



Processamento Paralelo

AULA 3

Modelos de Computação Paralela

Professor: Luiz Augusto Laranjeira
luiz.laranjeira@gmail.com

Material originalmente produzido pelo Prof. Jairo Panetta (ITA) e adaptado para a FGA pelo Prof. Laranjeira.



- Top 500
- Taxonomia de Flynn
- Modelos de Computação Paralela



- Lista dos 500 computadores mais rápidos do mundo
 - métrica: velocidade efetiva na solução de sistema denso de equações lineares em dupla precisão utilizando decomposição LU (HPL - High Performance Linpack) de tamanho escolhido pelo usuário
 - classificação: velocidade efetiva medida em flops/s (*floating point operations per second*)
 - submissão: usuários interessados executam HPL e enviam resultados (*logo, pode haver máquinas potentes fora da lista*)
 - site: <http://www.top500.org>
 - importância: Rara base histórica de dados (duas listas por ano, mantidas desde 1993)



- Ser número 1 no Top500 é objeto de desejo (“priceless”)
 - HPL é um dos programas mais extensamente otimizados, por fabricantes, na história de computação
 - Dificilmente um programa obterá velocidade efetiva maior que a do HPL na mesma máquina
 - Atualmente há consenso que HPL é imperfeito como benchmark, pois não representa a maioria das computações. HPL está sendo substituído por HPCG (“High Performance Conjugate Gradient”)



Máquina-Local	Cores	V Pico (Tflop/s)	V Linpack (Tflop/s)	Fabricante - Processador	Power (kW)
Summit, IBM AC922, USA	2 414 592	200 795	148 600	IBM POWER9 22C 3.07GHz + NVIDIA Volta GV100	10 096
Sierra, IBM S922LC, USA	1 572 480	125 712	119 193	IBM POWER9 22C 1.0 GHz + NVIDIA Volta GV100	7 438
Taihulight, Sunway, China	10 649 600	125 436	93 015	Sunway SW26010 260C 1.45GHz	15 371
Tianhe 2A, NSCC, China	4 981 760	100 679	61 445	Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz	18 482
Frontera, Dell C6420, USA	448 448	38 746	23 516	Intel Xeon Platinum 8280 28C 2.7GHz	3 360

<http://www.top500.org>

1 Tflop = 1 000 000 000 000 = 10^{12} flops

Top 500 June 2020

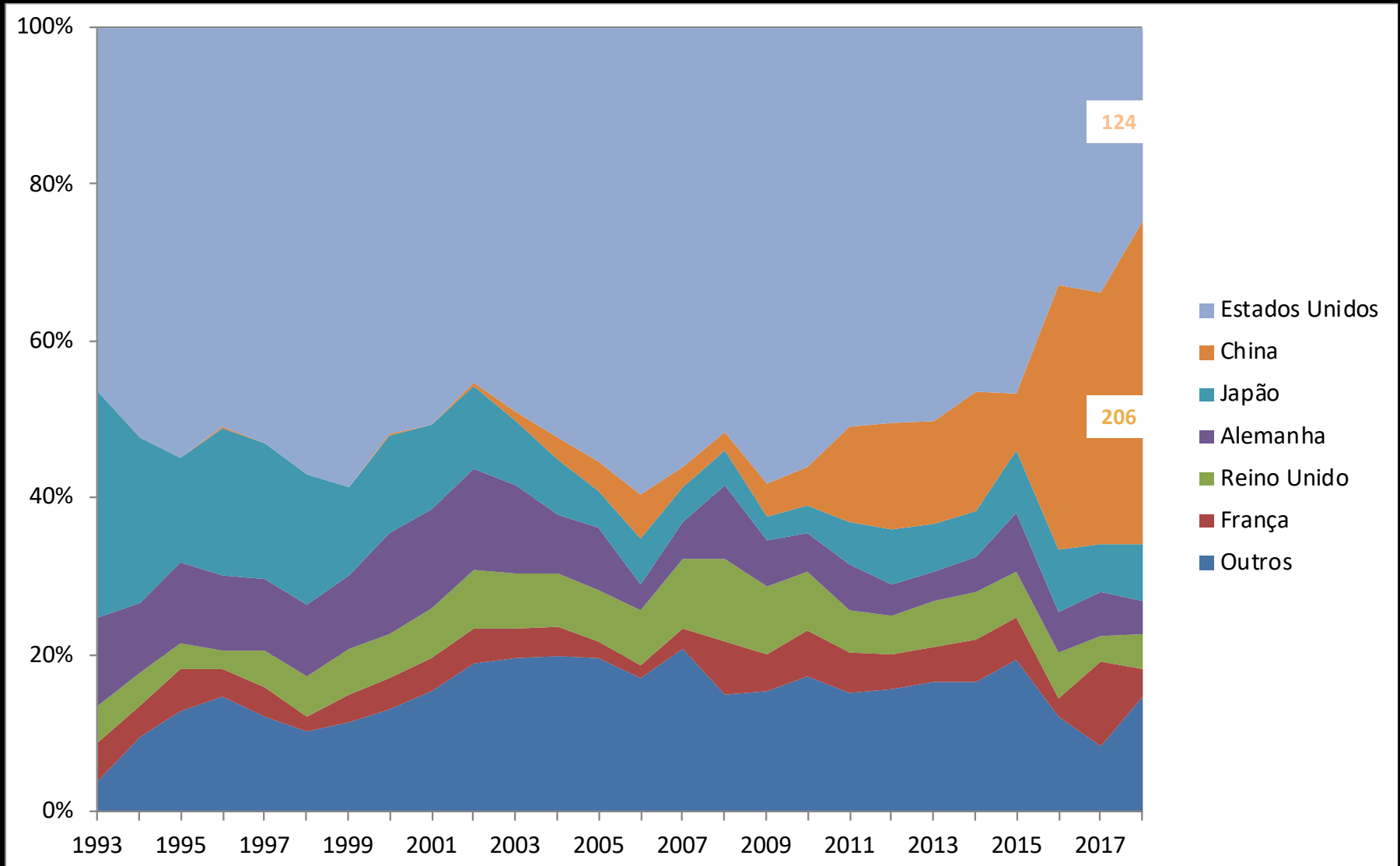


Máquina-Local	Cores	V Pico (Tflop/s)	V Linpack (Tflop/s)	Fabricante - Processador	Power (kW)
Fugaku, R-CCS Kobe, Japan	7 299 072	513 855	415 530	Fujitsu's A64FX 48C ARM (Advanced RISC Machine)	28 335
Summit, IBM AC922, USA	2 414 592	200 795	148 600	IBM POWER9 22C 3.07GHz + NVIDIA Volta GV100	10 096
Sierra, IBM S922LC, USA	1 572 480	125 712	119 193	IBM POWER9 22C 1.0 GHz + NVIDIA Volta GV100	7 438
Taihulight, Sunway, China	10 649 600	125 436	93 015	Sunway SW26010 260C 1.45GHz	15 371
Tianhe 2A, NSCC, China	4 981 760	100 679	61 445	Intel Xeon E5- 2692v2 12C 2.2GHz	18 482

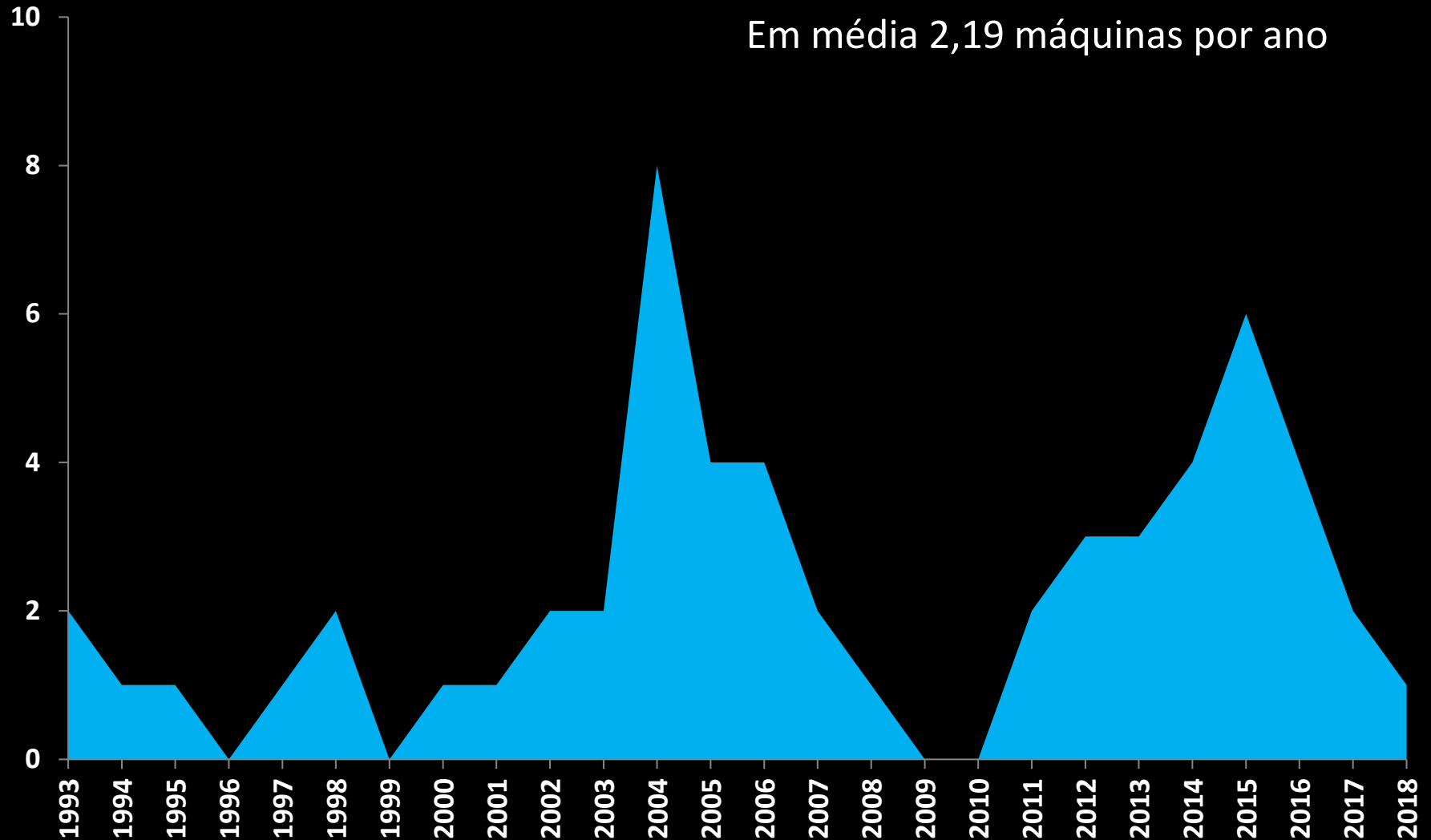
<http://www.top500.org>

1 Tflop = 1 000 000 000 000 = 10^{12} flops

Países no Top500

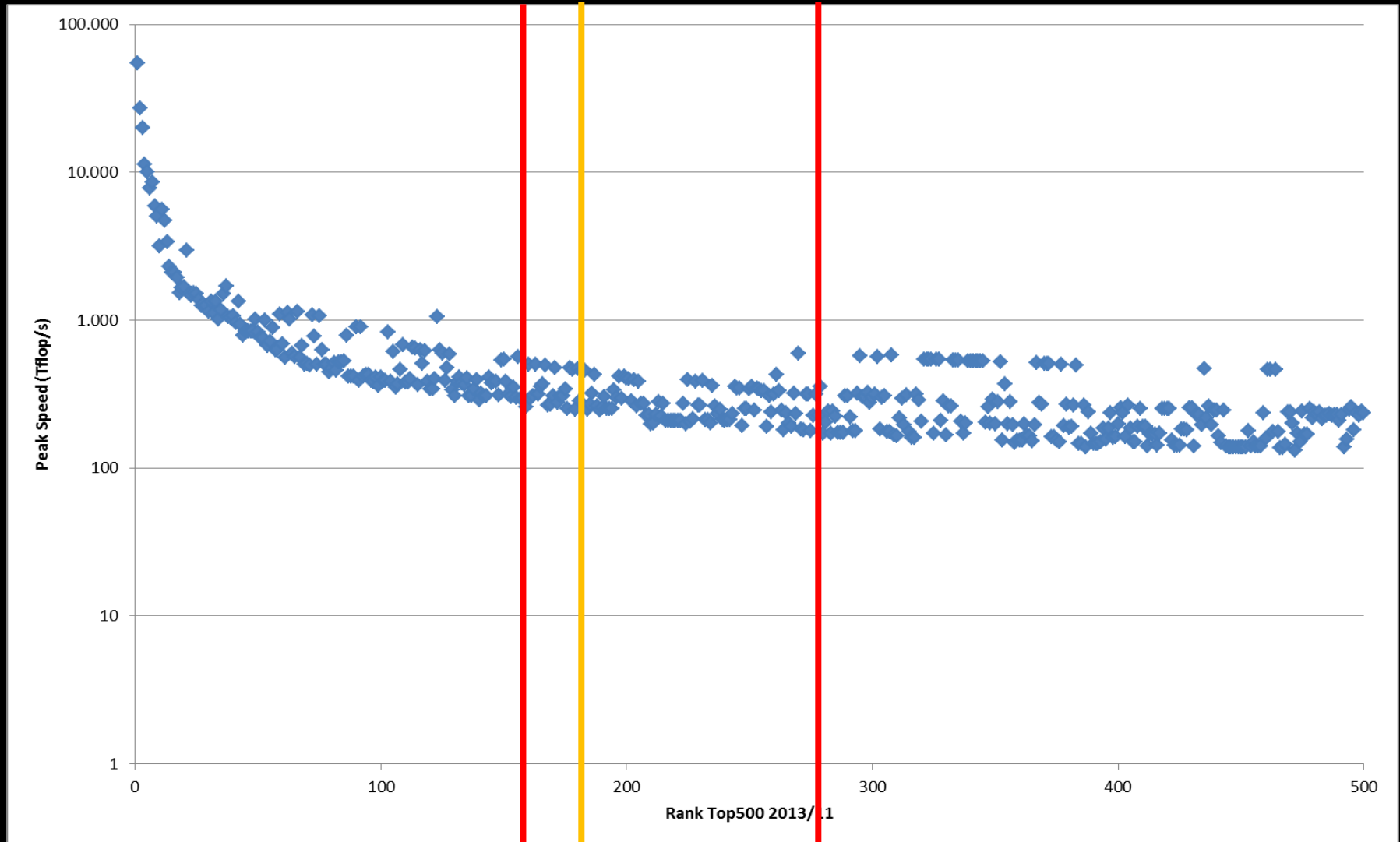


Brasil no Top500





CPTEC #188



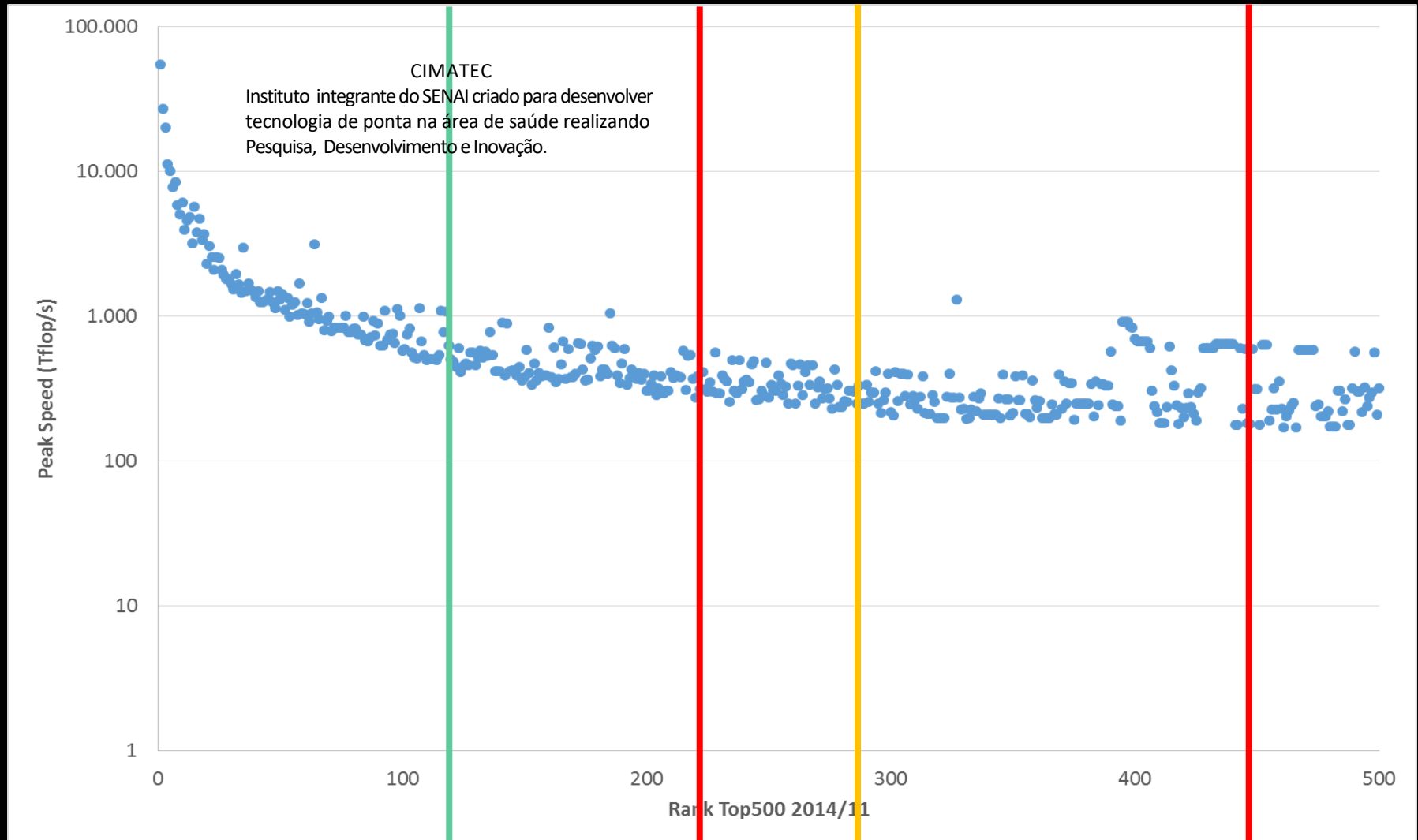
PETROBRAS #156

PETROBRAS #279



CIMATEC #124

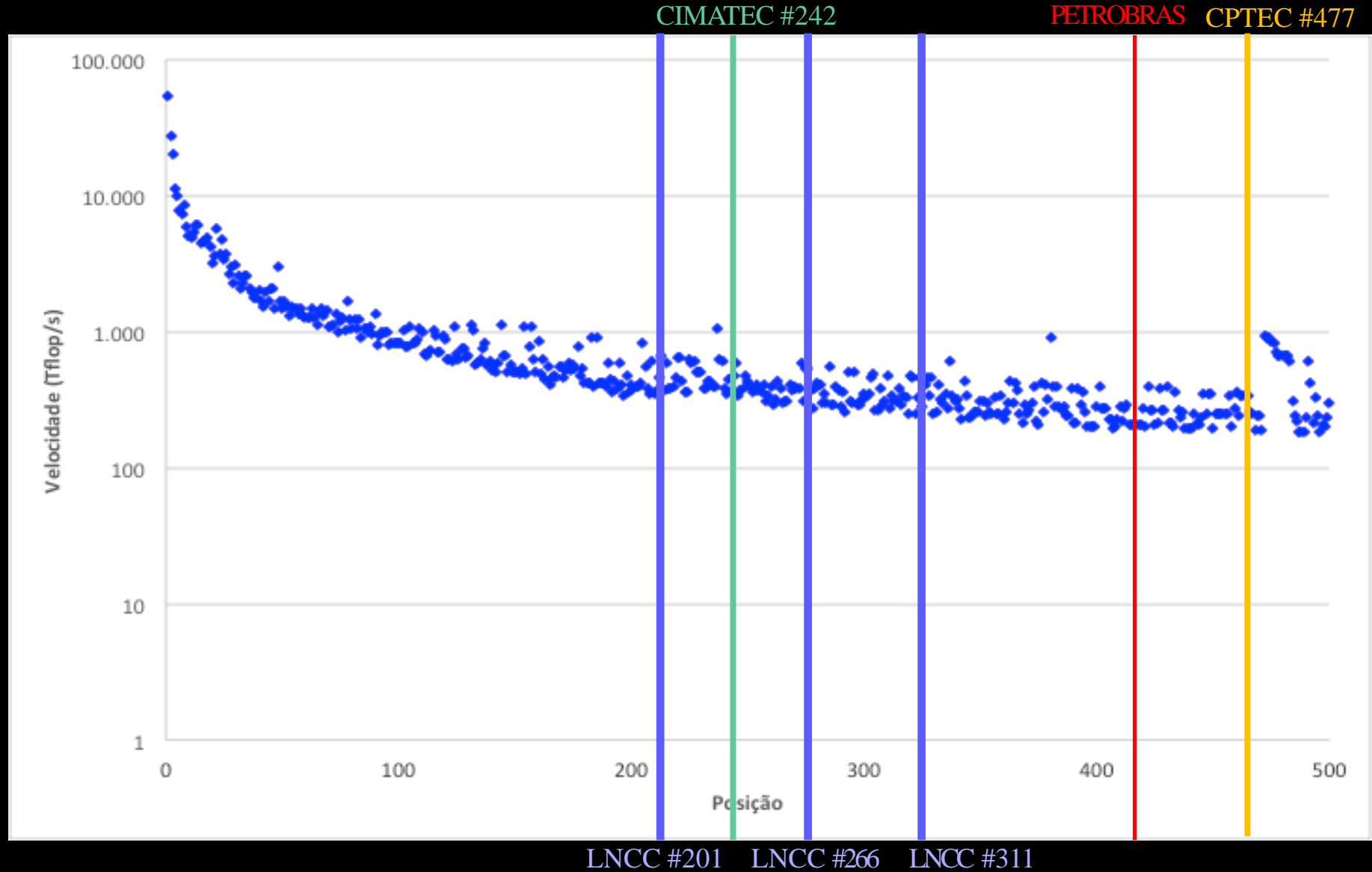
CPTEC #281



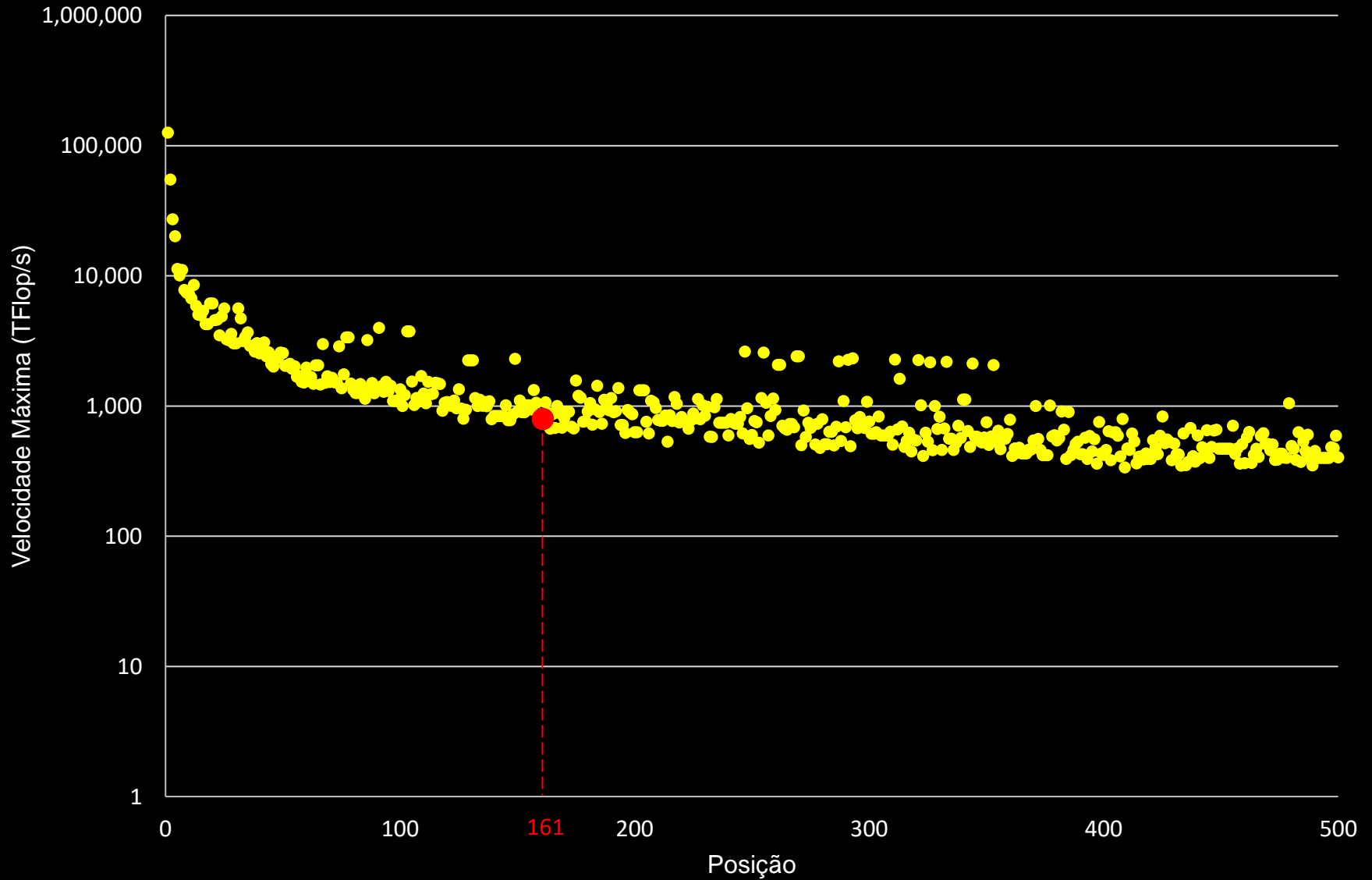
PETROBRAS #228

PETROBRAS #459

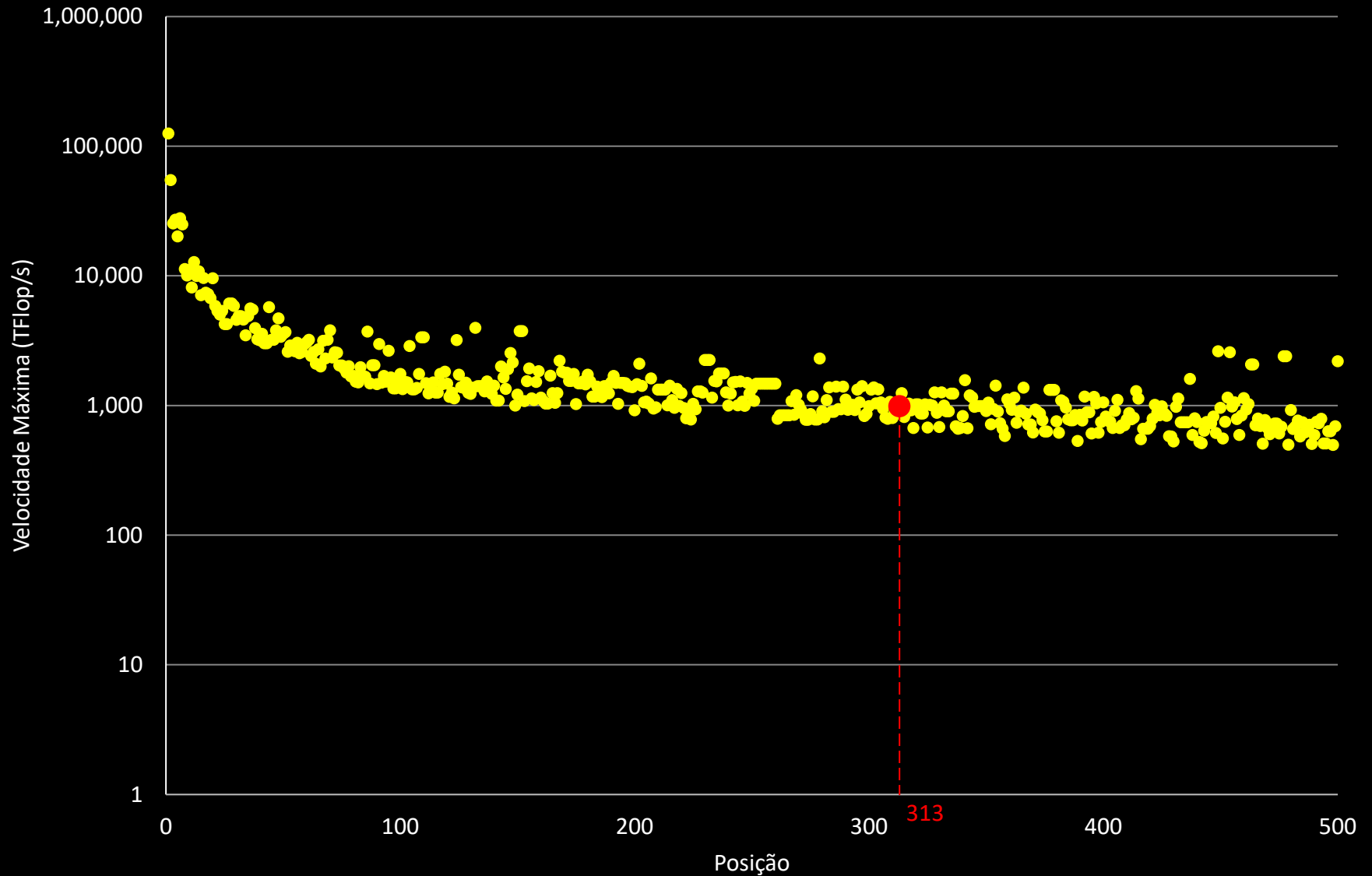
Brasil no Top500 Nov 2015



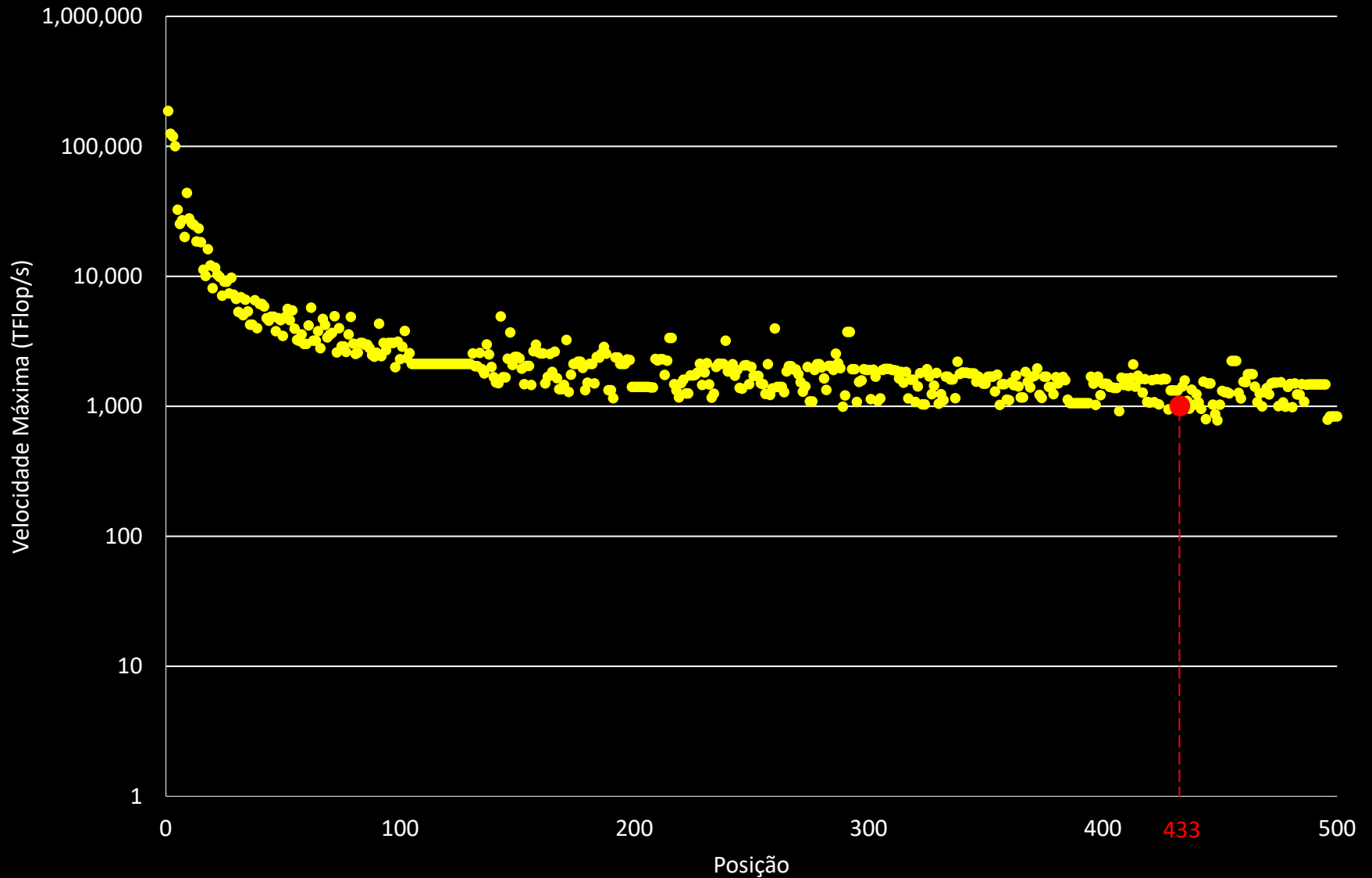
Top500 Jun 2016



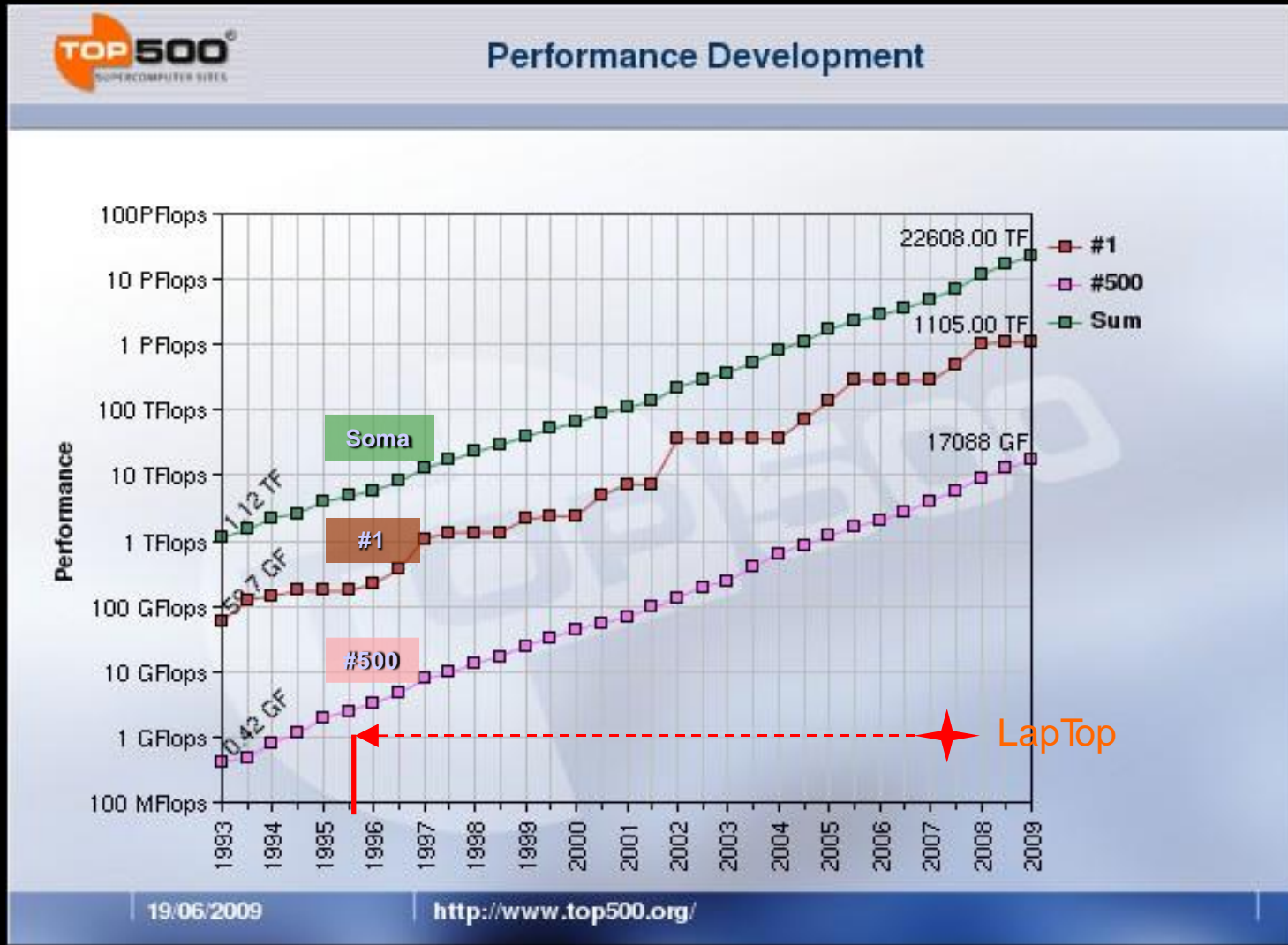
Top500 Jun 2017



Top500 Jun 2018

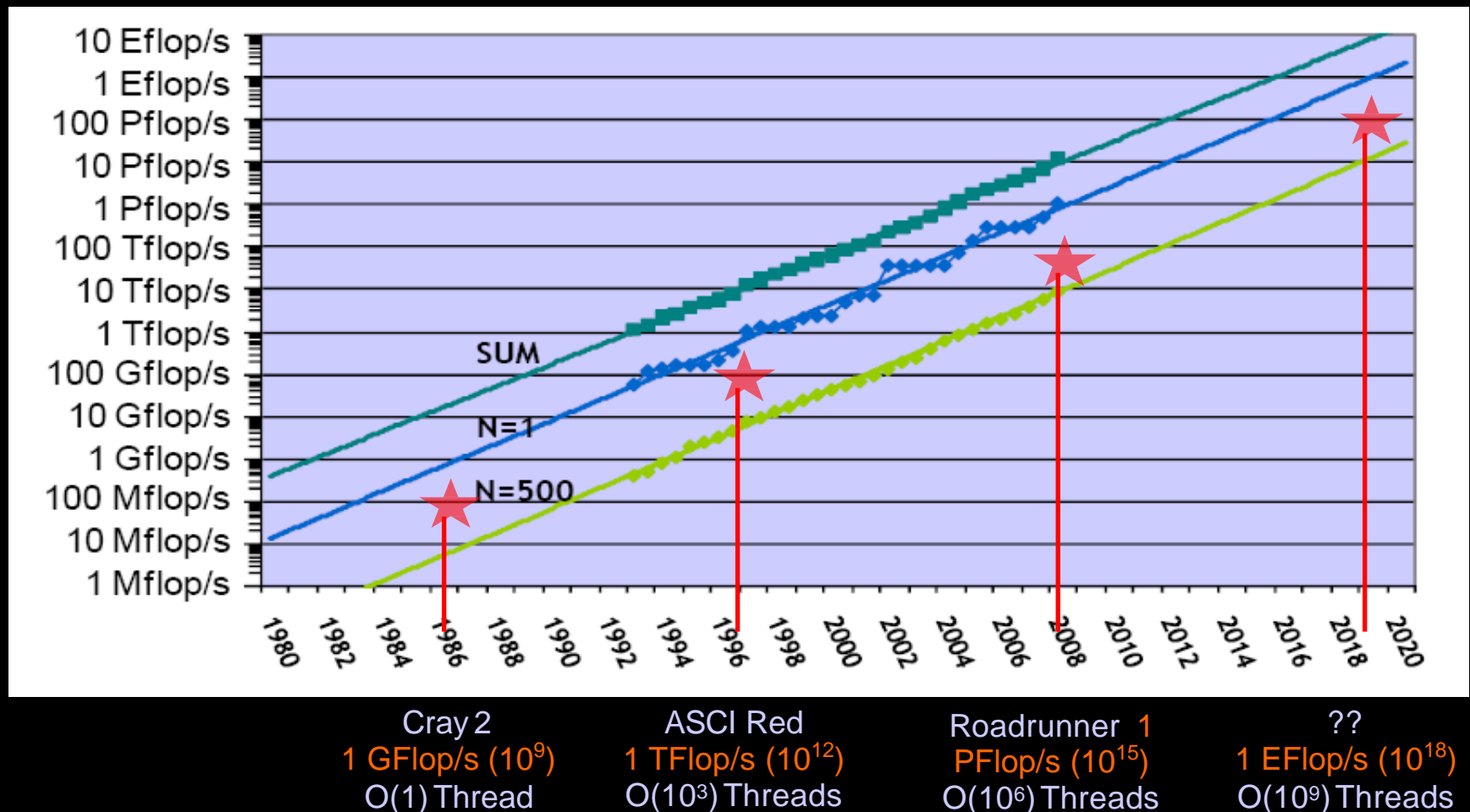


Top500: Visão Histórica



<http://www.top500.org>

Projetando Máquina Exaflop



Jack Dongarra, Invited Talk, SIAM 2008 Annual Meeting



- Top 500
- Taxonomia de Flynn
- Modelos de Computação Paralela
- Processos e Threads
- Excursão Inicial por OpenMP
- Padrão OpenMP
- Região Paralela e Condição de Corrida



- Múltiplas taxonomias anteriormente propostas. As tentativas anteriores de classificar arquiteturas de computadores paralelos em categorias não capturavam a arquitetura em si
- A taxonomia de Flynn foi universalmente adotada
 - Discutível se suficientemente fina para diferenciar algumas propostas posteriores (ex. data flow)
- O conceito central é classificar arquiteturas pelo número de fluxos (**stream**) de dados e instruções
 - “Stream in this context simply means a sequence of items (instructions or data) as executed or operated on by a processor”

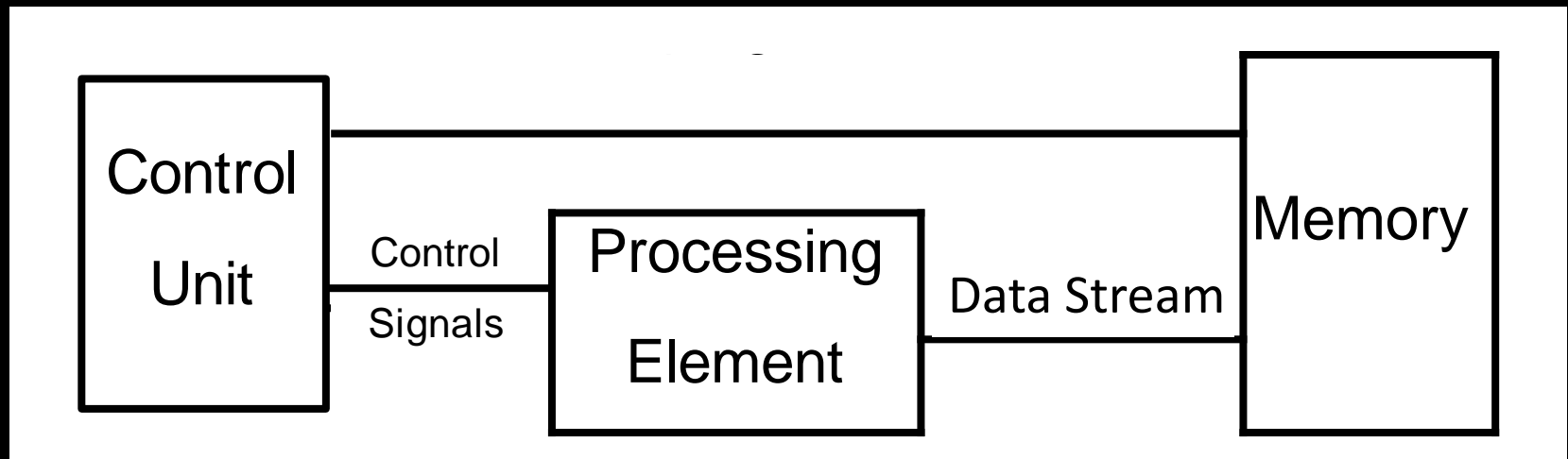
*Michael J. Flynn, “Some Computer Organizations and Their Effectiveness”,
IEEE Transactions on Computers Vol. C-21, n. 9, Sept 1972*



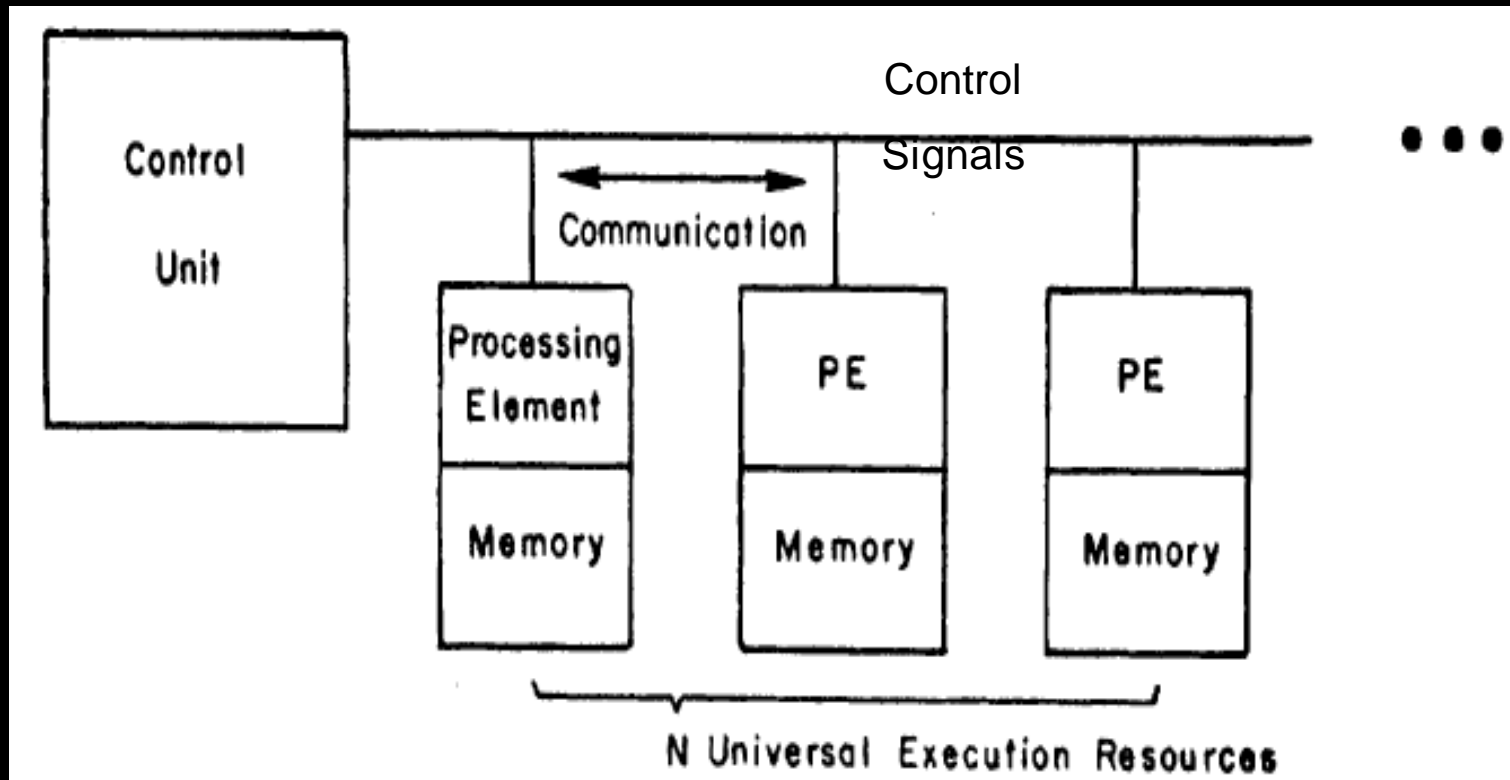
Tipos de Arquiteturas de Computadores Paralelos

- **SISD:**
 - Single Instruction Stream Single Data Stream
- **SIMD:**
 - Single Instruction Stream Multiple Data Streams
 - Há múltiplas formas; veremos uma
- **MISD:**
 - Multiple Instruction Streams Single Data Stream
- **MIMD:**
 - Multiple Instruction Streams Multiple Data Streams
 - Há múltiplas formas

- Arquiteturas convencionais (sequenciais)



SIMD: Array de Processadores



- Control Unit envia os sinais da **mesma instrução** para todas as PEs
- Cada PE atua exclusivamente sobre sua memória; PE similar a ALU+FPU

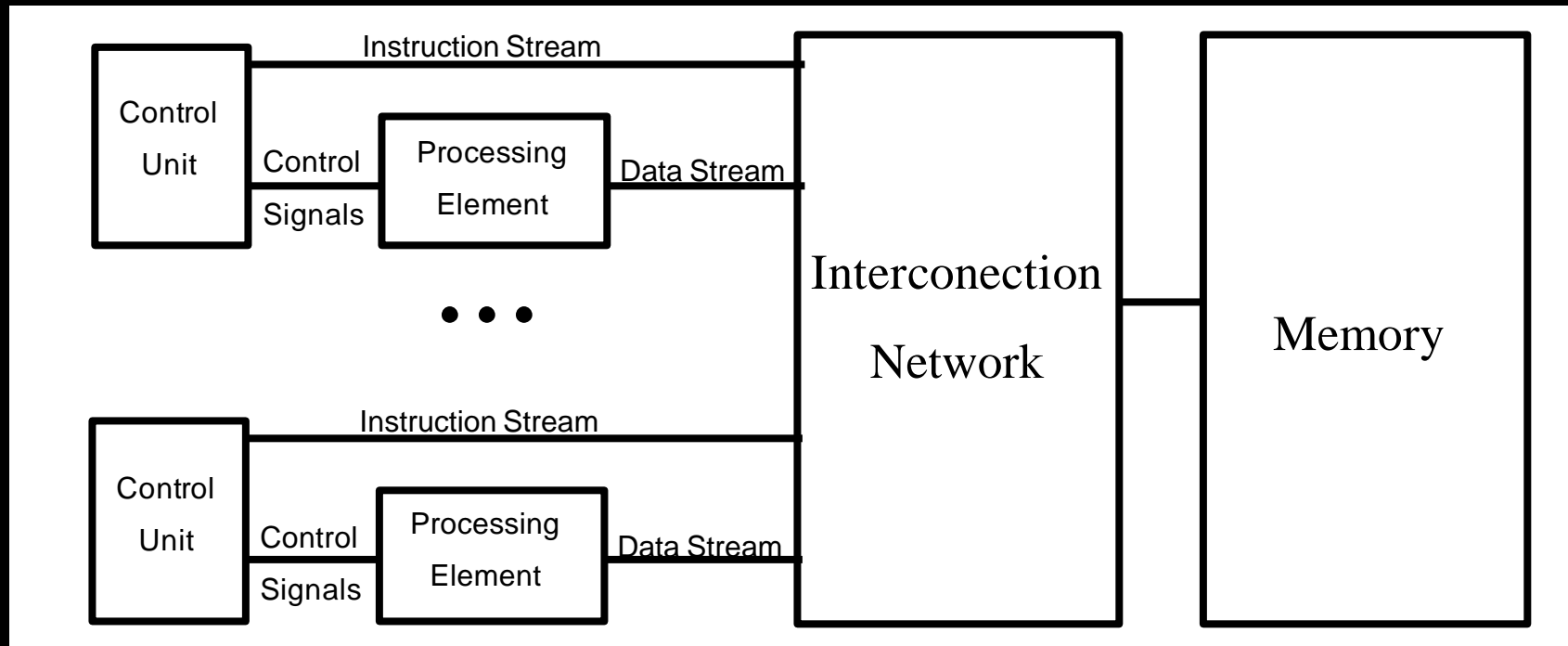


- Categoria considerada vazia pela comunidade
- Flynn cita antigas calculadoras
 - Talvez IBM 602, onde usuário monta o circuito (a verificar...)





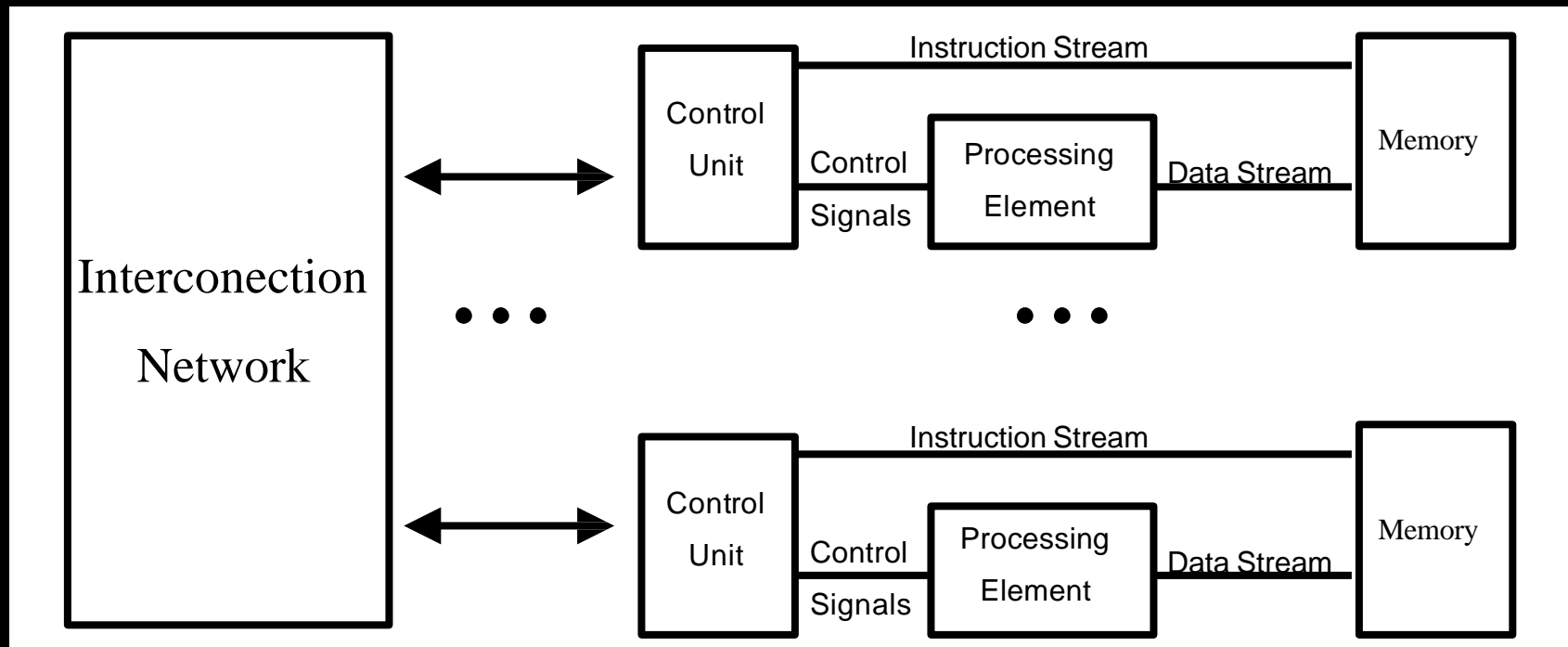
- Múltiplos processadores endereçando a mesma memória



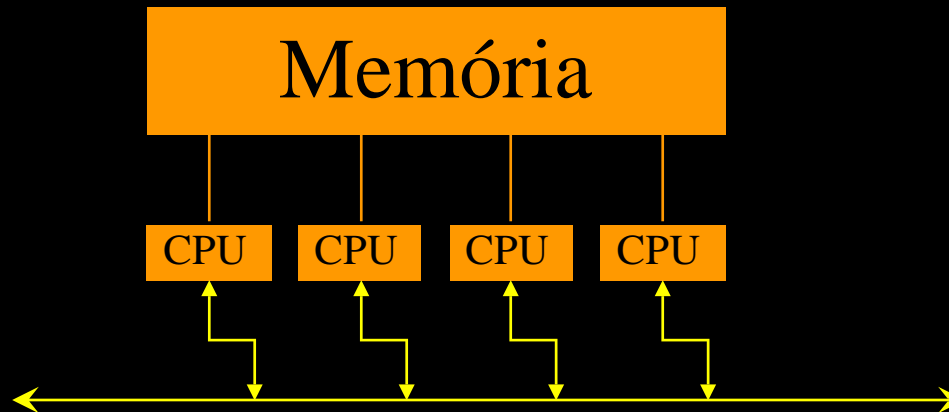
- Sistema Operacional unificado (**Single System Image**)



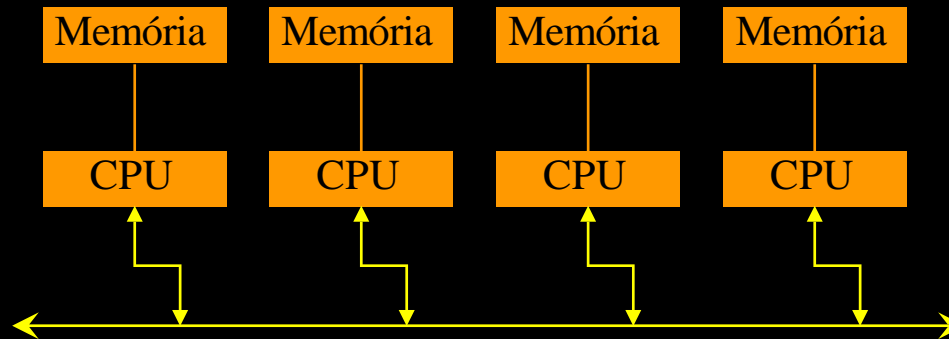
- Cada processador endereça sua própria memória



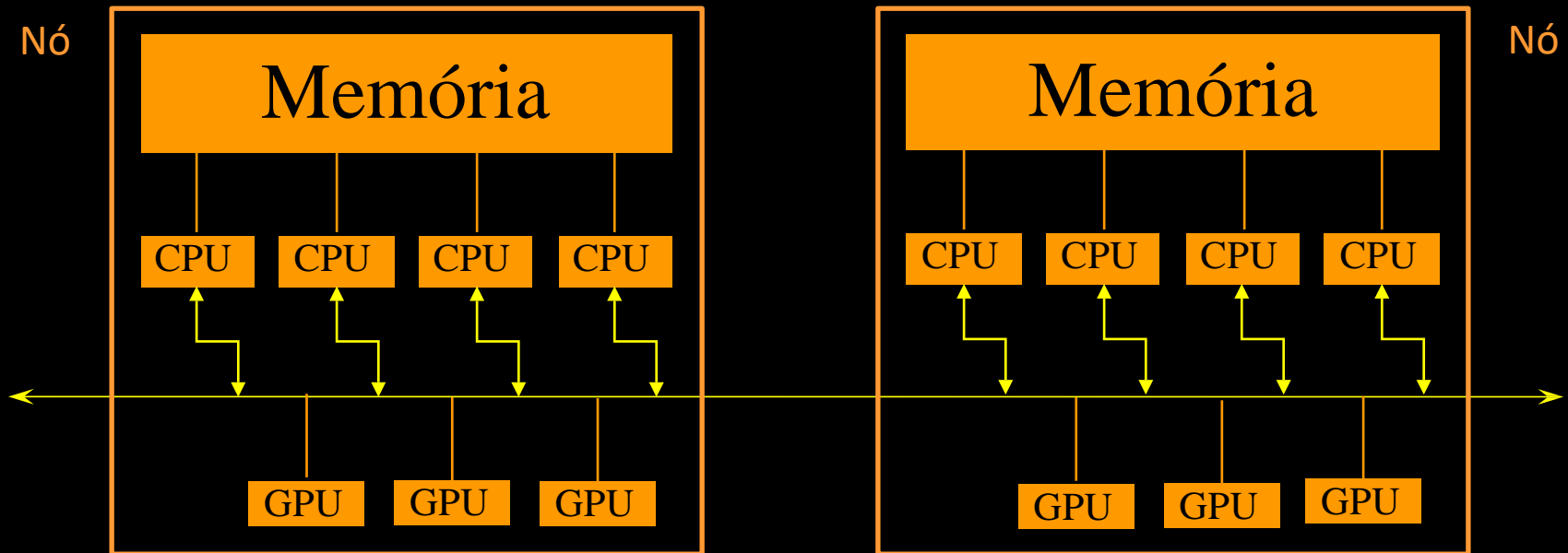
- Múltiplos Sistemas Operacionais, tipicamente idênticos



Único sistema operacional



Múltiplas cópias do mesmo
sistema operacional



Múltiplas cópias do mesmo sistema op. entre nós;
Sistema operacional único em cada nó



- SISD
 - CPU sequencial “convencional”
- SIMD
 - Vimos Array de processadores; há outras
- MISD
 - Talvez categoria vazia
- MIMD
 - Memória central
 - Memória distribuída
 - Cluster (memória distribuída entre nós)



- Top 500
- Taxonomia de Flynn
- Modelos de Computação Paralela
- Processos e Threads
- Excursão Inicial por OpenMP
- Padrão OpenMP
- Região Paralela e Condição de Corrida

- Onde a computação é realizada (arquitetura do computador):
 - Memória Central
 - Memória Distribuída
- Como a computação é realizada (modelos de computação paralela):
 - Modelo de Troca de Mensagens
 - Modelo Fork-Join
 - Há outros...



- Uma computação paralela é composta por entidades (trechos de programa) que cooperam.
- Utilizaremos **tarefa** para denominar cada uma dessas entidades.
- Cada modelo de computação utiliza um nome particular para designar a entidade (ex., processo, thread).



- Tarefas cooperam na execução de uma computação
- Cada tarefa tem o seu espaço de endereçamento (memória) invisível a outras tarefas
- Se necessário, tarefas trocam dados por meio de mensagens
 - Memória de uma tarefa é **copiada** para outra tarefa
 - A troca de mensagens gera **sincronismo** (portanto, dependência) entre as tarefas



- Tarefas cooperam na execução de uma computação
- Todas as tarefas tem o mesmo espaço de endereçamento
 - Memória de uma tarefa é visível (e alterável) por outras tarefas
- Se necessário, tarefas trocam dados lendo e alterando memória “alheia” (comum, na realidade)
 - Potencial conflito de acesso (escrita - leitura ou escrita - escrita) em uma posição de memória, denominado condição de corrida (**race condition**)
 - A troca de dados requer **sincronismo** (portanto, dependência) entre as tarefas
 - Uso de semáforos, mutexes ou condition variables



Arquitetura de Computadores MIMD x Modelos de Computação MIMD

- Tipicamente, Fork-Join é executado em máquinas MIMD de memória central
 - Mesmo espaço de endereçamento
- Troca de Mensagens é executada em máquinas MIMD de memória central ou de memória distribuída
 - Existem implementações triviais de espaços de endereçamento distintos nos dois casos



- Um processo cria outro processo (filho) utilizando **fork**;
- Pai e filho tem o mesmo espaço de endereçamento;
- Pai aguarda término do filho invocando **join**;
- Como a criação e a destruição de processos é custosa, este modelo utiliza **threads** (processos leves) no lugar de processos



- Top500 é base de dados relevante ao longo dos anos
- Taxonomia de Flynn organiza arquitetura de computadores paralelos
 - A arquitetura predominante hoje é um cluster de máquinas MIMD
- Os principais modelos de Computação Paralela são fork-join e troca de mensagens
 - Fork-join aplicável à máquinas MIMD de memória central
 - Troca de mensagens aplicável a máquinas MIMD