

# Evolução da Computação de Alto Desempenho na Ótica da Lista TOP500

ou

(Se um processador já é rápido, imaginem um sistema com 131.072 processadores :-)

## MAC 412- Organização de Computadores

- Siang W. Song

Fonte: <http://www.top500.org/>

# Evolução da Computação

- Os primeiros processadores (como o Mark I) tinham ciclos da ordem de alguns segundos
- Processador hoje: vários GHz - menos de um nanosegundo de ciclo
- Processador de hoje é 1.000.000.000 vezes mais rápido
- Computação paralela usa um grande número de processadores, aumentando mais ainda o poder computacional.
- Veremos a importância da computação paralela e a sua evolução na ótica da lista TOP500.

O que já temos ou que está no horizonte:

- Sistemas de computação maciçamente paralelos serão cada vez mais comuns.
- Clusters Beowulf baseados em arquiteturas abertas tornam o uso da Computação Paralela cada vez mais popular.
- Novas arquiteturas de processadores: multi-core: Intel já anunciou o lançamento de um chip com 80 processadores, um trilhão de operações aritméticas por segundo (1 TFLOPS).
- Médio ou longo prazo: Novas arquiteturas eficientes em energia e tecnologias que não são baseadas em silício.

- Dificuldade de lidar com paralelismo: como projetar um programa eficiente para centenas ou milhares de processadores?
- Uma forma é o desenvolvimento de compiladores que fazem a paralelização automática a partir de um código sequencial.
  - É a forma ideal.
  - Mas temos muito pouco progresso.

# Outra forma: para cada problema, um algoritmo paralelo

- Para cada problema com alta demanda computacional, projetar um programa paralelo eficiente.
  - O progresso também deixa a desejar.
  - Conseguimos lidar com aplicações trivialmente paralelizáveis.
  - Para muitas aplicações, levamos tempo demais para obter uma solução paralela eficiente.
  - Muitos algoritmos paralelos desenvolvidos não são escaláveis.

Computação Paralela será regra e não exceção.

- Necessidade de formar profissionais capazes de projetar algoritmos paralelos eficientes e escaláveis.
- Descobrir novas aplicações com alta demanda computacional que podem tirar proveito do paralelismo maciço.
- Criar novos (?) modelos de computação, novos (?) paradigmas de programação paralela ou novas (?) linguagens de programação paralela.

Medida de desempenho:

1 FLOPS = uma operação ponto flutuante por segundo

- KFLOPS =  $2^{10}$  = aprox. 1.000 op/s
- MFLOPS =  $2^{20}$  = aprox. 1.000.000 op/s
- GFLOPS =  $2^{30}$  = aprox. 1.000.000.000 op/s
- TFLOPS =  $2^{40}$  = aprox. 1.000.000.000.000 op/s

## Lista dos 500 computadores mais poderosos do mundo

- Divulgada duas vezes por ano: em junho e novembro
- Interesse tanto para fabricantes como para compradores potenciais
- Benchmark: LINPACK - um sistema linear de 1000 equações a 1000 incógnitas.
- Computadores com melhor desempenho LINPACK entram na lista
- Muito material é disponível no site:

<http://www.top500.org/>



O computador mais veloz do mundo (em junho/2007):

- IBM BlueGene (DOE)
- 131.072 processadores
- LINPACK: 280,6 TFLOPS
- Velocidade pico: 367 TFLOPS
- Tecnologia CMOS de 0,25 micron

Em novembro/2007 sai uma nova TOP500 e tudo pode mudar :-)

O computador mais veloz do mundo (em junho/2007):

- IBM BlueGene (DOE)
- 131.072 processadores
- LINPACK: 280,6 TFLOPS
- Velocidade pico: 367 TFLOPS
- Tecnologia CMOS de 0,25 micron

Em novembro/2007 sai uma nova TOP500 e tudo pode mudar :-)

# Dois Brasileiros na TOP500 de junho/2007

- Posição 215 (Petrobrás) - Cluster HP Platform 3000 BL460c Xeon 2.33GHz 1024 processadores (6,210 TFLOPS Linpack)
- Posição 416 (INPE/CPTEC) - Cluster NEC/Sun Sun Fire x2200 M2 Opteron 2.6GHz 1100 processadores (4,512 TFLOPS Linpack)

Para entrar na lista TOP500, o último colocado apresenta 4,005 TFLOPS Linpack (ocupava posição 216 na lista de novembro/2006).

Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack.

A alegria só durou 6 meses :-)

# Dois Brasileiros na TOP500 de junho/2007

- Posição 215 (Petrobrás) - Cluster HP Platform 3000 BL460c Xeon 2.33GHz 1024 processadores (6,210 TFLOPS Linpack)
- Posição 416 (INPE/CPTEC) - Cluster NEC/Sun Sun Fire x2200 M2 Opteron 2.6GHz 1100 processadores (4,512 TFLOPS Linpack)

Para entrar na lista TOP500, o último colocado apresenta 4,005 TFLOPS Linpack (ocupava posição 216 na lista de novembro/2006).

Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack.

A alegria só durou 6 meses :-)

# Dois Brasileiros na TOP500 de junho/2007

- Posição 215 (Petrobrás) - Cluster HP Platform 3000 BL460c Xeon 2.33GHz 1024 processadores (6,210 TFLOPS Linpack)
- Posição 416 (INPE/CPTEC) - Cluster NEC/Sun Sun Fire x2200 M2 Opteron 2.6GHz 1100 processadores (4,512 TFLOPS Linpack)

Para entrar na lista TOP500, o último colocado apresenta 4,005 TFLOPS Linpack (ocupava posição 216 na lista de novembro/2006).

Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack.

A alegria só durou 6 meses :-)

# Dois Brasileiros na TOP500 de junho/2007

- Posição 215 (Petrobrás) - Cluster HP Platform 3000 BL460c Xeon 2.33GHz 1024 processadores (6,210 TFLOPS Linpack)
- Posição 416 (INPE/CPTEC) - Cluster NEC/Sun Sun Fire x2200 M2 Opteron 2.6GHz 1100 processadores (4,512 TFLOPS Linpack)

Para entrar na lista TOP500, o último colocado apresenta 4,005 TFLOPS Linpack (ocupava posição 216 na lista de novembro/2006).

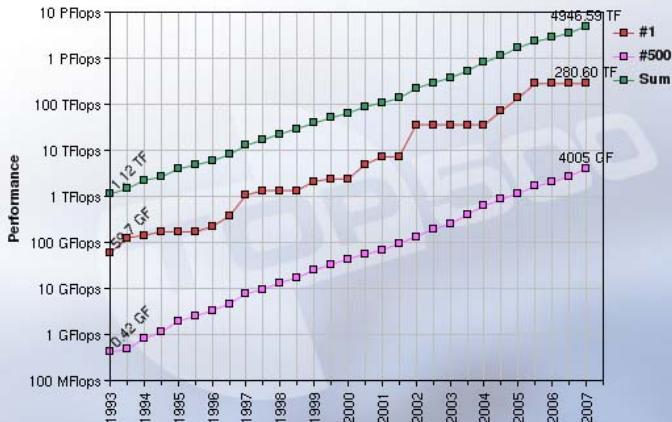
Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack.

A alegria só durou 6 meses :-)

# Desempenho ao longo do tempo



## Performance Development



27/06/2007

<http://www.top500.org/>



- Pergunta: O que vem depois de TFLOPS?

Resposta: **PFLOPS** (Peta Flops)

1 PFLOPS =  $2^{50}$  = aprox. 1.000.000.000.000.000 op/s

## Previsão do Futuro

- Pergunta: Em que ano teremos computadores de desempenho de PFLOPS?



- Pergunta: O que vem depois de TFLOPS?  
Resposta: **PFLOPS** (Peta Flops)  
1 PFLOPS =  $2^{50}$  = aprox. 1.000.000.000.000.000 op/s

## Previsão do Futuro

- Pergunta: Em que ano teremos computadores de desempenho de PFLOPS?

- Pergunta: O que vem depois de TFLOPS?  
Resposta: **PFLOPS** (Peta Flops)  
1 PFLOPS =  $2^{50}$  = aprox. 1.000.000.000.000.000 op/s

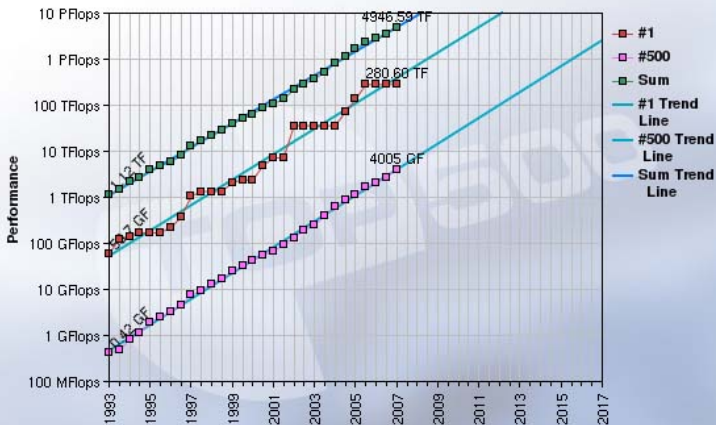
## Previsão do Futuro

- Pergunta: Em que ano teremos computadores de desempenho de PFLOPS?

# Predicção do Desempenho



## Projected Performance Development



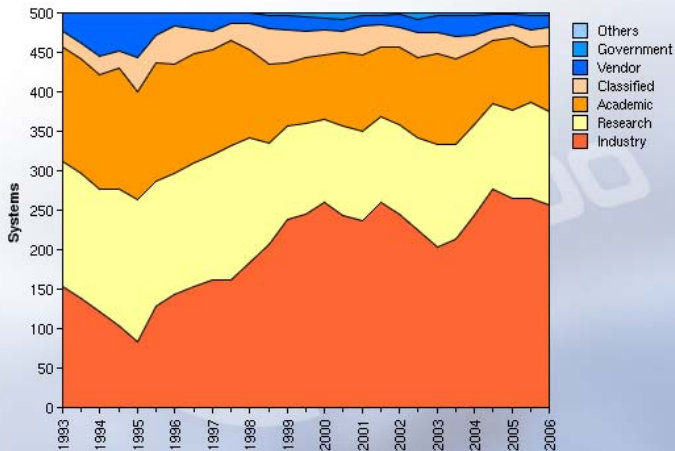
27/06/2007

<http://www.top500.org/>





## Customer Segment / Systems



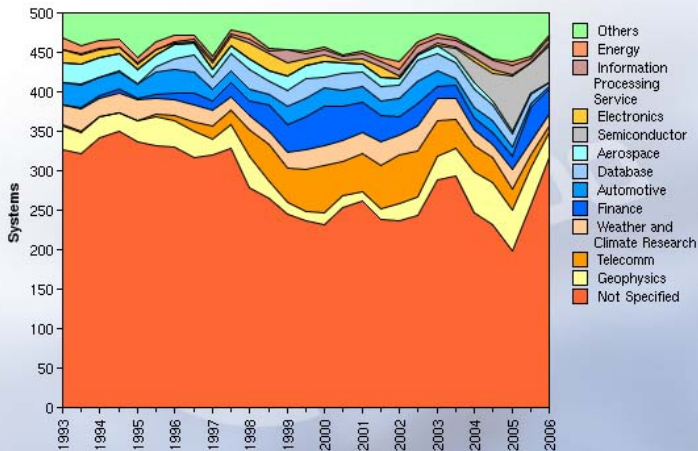
28/06/2006

<http://www.top500.org/>





## Application Area / Systems



28/06/2006

<http://www.top500.org/>

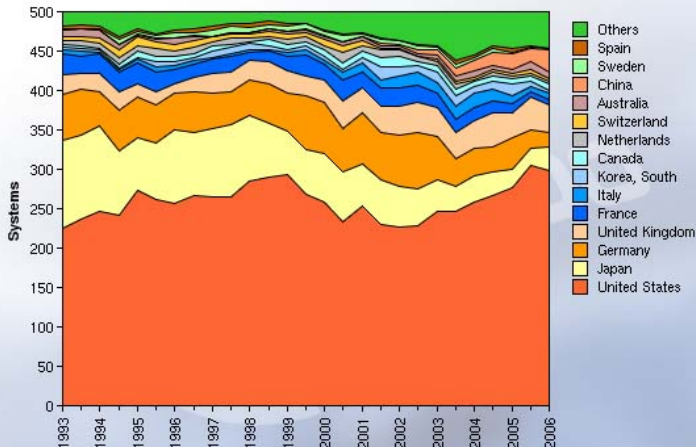


# Países Compradores

Localização dos primeiros 100 da lista (clique aqui).



## Countries / Systems



28/06/2006

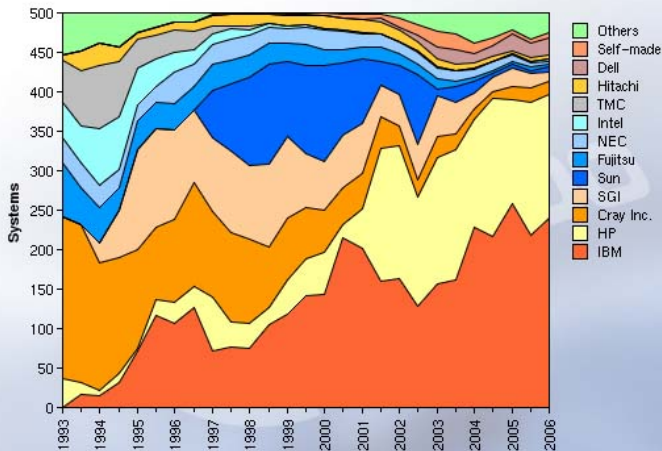
<http://www.top500.org/>



- Área de alta competição.
- Difícil prever qual melhor rumo a seguir.
- Algumas empresas permanecem; outras não.



## Manufacturer / Systems



28/06/2006

<http://www.top500.org/>

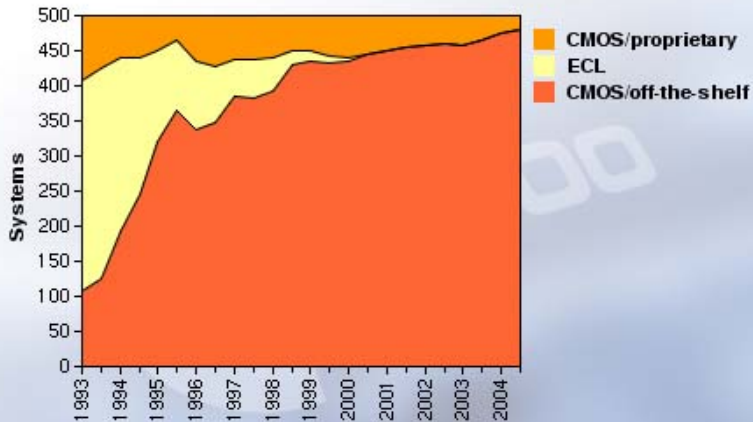




- ECL - *Emitter Coupled Logic*: rápida e de alto custo.
- Tecnologia MOS - *Metal Oxide Semiconductor*.
  - Primeiros processadores de PCs (e.g. Z80): NMOS.
  - Hoje: **CMOS**.



## Chip Technology / Systems



2004-11-09

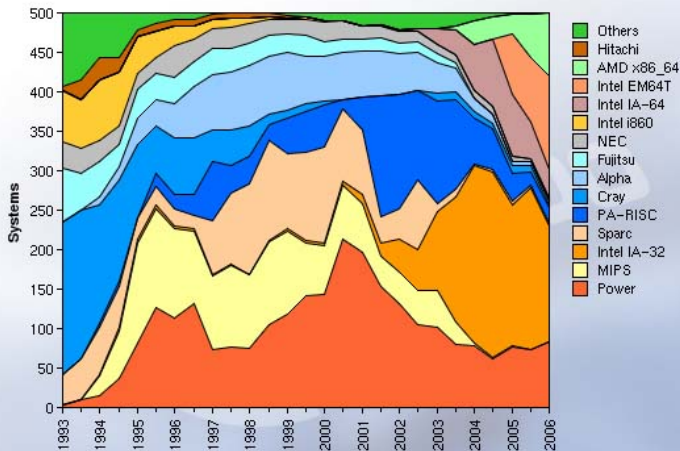
<http://www.top500.org/>

- Um só processador.
- SMP - Symmetric Multi Processor.
- MPP - Massively Parallel Processor.
- SIMD - Single Instruction Multiple Data.
- Cluster - Network of Workstations.
- Constelation - “cluster of clusters”.

# Família de Processadores



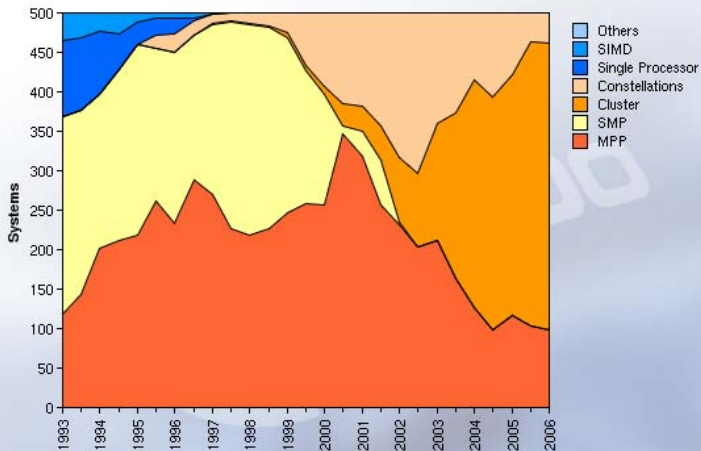
## Processor Family / Systems



28/06/2006

<http://www.top500.org/>





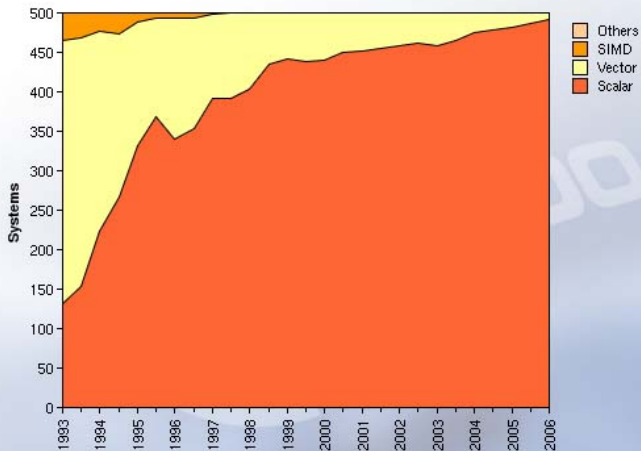
28/06/2006

<http://www.top500.org/>

# Arquitetura do Processador



## Processor Architecture / Systems



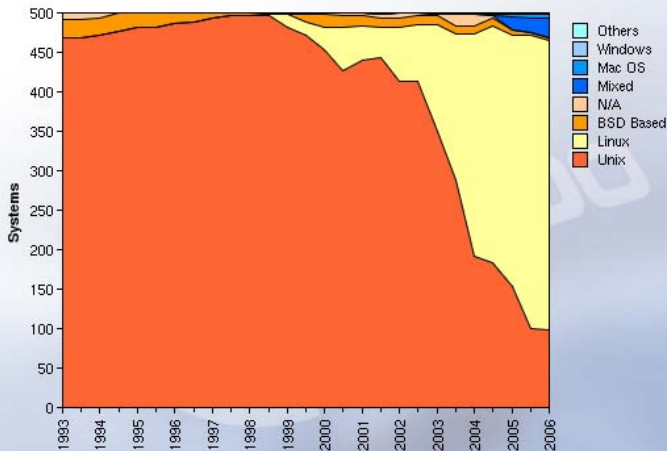
28/06/2006

<http://www.top500.org/>





## Operating System / Systems



28/06/2006

<http://www.top500.org/>



- O rápido avanço em hardware então vai resolver tudo?

Não obstante a rápida evolução do hardware, a grande dificuldade está no desenvolvimento de algoritmos para explorar efetivamente o potencial computacional.

Não adianta termos 131.072 processadores, se apenas poucos fazem trabalhos úteis a cada momento.



- O rápido avanço em hardware então vai resolver tudo?

Não obstante a rápida evolução do hardware, a grande dificuldade está no desenvolvimento de algoritmos para explorar efetivamente o potencial computacional.

Não adianta termos 131.072 processadores, se apenas poucos fazem trabalhos úteis a cada momento.

- O rápido avanço em hardware então vai resolver tudo?

Não obstante a rápida evolução do hardware, a grande dificuldade está no desenvolvimento de algoritmos para explorar efetivamente o potencial computacional.

**Não adianta termos 131.072 processadores, se apenas poucos fazem trabalhos úteis a cada momento.**

# O Vilão é a Comunicação

- Um algoritmo sequencial não gasta tempo com comunicação com outros computadores.  
(Quando só voce está trabalhando, voce não fica falando sozinho :-)
- Um algoritmo paralelo, dependendo da aplicação, precisa fazer comunicação com outros computadores.  
(Quando o trabalho é em grupo, em geral a comunicação se torna essencial.)
- Computador paralelo de memória distribuída: cada processador tem sua memória local.

- Granularidade fina: quando um processador faz pouca computação e depois já precisa fazer comunicação.
- Granularidade grossa: quando um processador faz muita computação antes de precisar fazer comunicação.
- Modelo de computação de granularidade grossa (Coarse-Grained Multicomputer - CGM).
- Objetivo: minimizar o número de rodadas de comunicação.

- Computação de alto desempenho caminha para a computação paralela.
- A tecnologia usada é a CMOS.
- Fabricantes enfrentam alta competição.
- Algumas arquiteturas são mais adequadas para numerosos processadores.
- O novo lugar na lista TOP500 dos *Clusters* (373 em 500 são clusters).