-D mesh with no wraparound; (b) 2-D mesh with wraparound link (2-D torus); and (c) a 3-D mesh with no wraparound.**



(Grama et al. 2003)



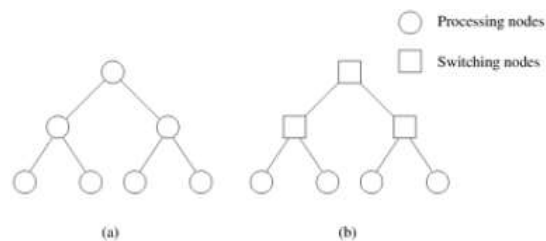
**Figure 2.17. Construction of hypercubes from hypercubes of lower dimension.**



(Grama et al. 2003)

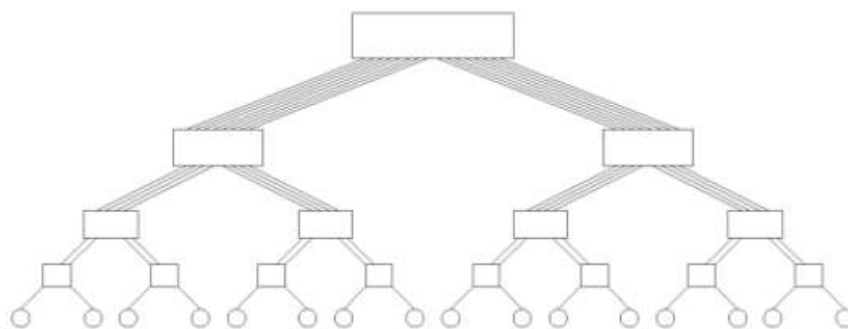
### Redes baseadas em árvore

**Figure 2.18. Complete binary tree networks: (a) a static tree network; and (b) a dynamic tree network.**



(Grama et al. 2003)

**Figure 2.19. A fat tree network of 16 processing nodes.**



(Grama et al. 2003)

## 2.2 Considerações Finais de Arquitetura Paralelas

### Referências

- Flynn, M. J. Some Computer Organizations and their Effectiveness. IEEE Transactions on Computers, 21(9): 948-960, 1972.
- Grama, A.; KUMAR, U.; Gupta, A.; KARYPIS, G. Introduction to Parallel Computing, 2nd Edition, 2003.
- Patterson, D. A.; Hennessy, J. L.; Computer Organization and Design: the hardware / software interface. Fifth Edition. Elsevier, 2014.
- Rauber, T.; Rünger, G.; Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems. Second Edition. Springer. 2013.
- Stallings, W.; Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. Ninth Edition. Pearson. 2013.
- Tanenbaum, A. S.; Austin, T.; Structured Computer Organization. Sixth Edition. Pearson. 2013.