

A interface hardware / software

# Arquitetura de Computadores III

Arquiteturas paralelas, classificações, clusters e supercomputadores

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

277

277

## Arquiteturas monoprocessadas

- Os processos compartilham o mesmo processador.
- S.O. pode ser implementado com o conceito de monoprogramação ou multiprogramação.

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

278

278

## Arquiteturas monoprocessadas

- Monoprogramação: recursos do computador alocados para uma única tarefa até o seu término.
- Multiprogramação: processador alterna a execução de vários processos.

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

279

279

## Arquiteturas multiprocessadas

- Multiprocessada: vários elementos de processamento.
- Tipos de arquiteturas multiprocessadas:
  - Memória compartilhada
  - Memória distribuída

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

280

280

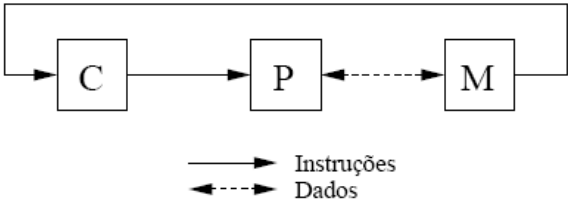
# Classificações de Flynn

Classificação de Flynn (Flynn, 1972) segundo o   
fluxo de instruções e fluxo de dados.

	SD (Single Data)	MD (Multiple Data)
SI (Single Instruction)	<b>SISD</b> Máquinas von Neumann	<b>SIMD</b> Máquinas Array
MI (Multiple Instruction)	<b>MISD</b> Sem representante até agora	<b>MIMD</b> Multiprocessadores e multicomputadores

De Rose, Navaux, Arquiteturas Paralelas (2003)

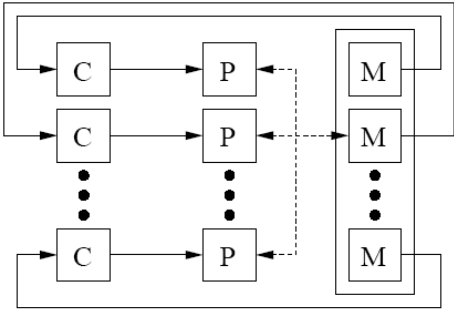
# Classificações de Flynn



SISD

De Rose, Navaux, Arquiteturas Paralelas (2003)

# Classificações de Flynn



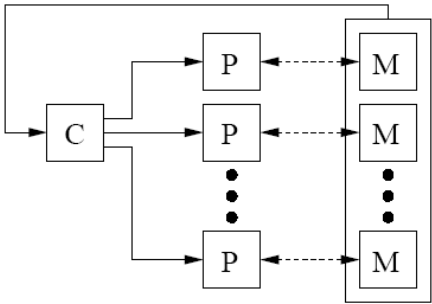
→ Instruções  
← Dados

De Rose, Navaux, Arquiteturas Paralelas (2003)

MISD

283

# Classificações de Flynn



→ Instruções  
← Dados

SIMD

De Rose, Navaux, Arquiteturas Paralelas (2003)

- Processadores vetoriais:
  - Vetor é um conjunto de dados escalares do mesmo tipo, armazenados em memória.
  - Processamento vetorial ocorre quando executamos operações aritméticas ou lógicas sobre vetores.
  - Um processador escalar opera sobre um ou um par de dados.

284

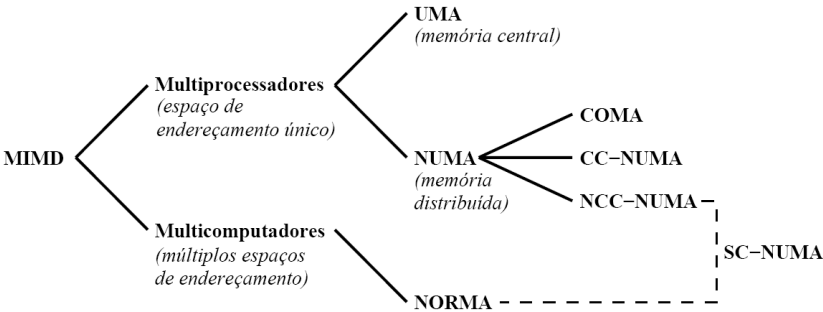


Classificações segundo compartilhamento de memória

- UMA: Uniform Memory Access
- NUMA: Non-Uniform Memory Access
- CC-NUMA: Cache-Coherent NUMA
- NCC-NUMA: Non-Cache-Coherent NUMA
- SC-NUMA: Software-Coherent NUMA
- COMA: Cache-Only Memory Architecture
- NORMA: Non-Remote Memory Access

287

Classificações segundo compartilhamento de memória



De Rose, Navaux, Arquiteturas Paralelas (2003)

A linha tracejada indica que através de um software que implemente coerência de *cache*, as máquinas NCC-NUMA e NORMA podem se transformar em máquinas SC-NUMA.

288

## Memória Compartilhada

- Elementos de processamento compartilham a mesma memória.
- Programação realizada através de variável compartilhada. Maior facilidade na construção de programas paralelos.
- Neste tipo de arquitetura existe uma limitação de número de nós.
- Escalabilidade não é total. **Por que?**
- Programação em memória compartilhada é realizada com threads.
- Exemplos:
  - Pthreads
  - OpenMP

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

289

289

## Memória Compartilhada

- O desempenho neste tipo de sistema é maior se consideramos no seu projeto o uso de memória cache.
- Surge o problema de coerência de cache.
- Solução em software ou em hardware.

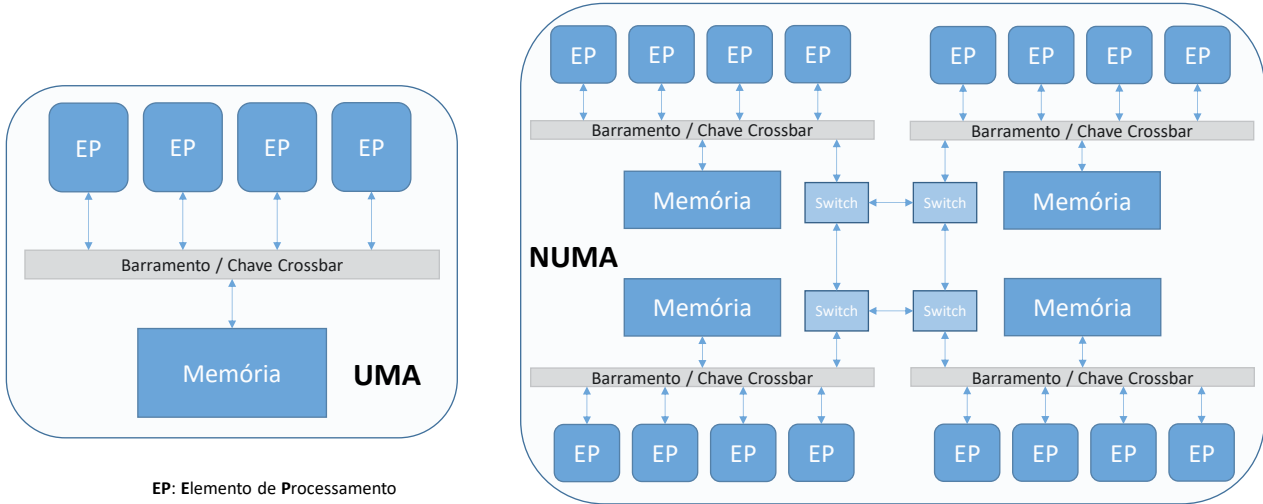
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

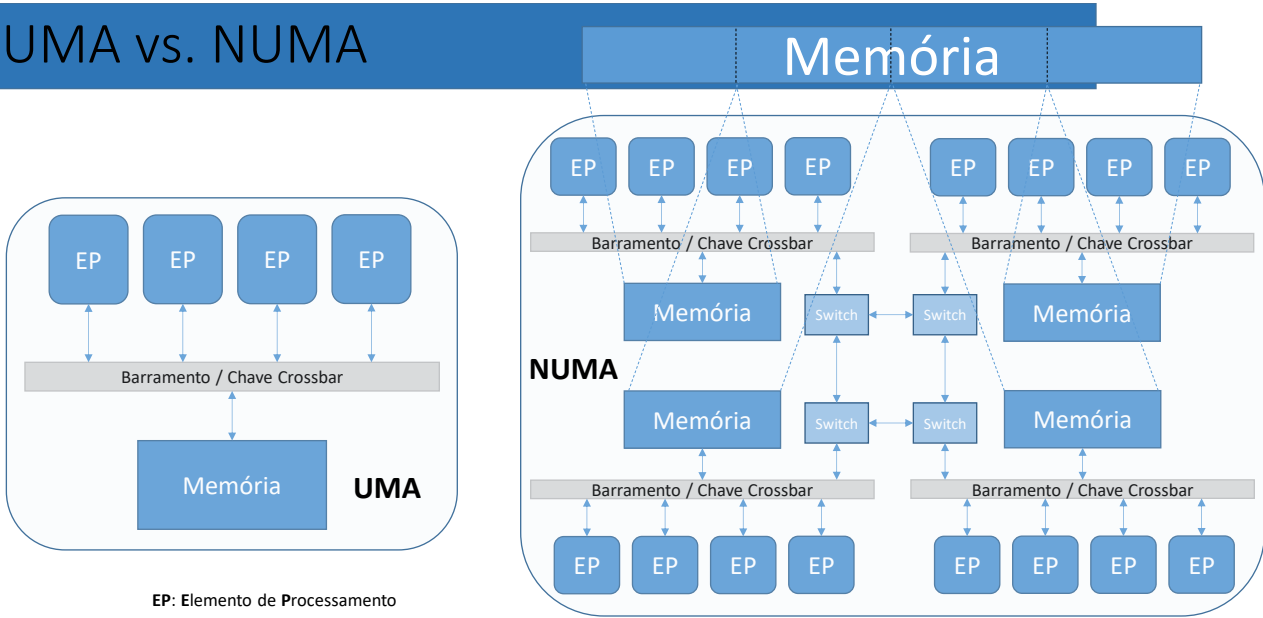
290

290

# UMA vs. NUMA



291

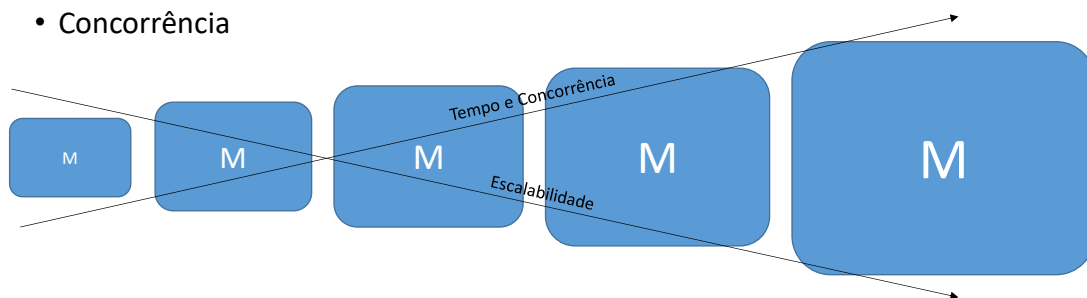


292



## Qual a vantagem de usar uma máquina NUMA?

- Restrições existentes em relação à memória (M) centralizada que podem afetar o desempenho e o consumo de energia:
  - Escalabilidade
  - Tempo de acesso
  - Concorrência



2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

293

293

## Uso compartilhado da memória

- A maioria dos processadores atuais possuem múltiplos núcleos
- Diversos núcleos compartilham o acesso a dados em uma mesma unidade de memória
- Outro problema: garantir a **coerência** do dado, o que é resolvido com algoritmos específicos para este fim

2024

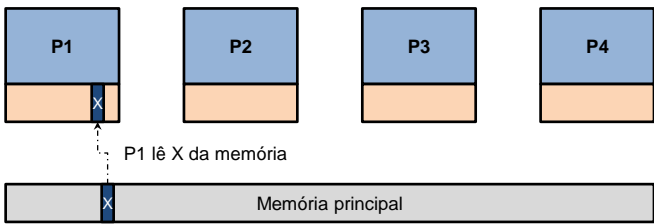
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

294

294

# Problema da coerência

- Multicores: Múltiplos processadores e caches
- Múltiplas cópias dos mesmos dados em caches diferentes



Souza, M. A., *Way-Replacement Algorithms for Multicore Processors Based on Coherence and Sharing States with Reinforcement Learning*, Tese, PUC Minas, 2021

2024

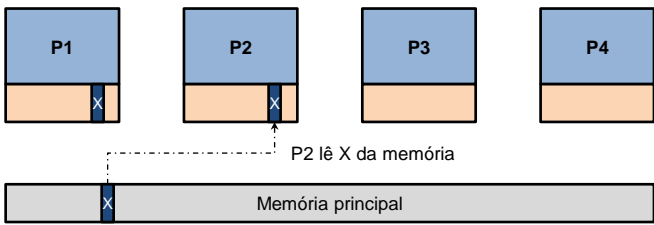
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

295

295

# Problema da coerência

- Multicores: Múltiplos processadores e caches
- Múltiplas cópias dos mesmos dados em caches diferentes



Souza, M. A., *Way-Replacement Algorithms for Multicore Processors Based on Coherence and Sharing States with Reinforcement Learning*, Tese, PUC Minas, 2021

2024

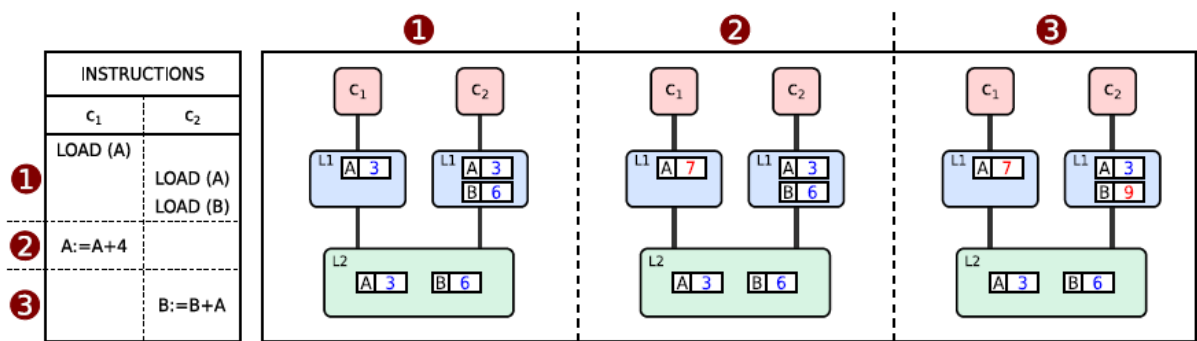
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

296

296



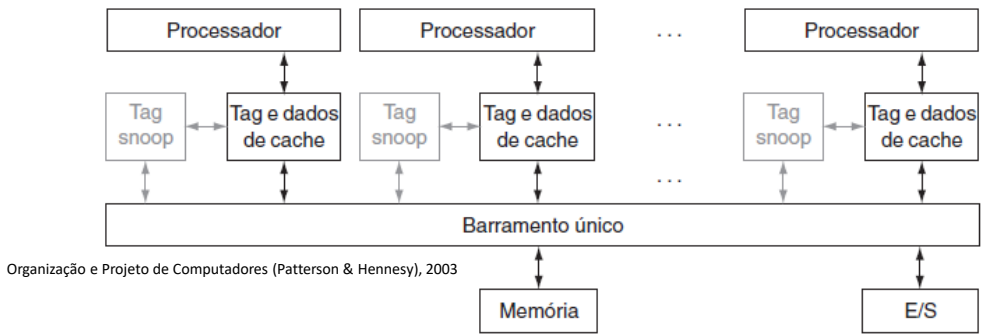
# Problema da coerência



Souza, M. A., Way-Replacement Algorithms for Multicore Processors Based on Coherence and Sharing States with Reinforcement Learning, Tese, PUC Minas, 2021

299

# Coerência de cache (Snooping)



**Coerência de cache com snooping.** Um método para manter coerência de cache em que todos os controladores de cache monitoram o barramento para determinar se possuem ou não uma cópia do bloco desejado.

**Write-invalidate.** Um tipo de protocolo de snooping em que o processador de escrita faz com que todas as cópias em outras caches sejam invalidadas antes de mudar sua cópia local, o que permite atualizar os dados locais até que outro processador os solicite.

**Write-update.** Um tipo de protocolo de snooping em que o processador de escrita faz com que todas as cópias em outras caches sejam atualizadas.

300

## Coerência de cache (Diretório)

- Cada módulo de memória possui um diretório local que armazena as informações sobre onde as cópias dos blocos estão residentes.
- Os protocolos baseados em diretório enviam comandos de consistência seletivamente para aquelas caches que possuem uma cópia válida do bloco de dados compartilhado.

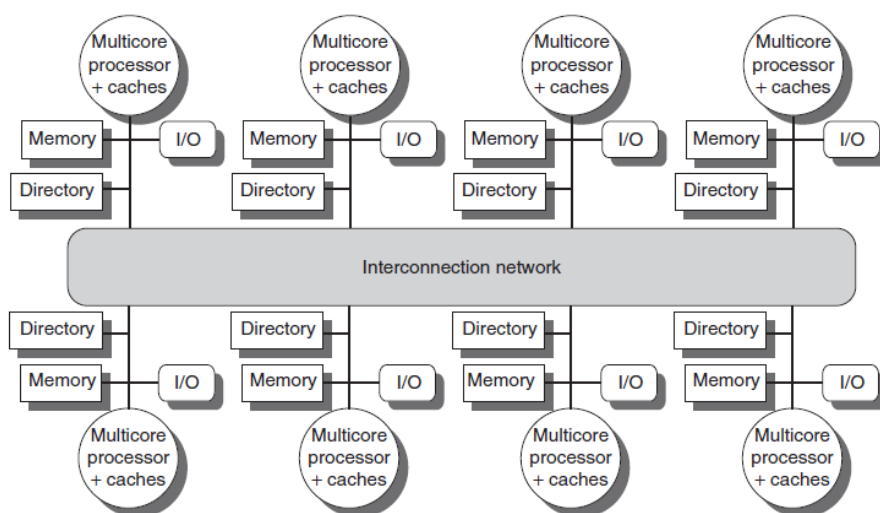
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

301

301

## Coerência de cache (Diretório)



HENNESSY, John L.,  
PATTERSON, David A.,  
Computer Architecture  
A Quantitative Approach

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

302

302

# Coerência de cache (MSI, MESI, MOESI)

- Estados que cada bloco na memória cache possui:
  - Inválido (I): bloco inválido na memória cache.
  - Shared (S) ou Compartilhado: bloco só foi lido e pode haver cópias em outras memórias cache.
  - Modificado (M): apenas essa cache possui cópia do bloco e a memória principal não está atualizada.
  - Exclusivo (E): Apenas essa cache possui cópia do bloco e a memória principal está atualizada.
  - Owner (O) : Essa cache supre o dado em caso de leitura com falha no barramento uma vez que a memória não está atualizada. Outras caches podem ter cópia do dado.

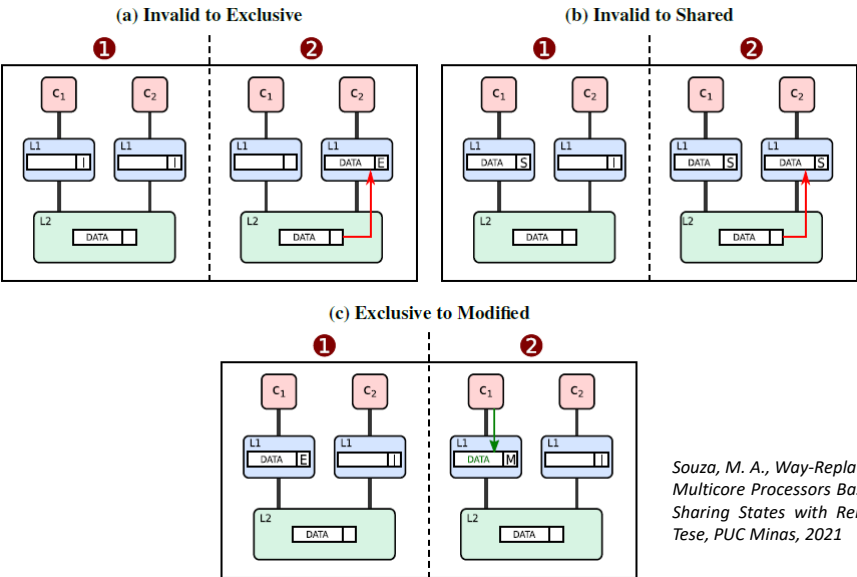
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

303

303

## Protocolo MESI



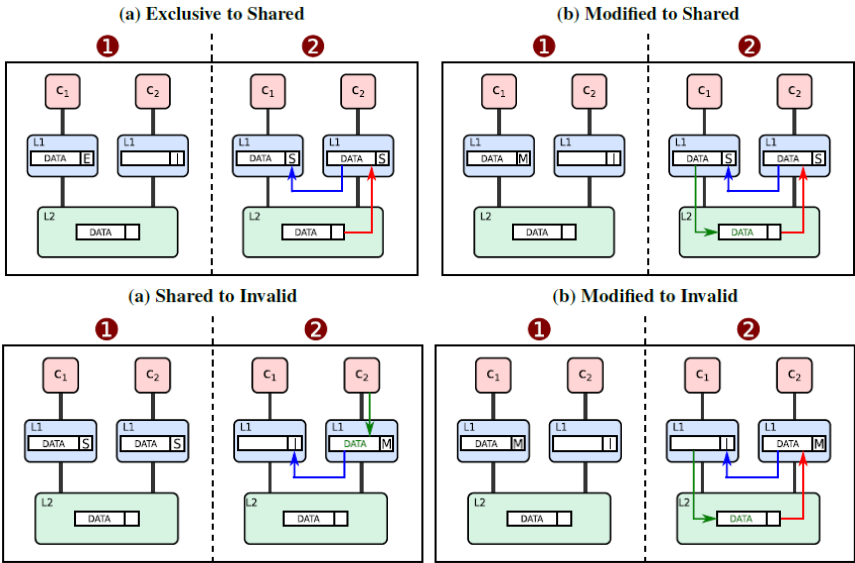
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

304

304

# Protocolo MESI



Souza, M. A., *Way-Replacement Algorithms for Multicore Processors Based on Coherence and Sharing States with Reinforcement Learning*, Tese, PUC Minas, 2021

2024

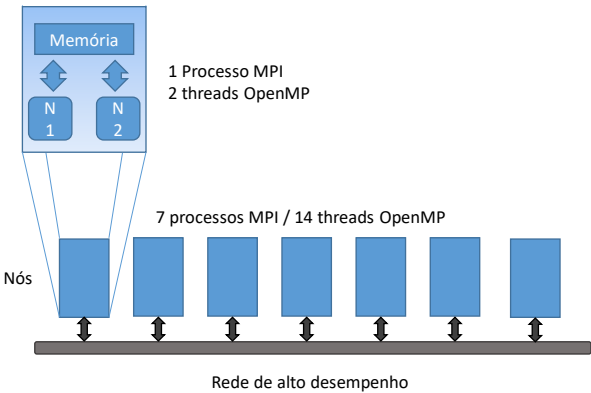
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

305

305

# Memória Distribuída

- Grupo de computadores autônomos (nós) que trabalham juntos como um recurso único.
- Os nós são interconectados através de redes de alto desempenho.



2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

306

306

## Memória Distribuída

- Escalabilidade absoluta e incremental.
- Alta disponibilidade.
- Excelente custo benefício.
- Comunicação realizada através de passagem de mensagens.
  - MPI (Message Passing Interface) ou
  - PVM (Parallel Virtual Machine).

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

307

307

## Memória Distribuída

- Cluster ou aglomerado de computadores.
  - São usados em gerenciadores de bancos de dados, com servidores WEB.
  - São usados principalmente com processamento paralelo.
- Grids ou grades computacionais.

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

308

308



# Cluster de Computadores



<https://hpcf.umbc.edu/system-description-maya/>

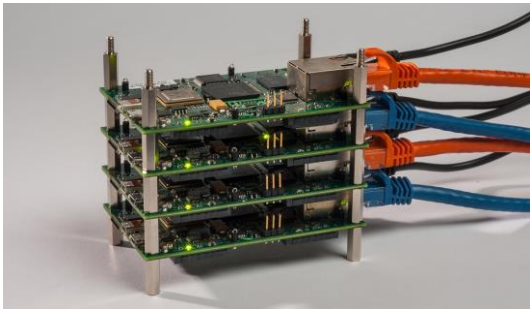
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

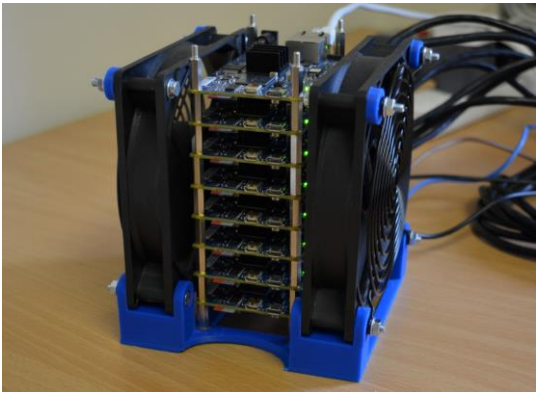
309

309

# Cluster Parallella Board



<https://www.parallella.org/2013/08/21/parallella-hardware-update/>



<https://www.parallella.org/2014/04/30/cases-and-cooling/>

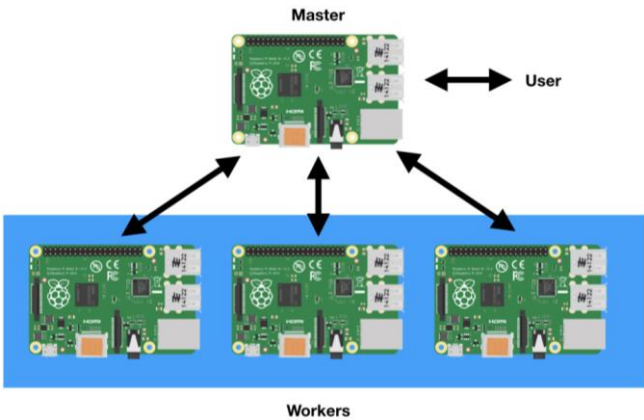
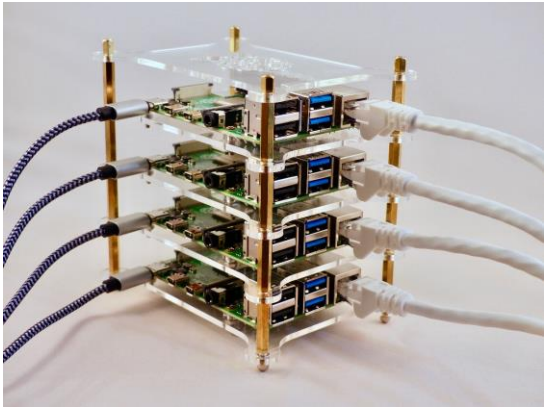
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

310

310

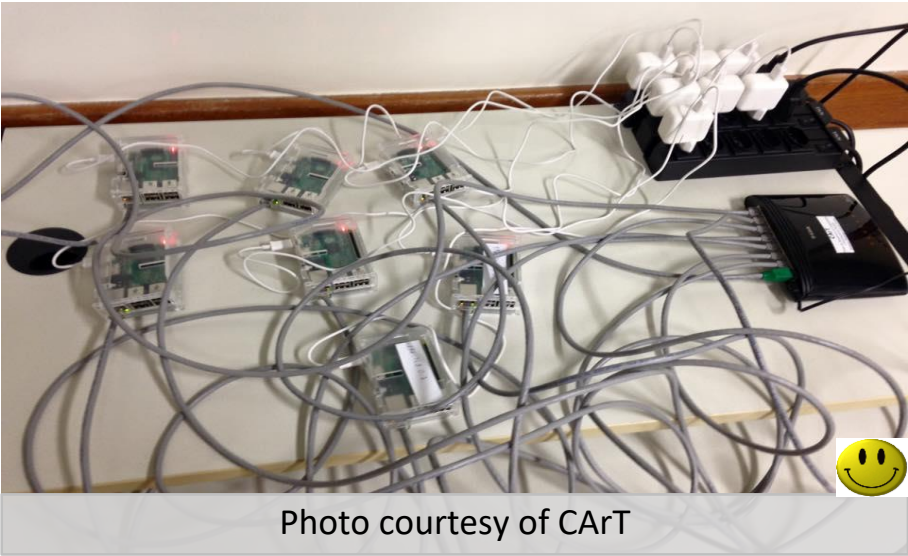
# Cluster Raspberry Pi 4



<https://magpi.raspberrypi.org/articles/build-a-raspberry-pi-cluster-computer>

311

# Cluster Raspberry Pi 2 Model B



312

# Jaguar – Cray XT5-HE Opteron Six Core 2.6 GHz



<https://phys.org/news/2009-11-oak-ridge-jaguar-supercomputer-world.html>

313

# Clusters de Computadores (top500.org)

Rank	Site	Computer/Year Vendor	Cores	R <sub>max</sub>	R <sub>peak</sub>	Power	
1	Oak Ridge National Laboratory United States	Jaguar - Cray XT5-HE Opteron Six Core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	224162	1759.00	2331.00	6950.60	MPP
2	DOE/NNSAILANL United States	Roadrunner - BladeCenter QS22/LS21 Cluster, Power/CCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 Ghz, Voltaire Infiniband / 2009 IBM	122400	1042.00	1375.78	2345.50	Cluster
3	National Institute for Computational Sciences/University of Tennessee United States	Kraken XT5 - Cray XT5-HE Opteron Six Core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	98928	831.70	1028.85		MPP
4	Forschungszentrum Juelich (FZJ) Germany	JUGENE - Blue Gene/P Solution / 2009 IBM	294912	825.50	1002.70	2268.00	MPP
5	National SuperComputer Center in Tianjin/NUDT China	Tianhe-1 - NUDT TH-1 Cluster, Xeon E5540/E5450, ATI Radeon HD 4870 2, Infiniband / 2009 NUDT	71680	563.10	1206.19		Cluster
6	NASA/Kmes Research Center/NAS United States	Pleiades - SGI Altix ICE 8200EX, Xeon QC 3.0 GHz/Nehalem EP 2.93 Ghz / 2009 SGI	56320	544.30	673.26	2348.00	MPP
7	DOE/NNSAILLNL United States	BlueGene/L - sServer Blue Gene Solution / 2007 IBM	212992	478.20	596.38	2329.60	MPP
8	Argonne National Laboratory United States	Blue Gene/P Solution / 2007 IBM	163840	458.61	557.06	1260.00	MPP
9	Texas Advanced Computing Center/Univ. of Texas United States	Ranger - SunBlade x6420, Opteron QC 2.3 Ghz, Infiniband / 2008 Sun Microsystems	62976	433.20	579.38	2000.00	Cluster
10	Sandia National Laboratories / National Renewable Energy Laboratory United States	Red Sky - Sun Blade x6275, Xeon X55xx 2.93 Ghz, Infiniband / 2009 Sun Microsystems	41616	423.90	487.74		Cluster

Novembro de 2009

314

# Clusters de Computadores (top500.org)

Rank	Site	Computer
1	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 Villix 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu
2	National Supercomputing Center in Tianjin China	Tianhe-1A - NUDT TH MPP, X5670 2.93Ghz 6C, NVIDIA GPU, FT-1000 8C NUDT
3	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Jaguar - Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz Cray Inc.
4	National Supercomputing Centre in Shenzhen (NSCS) China	Nebulae - Dawning TC3600 Blade, Intel X5650, Nvidia Tesla C2050 GPU Dawning
5	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME 2.0 - HP ProLiant SL390s G7 Xeon 6C X5670, Nvidia GPU, Linux/Windows NEC/HP
6	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Cielo - Cray XE6 8-core 2.4 GHz Cray Inc.
7	NASA/Ames Research Center/NAS United States	Pleiades - SGI Altix ICE 8200EX/8400EX, Xeon HT QC 3.0/Xeon 5570/5670 2.93 Ghz, Infiniband SGI
8	DOE/SC/LBNL/NERSC United States	Hopper - Cray XE6 12-core 2.1 GHz Cray Inc.
9	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Tera-100 - Bull bulx super-node S6010/S6030 Bull SA
10	DOE/NNSA/LANL United States	Roadrunner - BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz, Voltaire Infiniband IBM

Junho de 2011

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciênci

315

315

# Cluster de Computadores



[https://www.riken.jp/en/news\\_pubs/news/2020/20200623\\_1/](https://www.riken.jp/en/news_pubs/news/2020/20200623_1/)

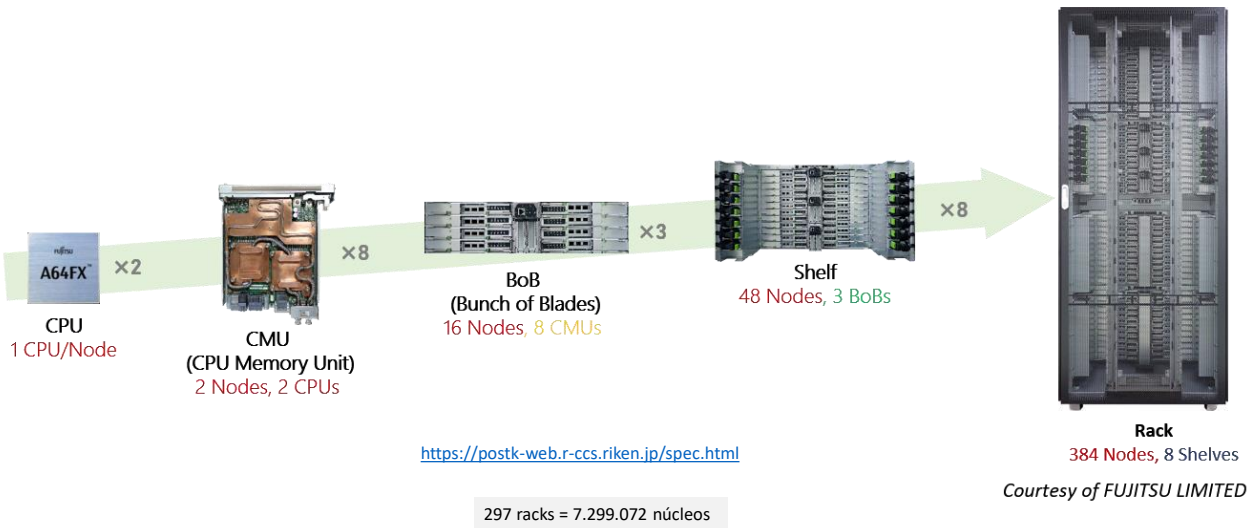
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciênci

316

316

# Supercomputador Fugaku (Fujitsu, Japão)



2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

317

317

# Clusters de Computadores (top500.org)

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.26GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,299,072	415,530.0	513,854.7	28,335
2	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
3	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
4	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
5	Tianhe-2A - TH-IBV-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.26GHz, TH Express-2, Matrix-2000, NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482

TOP500 LIST - JUNE 2020

2024

318

318



# Clusters de Computadores (top500.org) - Brasil

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
56	<b>Atlas</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, <b>Atos</b> Petróleo Brasileiro S.A Brazil	91,936	4,376.0	8,848.5	547
82	<b>Fênix</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 5122 4C 3.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, <b>Atos</b> Petróleo Brasileiro S.A Brazil	60,480	3,161.0	5,371.8	390
240	<b>Santos Dumont (SDumont)</b> - Bull Sequana X1000, Xeon Gold 6252 24C 2.1GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, <b>Atos</b> Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	33,856	1,849.0	2,727.0	
395	<b>Ogbon Cimatic/Petrobras</b> - Bull Sequana X1000, Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, <b>Atos</b> SENAI CIMATEC Brazil	27,768	1,605.0	2,323.3	

TOP500 LIST - JUNE 2020

319

# Clusters de Computadores

## Santos Dumont Supercomputer



<https://sdumont.lncc.br/>

320

# Clusters de Computadores (top500.org)

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442,010.0	537,212.0	29,899
2	<b>Summit</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
3	<b>Sierra</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
4	<b>Sunway TaihuLight</b> - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
5	<b>Perlmutter</b> - HPE Cray EX235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-10, HPE DOE/SC/LBNL/NERSC	761,856	70,870.0	93,750.0	2,589

TOP500 LIST - NOVEMBER 2021

2024

321

321

# Clusters de Computadores (top500.org) - Brasil

55	<b>Dragão</b> - Supermicro SYS-4029GP-TVRT, Xeon Gold 6230R 26C 2.1GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos Petróleo Brasileiro S.A Brazil	188,224	8,983.0	14,006.5	943
107	<b>Atlas</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos Petróleo Brasileiro S.A Brazil	91,936	4,376.0	8,848.5	547
125	<b>IARA</b> - NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Infiniband, Nvidia SiDi Brazil	24,800	3,657.0	4,130.4	
146	<b>Fênix</b> - Bull 4029GP-TVRT, Xeon Gold 5122 4C 3.6GHz, NVIDIA Tesla V100, Infiniband EDR, Atos Petróleo Brasileiro S.A Brazil	60,480	3,161.0	5,371.8	390
388	<b>Santos Dumont (SDumont)</b> - Bull Sequana X1000, Xeon Gold 6252 24C 2.1GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Atos Laboratório Nacional de Computação Científica Brazil	33,856	1,849.0	2,727.0	

TOP500 LIST - NOVEMBER 2021

2024

322

322

# Lei de Amdahl

- O ganho ideal é limitado pela fração do Código não melhorada.
- O ganho real é a razão dos tempos de execução:

$$\text{Speedup}_{\text{overall}} = \frac{\text{Execution time}_{\text{old}}}{\text{Execution time}_{\text{new}}} = \frac{1}{(1 - \text{Fraction}_{\text{enhanced}}) + \frac{\text{Fraction}_{\text{enhanced}}}{\text{Speedup}_{\text{enhanced}}}}$$

- Suponha que nós queremos melhorar o processador usado para serviço Web. O nome processador é 10 vezes mais rápido em computação do que o processador original. Assumindo que o processador está 40% do tempo ocupado com computação e outros 60% esperando por I/O. Qual é o ganho obtido pelo melhoramento?

$\text{Fraction}_{\text{enhanced}} = 0.4; \text{Speedup}_{\text{enhanced}} = 10; \text{Speedup}_{\text{overall}} = \frac{1}{0.6 + \frac{0.4}{10}} = \frac{1}{0.64} \approx 1.56$

HENNESSY, John L.,  
PATTERSON, David A.,  
Computer Architecture  
A Quantitative Approach

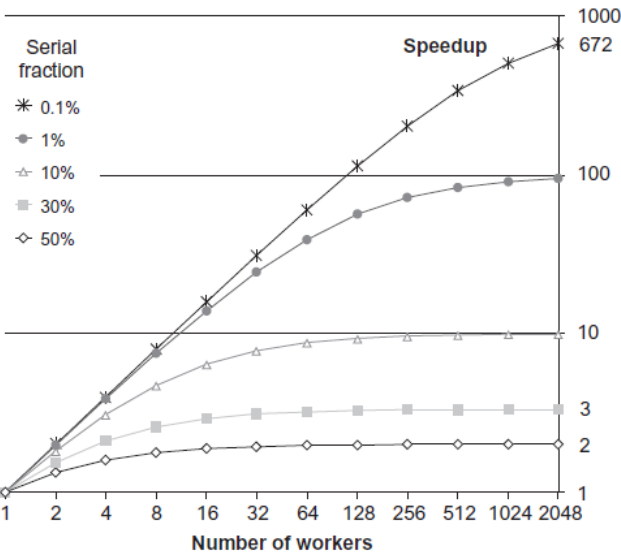
2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

323

323

# Lei de Amdahl



- A escalabilidade da paralelização é limitada pela fração serial do código. Esta fração é a parte não paralelizada.

PACHECO, Peter S., An introduction  
to parallel programming

2024

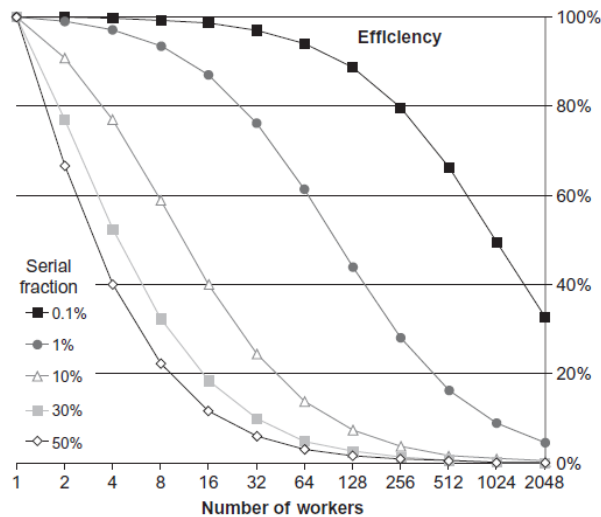
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

324

324



# Lei de Amdahl

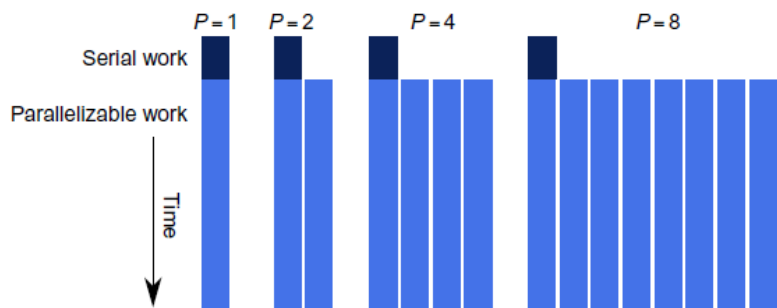


- Mesmo quando ganhos são possíveis, a **eficiência** pode facilmente ser ruim em função do trecho não paralelizado.

PACHECO, Peter S., An introduction to parallel programming

325

# Lei de Gustafson-Barsis'



- Se o tamanho do problema aumenta em P enquanto o trecho serial cresce lentamente ou se mantém fixo, o ganho cresce se os nós de processamento aumentam em quantidade.

PACHECO, Peter S., An introduction to parallel programming

326

## Strong and Weak Scalability (escalabilidade forte e fraca)

- **Strong scalability:** uma forma de escalabilidade que mede como o desempenho aumenta quando se faz uso de nós adicionais, mas com o tamanho do problema fixo.
  - A lei de Amdahl considera o ganho variando número de nós e problema fixo.
- **Weak scalability:** uma forma de escalabilidade que mede como o desempenho aumenta quando se faz uso de nós adicionais ao mesmo tempo que se aumenta o tamanho do problema, em taxas iguais.
  - A lei de Gustafson-Barsis' Law assume que o tamanho do problema cresce conforme aumenta-se o número de nós.

PACHECO, Peter S., An introduction to parallel programming

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

327

327

## Eficiência e Ganho

- Duas importantes métricas relacionadas ao desempenho e paralelismo são ganho e eficiência. O **ganho** compara o tempo para resolver um problema computacional idêntico em uma unidade de processamento versus P unidades:

$$\text{speedup} = S_P = \frac{T_1}{T_P}$$

- onde  $T_1$  é o tempo de um programa com uma unidade de processamento e  $T_P$  é o tempo em P unidades. **Eficiência** é o ganho dividido pelo número de unidades de processamento utilizadas:

$$\text{efficiency} = \frac{S_P}{P} = \frac{T_1}{PT_P}$$

PACHECO, Peter S., An introduction to parallel programming

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

328

328

## Ganho Linear Superlinear

- Um algoritmo que executa  $P$  vezes mais rápido em  $P$  processadores possui **ganho linear**.
- **Ganho Superlinear**: uma eficiência maior do que 100%.
  - Como isso é possível?
    - Utilização de cache?

PACHECO, Peter S., An introduction to parallel programming

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

329

329

## Desempenho de uma aplicação paralela

- O que pode impactar o desempenho de uma aplicação paralela reduzindo sua escalabilidade?
  - Rede. Por que?
  - Carga de trabalho desbalanceada. Por que?
  - Regiões sequenciais de códigos paralelos. Por que?

2024

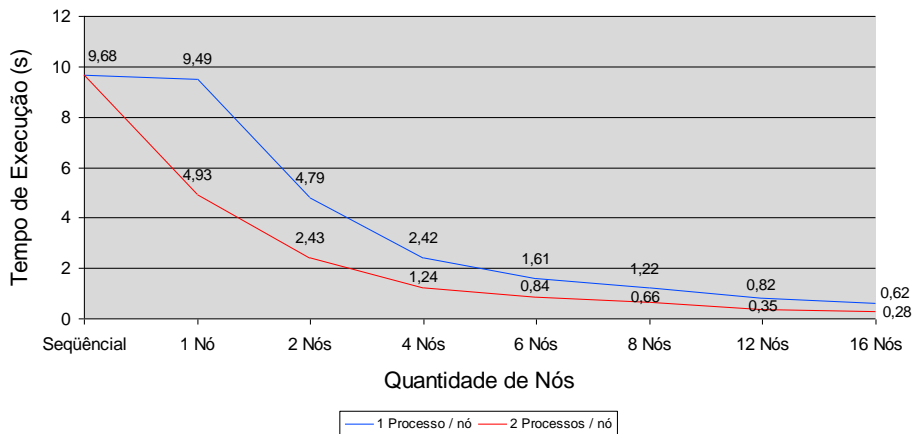
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

330

330

## Avaliação de desempenho

### Resultados de Desempenho



2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

331

331

## Grid Computacional

- Uma plataforma para execução de aplicações paralelas
  - Amplamente distribuída
  - Heterogênea
  - Compartilhada
  - Sem controle central
  - Com múltiplos domínios administrativos
- Diferença para computação em nuvem (*cloud computing*)?
- O que é *fog computing*?

2024

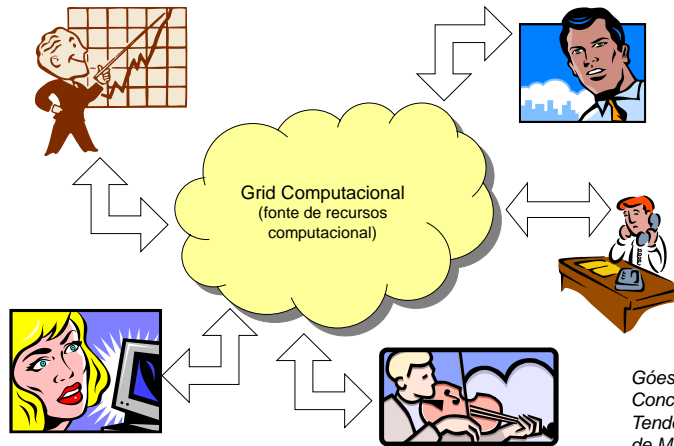
Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

332

332

# Grid Computacional

- Analogia com rede elétrica



2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

333

333

# Grid Computacional

- SMPs
  - MPPs
  - NOWs
  - Grids
- ↑ acoplamento  
↓ distribuição

- SMP: Symmetric Multiprocessor (memória compartilhada)
- MPP: Massively Parallel Processors
- NOW: Network of Workstations

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

334

334

# Grid Computacional

- TeraGrid (de 2001 a 2011)
  - 4 centros de supercomputação norte-americanos
  - Cada centro com milhares de processadores dedicados ao TeraGrid
  - Canais de altíssima velocidade (40 GBits/s)
  - Poder agregado de 13,6 TeraFlops
- SETI@home (desde 1999)
  - Ciclos ociosos de 1.6 milhões de processadores espalhados em 224 países
  - Computa a uma taxa superior a 10 Teraflops
- Grid5000 (desde 2003)
  - Instrumento científico para estudo de sistemas paralelos e distribuídos de larga escala.
  - O objetivo inicial era alcançar 5000 processadores, atualizado para núcleos e alcançado no inverno de 2008-2009.
  - São 9 sites na França (Grenoble, Lille, Luxembourg, Lyon, Nancy, Nantes, Rennes, Sophia-Antipolis, Toulouse).

2024

Arquitetura de Computadores III - Engenharia e Ciência da Computação - PUC Minas

335