

INE5607 – Organização e Arquitetura de Computadores

Unidade Central de Processamento

Aula 4: Avaliação de desempenho de processadores

Prof. Laércio Lima Pilla

laercio.pilla@ufsc.br



Sumário

- Definindo desempenho
- Perfilamento
- Métricas
- O que afeta o desempenho?
- *Power wall*
- Considerações finais

DEFININDO DESEMPENHO

Definindo desempenho

- O processador A é melhor do que o B
 - O que isso quer dizer?
 - O quanto melhor ele é?
 - Em quais casos?
 - E para esse caso específico?

Definindo desempenho

- Analogia: aviões

Avião

Boeing 777

Boeing 747

BAC/Sud
Concorde

Douglas DC-
8-50

Figura 1.13 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Definindo desempenho

- Analogia: aviões

| Avião | Capacidade <i>passageiros</i> |
|---------------------|----------------------------------|
| Boeing 777 | 375 |
| Boeing 747 | 470 |
| BAC/Sud Concorde | 132 |
| Douglas DC- 8-50 | 146 |

Figura 1.13 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Definindo desempenho

- Analogia: aviões

| Avião | Capacidade <i>passageiros</i> | Autonomia <i>milhas</i> |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Boeing 777 | 375 | 4630 |
| Boeing 747 | 470 | 4150 |
| BAC/Sud Concorde | 132 | 4000 |
| Douglas DC- 8-50 | 146 | 8720 |

Figura 1.13 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Definindo desempenho

- Analogia: aviões

| Avião | Capacidade <i>passageiros</i> | Autonomia <i>milhas</i> | Velocidades de cruzeiro <i>mph</i> |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------|--|
| Boeing 777 | 375 | 4630 | 610 |
| Boeing 747 | 470 | 4150 | 610 |
| BAC/Sud Concorde | 132 | 4000 | 1350 |
| Douglas DC- 8-50 | 146 | 8720 | 544 |

Figura 1.13 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Definindo desempenho

- Analogia: aviões

| Avião | Capacidade <i>passageiros</i> | Autonomia <i>milhas</i> | Velocidades de cruzeiro <i>mph</i> | Vazão de passageiros <i>pass x mph</i> |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------|--|--|
| Boeing 777 | 375 | 4630 | 610 | 228.750 |
| Boeing 747 | 470 | 4150 | 610 | 286.700 |
| BAC/Sud Concorde | 132 | 4000 | 1350 | 178.200 |
| Douglas DC- 8-50 | 146 | 8720 | 544 | 79.424 |

Figura 1.13 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Definindo desempenho

- Comparação entre desktops
 - **Qual deles termina a tarefa primeiro?**
 - Tempo para realizar uma tarefa
 - Tempo de execução ou tempo de resposta
- Comparação entre servidores
 - **Qual deles completou mais tarefas?**
 - Número de tarefas na unidade de tempo
 - **Vazão** (*throughput*)

Definindo desempenho

- O que muda nos casos abaixo? A **vazão** aumenta, o **tempo de execução** diminui, ou **ambos**?
 - Trocar o processador do computador por um mais rápido
 - Adicionar máquinas alugadas na nuvem

PERFILAMENTO

Perfilamento

- Uso de cargas de trabalho para a avaliação/comparação de computadores
 - *Workloads*
 - Padronização de comparações
- Perfis (ou *benchmarks*)
 - Usados para comparar computadores, CPUs, memórias, interconexões, etc.

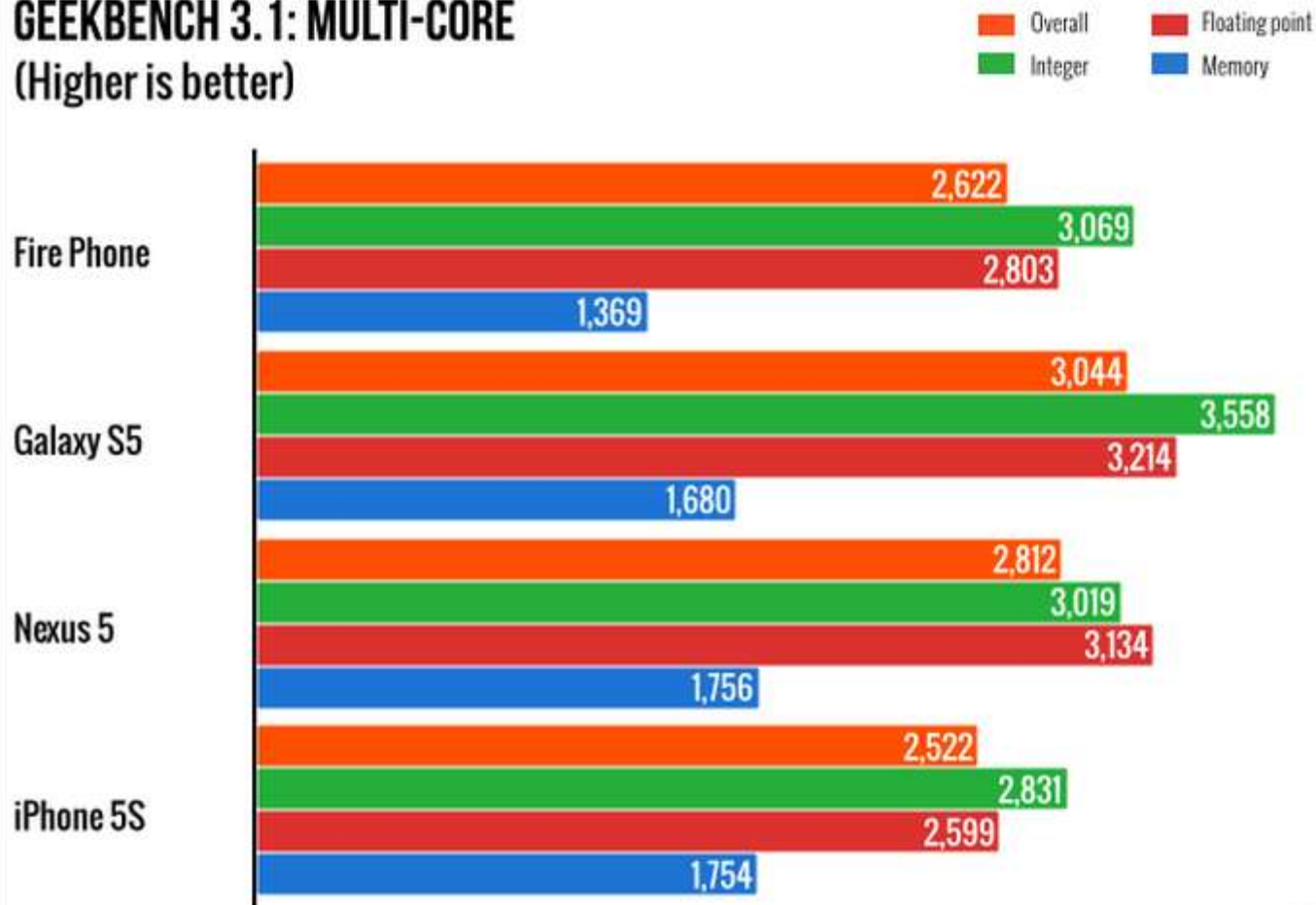
Perfilamento

- Exemplos para CPU/sistema
 - SPEC CPU
 - Linpack (TOP500.org)
 - SPLASH
 - PARSEC
 - Whetstone
 - Dhrystone
 - *NAS Parallel Benchmarks*

Perfilamento

- Exemplo: avaliação de smartphones

GEEKBENCH 3.1: MULTI-CORE
(Higher is better)



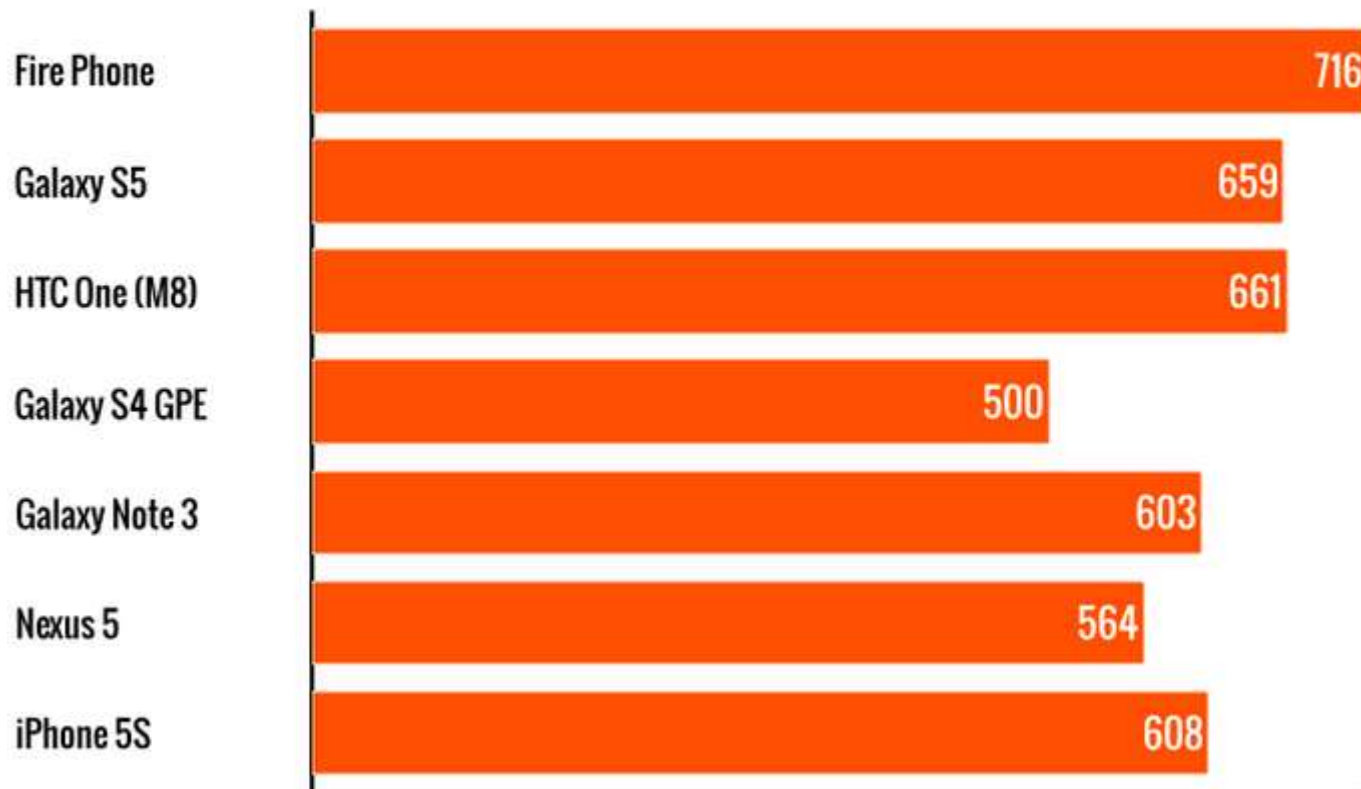
<http://arstechnica.com/gadgets/2014/07/review-amazons-fire-phone-offers-new-gimmicks-old-platform-growing-pains/3/>

Perfilamento

- Exemplo: avaliação de smartphones

BATTERY LIFE: WI-FI BROWSING TEST, 200 NITS

Minutes (higher is better)



<http://arstechnica.com/gadgets/2014/07/review-amazons-fire-phone-offers-new-gimmicks-old-platform-growing-pains/3/>

Perfilamento

- Exemplo: notebook e video

Gaming Performance

In terms of gaming performance we refer again to the already tested **Lenovo Y50-70** with FHD display, which should have a roughly identical gaming performance to the version we are testing in this review.

| | low | med. | high | ultra | |
|---|-----|------|------|-------|-----|
| Dirt 3 (2011) | | | 111 | 56 | fps |
| Sleeping Dogs (2012) | | | 69 | 20 | fps |
| Guild Wars 2 (2012) | | | 38 | 31 | fps |
| Tomb Raider (2013) | | | 97 | 44 | fps |
| StarCraft II: Heart of the Swarm (2013) | | | 78 | 49 | fps |
| BioShock Infinite (2013) | | | 103 | 65 | fps |
| Metro: Last Light (2013) | | | 53 | 28 | fps |
| GRID 2 (2013) | | | 69 | 45 | fps |
| Company of Heroes 2 (2013) | | | 35 | 14 | fps |
| Thief (2014) | | | 42 | 24 | fps |
| GRID: Autosport (2014) | | | 88 | 61 | fps |


<http://www.notebookcheck.net/Lenovo-IdeaPad-Y50-70-59424712-Notebook-Review-Update.124754.0.html>

Perfilamento

- Exemplo: Índice de experiência do Windows

Classifique e melhore o desempenho do computador

O Índice de Experiência do Windows avalia os principais componentes do sistema em uma escala de 1,0 a 7,9.

| Componente | O que é classificado | Subtotal | Pontuação básica |
|-------------------------------|---|----------|---|
| Processador: | Cálculos por segundo | 7,5 |  Determinado pela pontuação mais baixa |
| Memória (RAM): | Operações de memória por segundo | 5,9 | |
| Elementos gráficos: | Desempenho da área de trabalho para Windows Aero | 5,1 | |
| Gráficos de jogos: | Desempenho de gráficos comerciais 3D e de jogos | 6,3 | |
| Disco rígido primário: | Taxa de transferência de dados de disco | 5,9 | |

Perfilamento

- Discussão: qual a melhor forma de comparar plataformas?
 - Um *benchmark*?
 - Qual?
 - Vários *benchmarks*?
 - Como combinar os valores?
 - Média aritmética, média geométrica, maior valor, menor valor?

MÉTRICAS

Métricas

- Desempenho

$$\text{Desempenho}_x = \frac{1}{\text{Tempo de execução}_x}$$

- Desempenho relativo (ou *speedup*)

$$\text{Desempenho}_x > \text{Desempenho}_y$$

$$\frac{1}{\text{Tempo de execução}_x} > \frac{1}{\text{Tempo de execução}_y}$$

$$\text{Tempo de execução}_y > \text{Tempo de execução}_x$$

Métricas

- Desempenho relativo (ou *speedup*)
 - X é n vezes mais rápido do que Y

$$n = \frac{\text{Tempo de execução}_y}{\text{Tempo de execução}_x} = \frac{\text{Desempenho}_x}{\text{Desempenho}_y}$$

Métricas

- Se o computador A roda um programa em 10 segundos e um computador B roda o mesmo programa em 15 segundos, o quão mais rápido é A do que B?

Métricas

- Tempo de execução de um programa
 - **Medido em segundos**
- Tempo de resposta
 - **Tempo total para completar uma tarefa**
 - CPU + memória + HD + E/S
 - Compartilhamento: programas simultâneos
- Tempo de execução de CPU

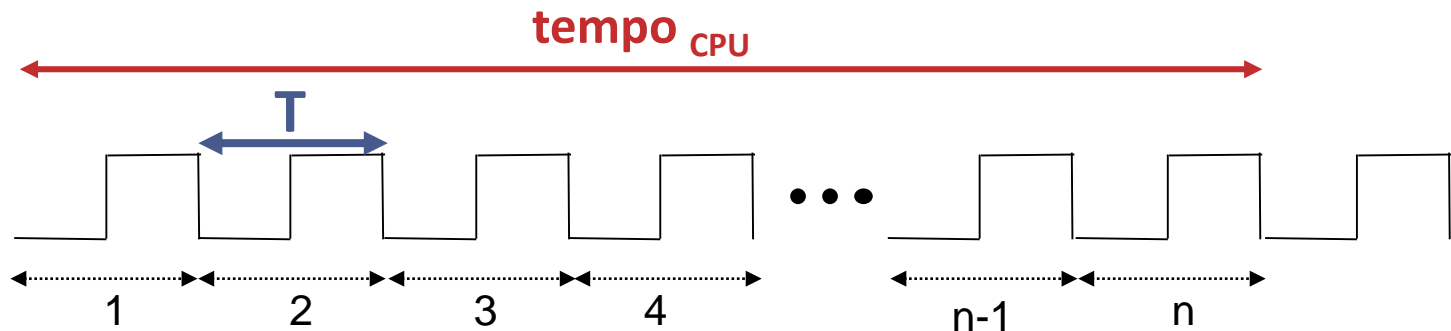
$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = \text{tempo}_{\text{usuário}} + \text{tempo}_{\text{sistema}}$$

Métricas

- **Perspectiva de usuário**
 - Quanto rápido um **programa** executa?
 - Métrica: tempo
- **Perspectiva de projetista**
 - Quanto rápido o **HW** executa funções básicas?
 - Métrica: ciclos de relógio

Métricas

- Computador é um sistema digital síncrono
- Relógio
 - Determina quando ocorrem eventos no HW
 - Período (T) ou frequência (f)
 - Exemplo: $T = 0.25\text{ns} = 250\text{ ps}$ ou $f = 4\text{ GHz}$



$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = n \times T = \frac{n}{f}$$

Métricas

- Visão simples de tempo
 - Tempo de execução de um programa na CPU = Ciclos de relógio para a execução do programa * Período de ciclo de relógio

$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = \text{ciclos}_{\text{CPU}} \times T = \frac{\text{ciclos}_{\text{CPU}}}{f}$$

Métricas

- Exemplo
 - 10s (comp. A, 2 GHz)
 - 6s (comp. B, ?), mas $\text{ciclos}_B = 1,2 \times \text{ciclos}_A$
- Solução

$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = \text{ciclos}_{\text{CPU}} \times T = \frac{\text{ciclos}_{\text{CPU}}}{f}$$

Métricas

- Exemplo
 - 10s (comp. A, 2 GHz)
 - 6s (comp. B, ?), mas $\text{ciclos}_B = 1,2 \times \text{ciclos}_A$
- Solução

$$\text{ciclos}_{\text{CPU}}(A) = \text{tempo}_{\text{CPU}}(A) \times f(A) = 10 \times 2 \times 10^9$$

$$\text{tempo}_{\text{CPU}}(B) = \frac{1.2 \times \text{ciclos}_{\text{CPU}}(A)}{f(B)} = \frac{1.2 \times 10 \times 2 \times 10^9}{f(B)} = 6$$

$$f(B) = \frac{1.2 \times 10 \times 2 \times 10^9}{6} = 4 \times 10^9 = 4 \text{ GHz}$$

Métricas

- Desempenho considerando instruções
 - Número de ciclos depende de
 - Número de **instruções executadas**
 - Número médio de **ciclos por instrução**
 - **Ciclos de CPU = Instruções do programa *
Número de ciclos médio por instrução**

$$\text{ciclos}_{\text{CPU}} = I \times \text{CPI}$$

$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = I \times \text{CPI} \times T = \frac{I \times \text{CPI}}{f}$$

Métricas

- Exemplo
 - Programa compilado para uma certa ISA
 - Computador A
 - Tempo de ciclo de 250 ps
 - CPI de 2
 - Computador B
 - Tempo de ciclo de 500 ps
 - CPI de 1.2
 - Qual é o mais rápido? Por quanto?

Métricas

— Computador A:

- Tempo de ciclo de 250 ps e CPI de 2
- $\text{Ciclos}_A = I * 2.0$
- $\text{Tempo}_A = \text{Ciclos}_A * \text{TempoDeCiclo}_A$
- $\text{Tempo}_A = I * 2.0 * 250 \text{ ps} = I * 500 \text{ ps}$

— Computador B:

- Tempo de ciclo de 500 ps e CPI de 1.2
- $\text{Ciclos}_B = I * 1.2$
- $\text{Tempo}_B = \text{Ciclos}_B * \text{TempoDeCiclo}_B$
- $\text{Tempo}_B = I * 1.2 * 500 \text{ ps} = I * 600 \text{ ps}$

Métricas

- Qual é o mais rápido?
 - $\text{Tempo}_A = 1 * 500 \text{ ps}$
 - $\text{Tempo}_B = 1 * 600 \text{ ps}$
- Quão mais rápido?
 - $\text{Tempo}_B / \text{Tempo}_A = (1 * 600) / (1 * 500) = 1.2$

Métricas

- Como determinar cada fator?

$$\text{tempo}_{\text{CPU}} = I \times \text{CPI} \times T$$

SW: “profiler”, simulador
HW: contador

Simulação da
implementação

manual do
processador

$$\text{ciclos}_{\text{CPU}} = \sum_{i=1}^n (I_i \times \text{CPI}_i)$$

Métricas

$$\text{CPI} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \times \text{CPI}_i}{I} \quad (\text{média ponderada dos CPIs})$$

$$\text{CPI} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_i}{I} \times \text{CPI}_i \right) = \sum_{i=1}^n (F_i \times \text{CPI}_i)$$

| Classe | CPI | Qde. | Fração |
|--------|-----|------|--------|
| A | 5 | 20M | 0,33 |
| B | 2 | 30M | 0,50 |
| C | 4 | 6M | 0,10 |
| D | 4 | 4M | 0,07 |

$$\text{CPI} = \frac{5 \times 20 + 2 \times 30 + 4 \times 6 + 4 \times 4}{60} = \frac{10}{3}$$

$$\text{CPI} = 5 \times 0,33 + 2 \times 0,50 + 4 \times 0,10 + 4 \times 0,07 = 3,33$$

Métricas

- Exemplo

- Um desenvolvedor de compilador deve escolher entre dois códigos a serem gerados.

- Qual executa mais instruções?
- Qual é o mais rápido?

| | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| CPI | 1 | 2 | 3 |

| Sequências de código | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 4 | 1 | 1 |

Métricas

- Número de instruções
 - 1: $2 + 1 + 2 = 5$
 - 2: $4 + 1 + 1 = 6$

| | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| CPI | 1 | 2 | 3 |

| Sequências de código | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 4 | 1 | 1 |

Métricas

- Mais rápido
 - 1: $(2*1)+(1*2)+(2*3) = 10$ ciclos
 - 2: $(4*1)+(1*2)+(1*3) = 9$ ciclos

| | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| CPI | 1 | 2 | 3 |

| Sequências de código | Instruções tipo A | Instruções tipo B | Instruções tipo C |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 4 | 1 | 1 |

O QUE AFETA O DESEMPENHO?

O que afeta o desempenho?

- Algoritmo
 - Afeta o número de instruções executadas
 - Determina o número de instruções do programa
 - Exemplo: **mais passos, mais instruções**
 - Pode afetar o CPI
 - Pode favorecer instruções mais lentas ou rápidas
 - Exemplo: **uso de instruções de ponto flutuante ao invés de instruções inteiras**

O que afeta o desempenho?

- Linguagem
 - Afeta o número de instruções
 - Determina as instruções-fonte a serem traduzidas em instruções do processador-alvo
 - Afeta o CPI
 - Forte suporte a **abstrações de dados** requer chamadas indiretas, que deterioram o CPI

O que afeta o desempenho?

- Compilador

- Afeta o número de instruções executadas

- Determina a tradução de comandos-fonte em instruções do processador-alvo
 - Exemplo: **eliminação de redundâncias, eliminação de instruções de desvio**

- Pode afetar o CPI

- Determina a proporção de instruções de cada tipo
 - Determina a ordem das instruções (*pipeline*)
 - Influencia a localidade de acesso à memória
 - Exemplo: **escalonamento de código, *loop unrolling***

O que afeta o desempenho?

- ISA: Arquitetura do conjunto de instruções
 - Afeta o número de instruções executadas
 - Afeta a seleção de instruções pelo compilador
 - Exemplos: `push/pop`; `a = a + A[i]`
 - Afeta o CPI
 - Determina o custo em ciclos de cada instrução
 - Exemplo: `modos de endereçamento complexos`
 - Afeta a frequência
 - A simplicidade das instruções permite organizar o sistema digital com menores período de relógio

POWER WALL

Power wall

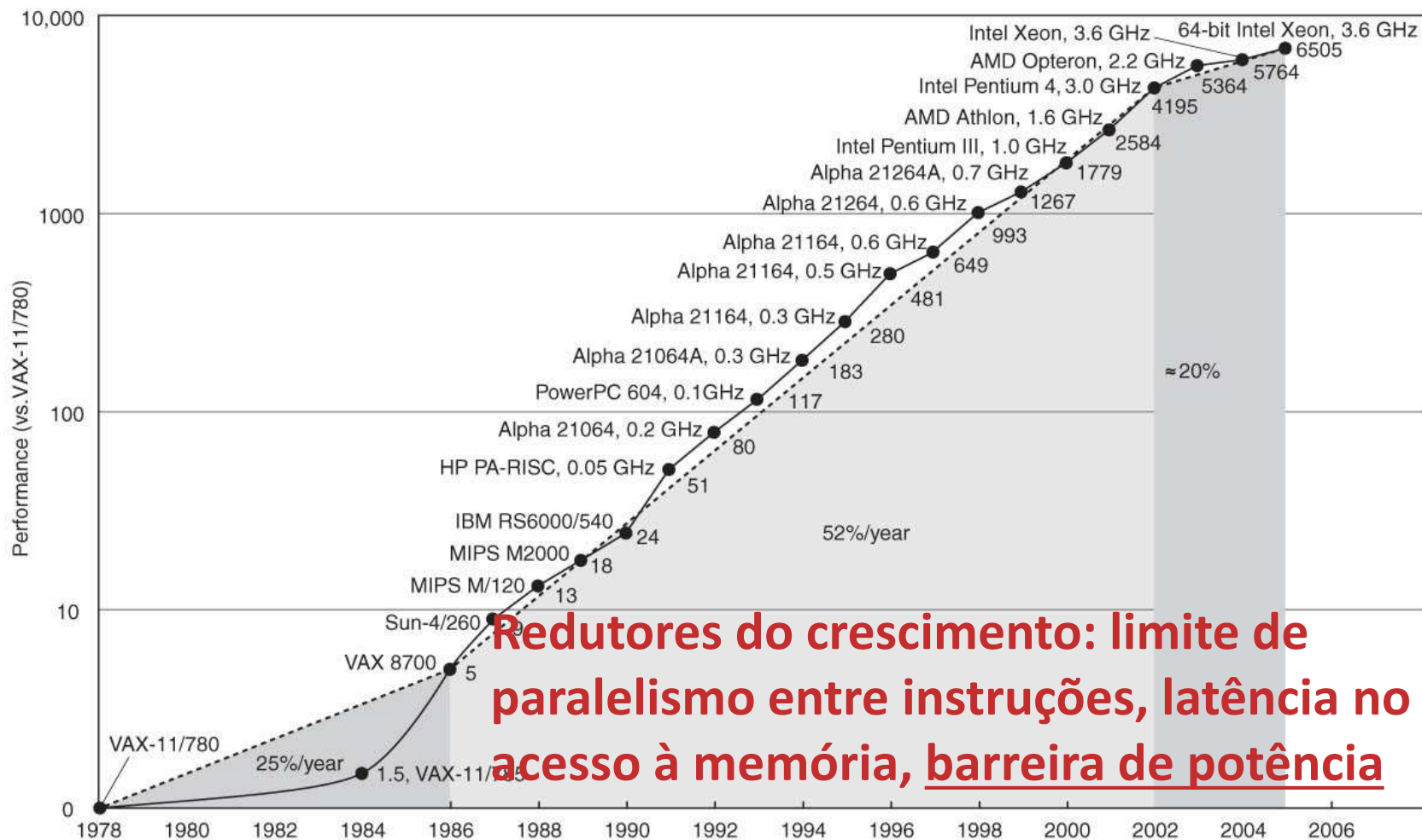


Figura 1.16 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Power wall

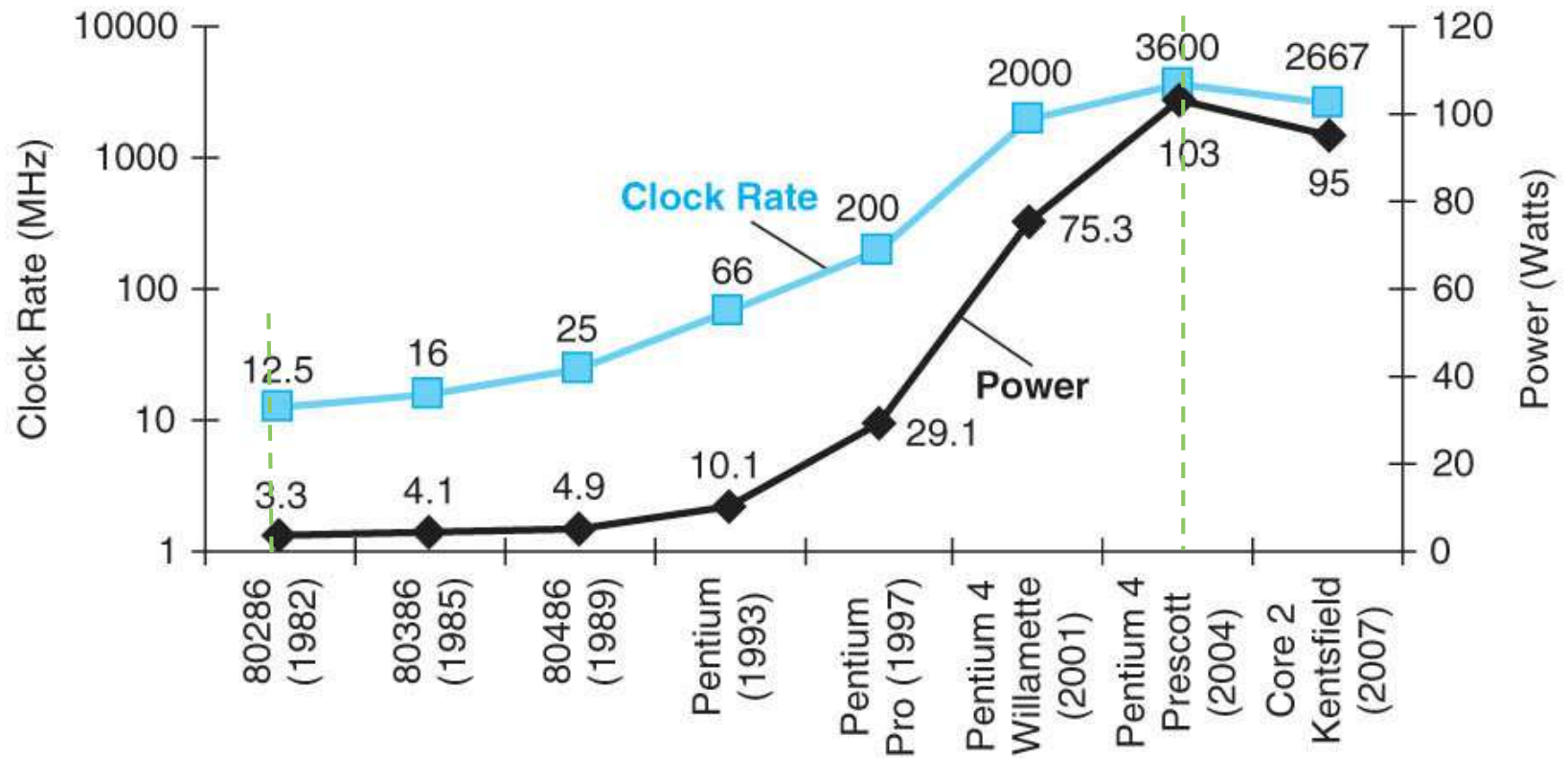


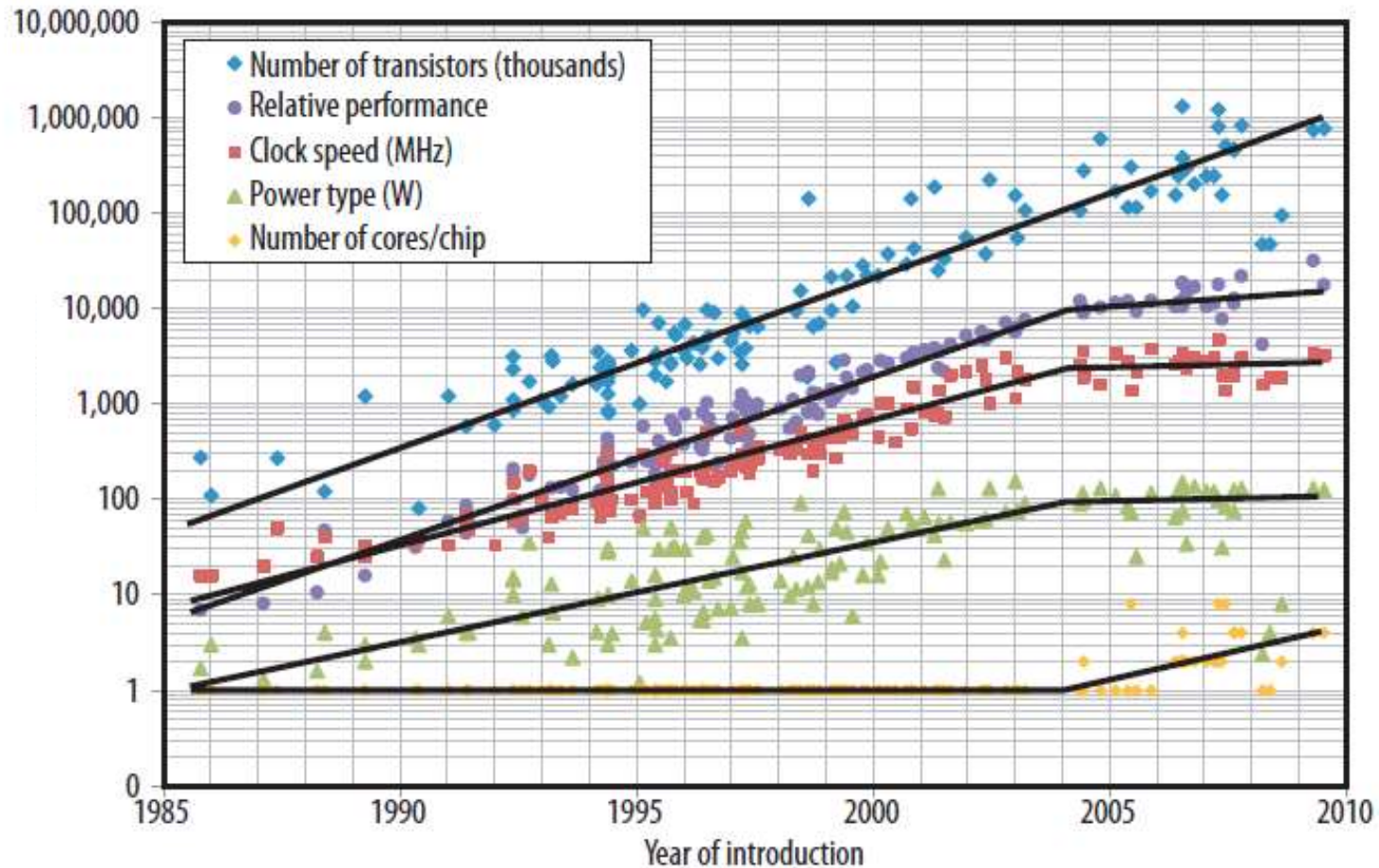
Figura 1.15 do livro *Computer Organization and Design 4th ed.*

Power wall

- Mudança de paradigma para crescimento do desempenho
 - Originalmente uniprocessador
 - Posteriormente multiprocessador em um único chip
 - Microprocessador *multicore*

Power wall

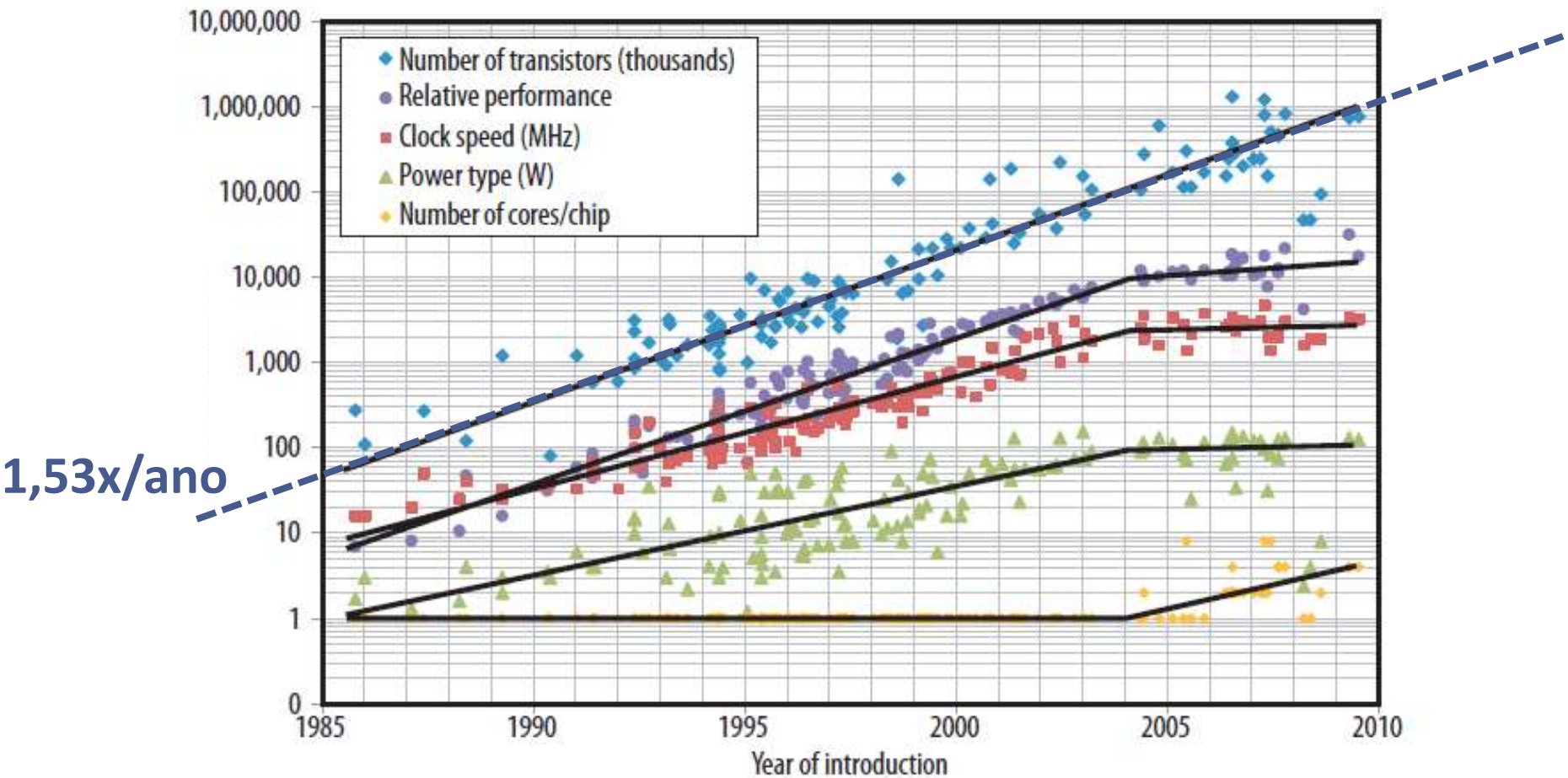
- Indicadores de tendências



Source: Computing Performance: Game Over or Next Level, IEEE Computer Magazine, January 2011, p. 33

Power wall

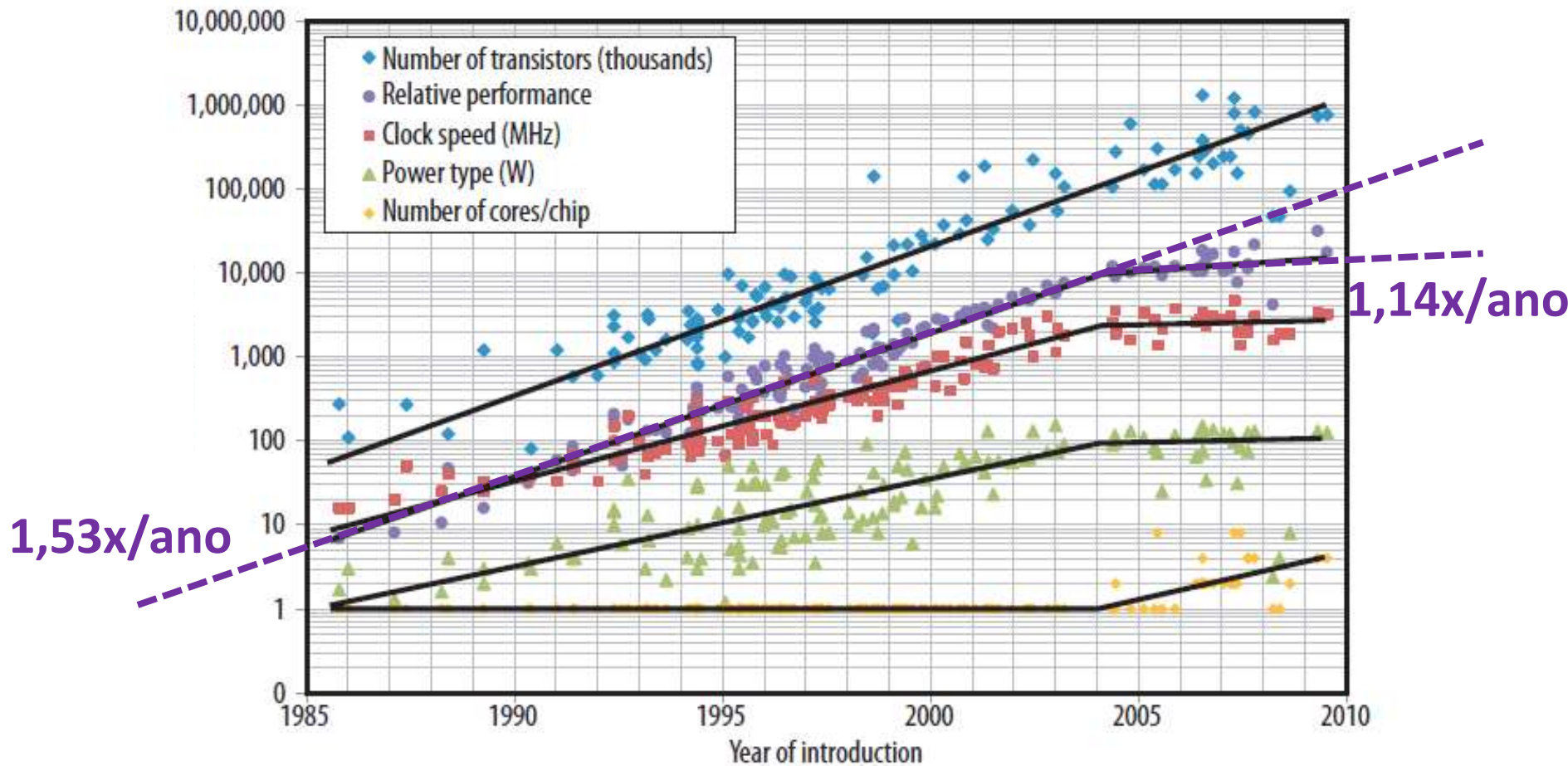
- Indicadores de tendências



Source: Computing Performance: Game Over or Next Level, IEEE Computer Magazine, January 2011, p. 33

Power wall

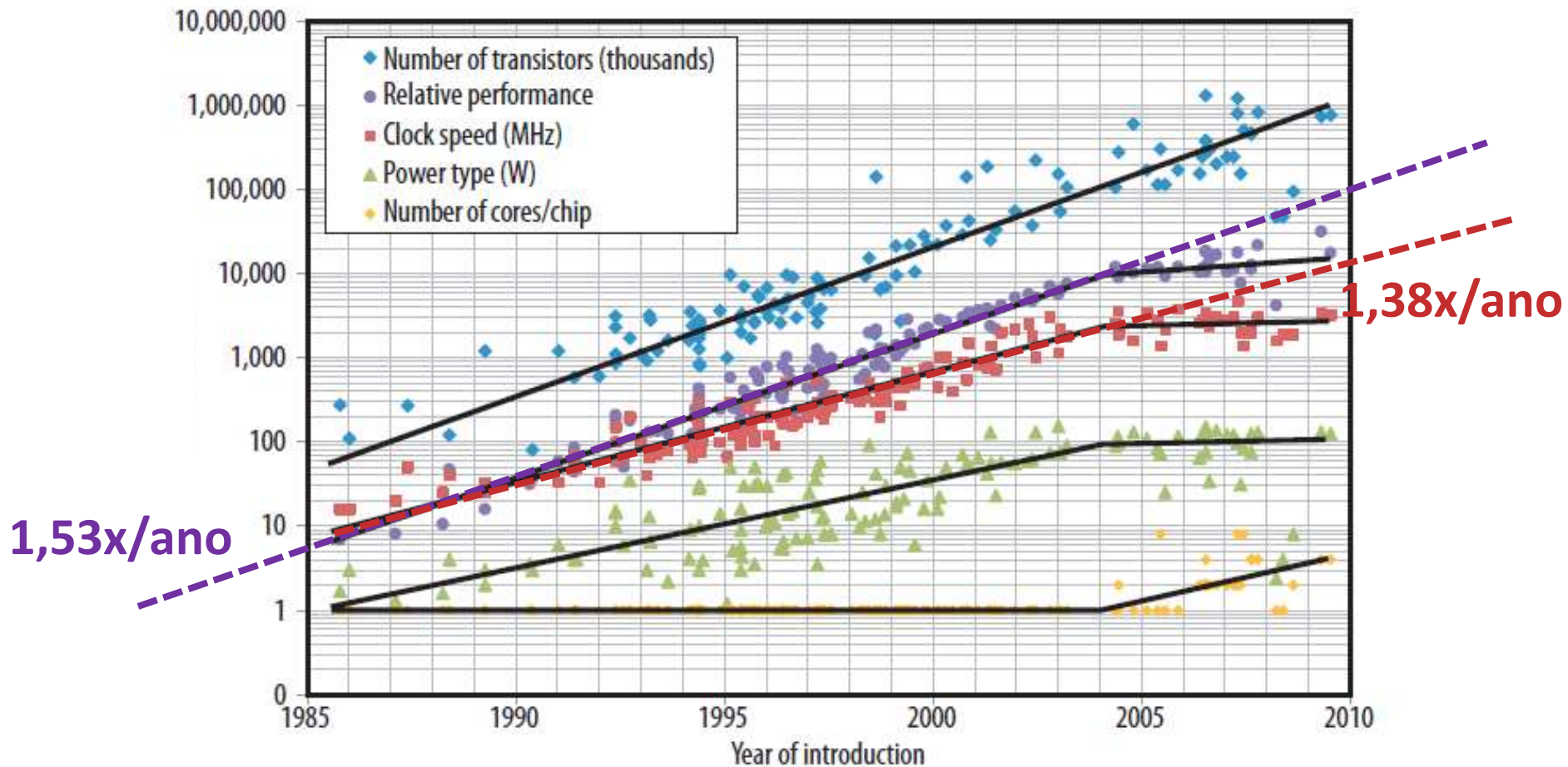
- Indicadores de tendências



Source: Computing Performance: Game Over or Next Level, IEEE Computer Magazine, January 2011, p. 33

Power wall

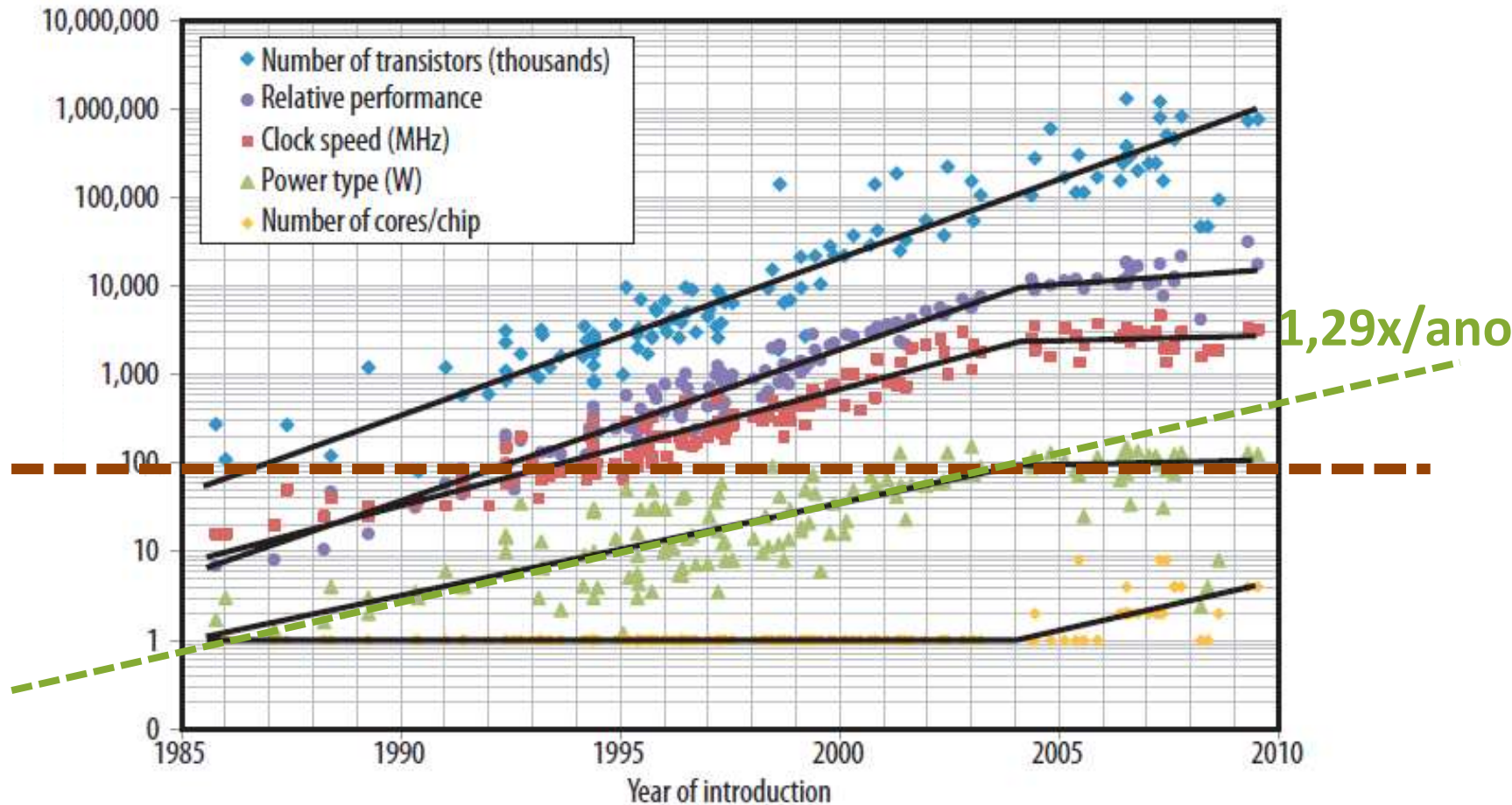
- Indicadores de tendências



Source: Computing Performance: Game Over or Next Level, IEEE Computer Magazine, January 2011, p. 33

Power wall

- Indicadores de tendências



Source: Computing Performance: Game Over or Next Level, IEEE Computer Magazine, January 2011, p. 33

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações finais

- O que é desempenho
 - Métricas e equações
- Como comparar desempenho
- A razão do desempenho não crescer mais tão facilmente

Considerações finais

- Medida confiável de desempenho
 - Tempo

$$\text{tempo} = \frac{\text{segundos}}{\text{programa}} = \frac{\text{instruções}}{\text{programa}} \times \frac{\text{ciclos}}{\text{instrução}} \times \frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}}$$

- Medida adicional de interesse
 - Energia e potência

Considerações finais

- Próxima aula
 - Introdução a instruções

INE5607 – Organização e Arquitetura de Computadores

Unidade Central de Processamento

Aula 4: Avaliação de desempenho de processadores

Prof. Laércio Lima Pilla

laercio.pilla@ufsc.br

