

# [AULA 05] Avaliando o desempenho 1

Prof. João F. Mari  
*joaof.mari@ufv.br*

## BIBLIOGRAFIA

- Definindo o desempenho
- **[EX]** Vazão e tempo de resposta
- Tempo de resposta
- **[EX]** Desempenho relativo
- Medindo o desempenho
- Desempenho da CPU e seus fatores
- **[EX]** Melhorando o desempenho
- Interface Hardware/Software
- **[EX]** Usando a equação do desempenho

# DEFININDO O DESEMPENHO

Prof. João Fernando Mari ( [joaof.mari@ufv.br](mailto:joaof.mari@ufv.br) )

3

## Definindo o desempenho

- Executando o mesmo programa em dois desktops diferentes:
  - O mais rápido é o que ***termina a tarefa primeiro***.
- CPD (central de processamento de dados) com vários servidores realizando tarefas submetidas por muitos usuários:
  - O mais rápido é aquele que completou ***a maior quantidade de tarefas*** durante um dia.

## Definindo o desempenho

- Computador individual:
  - Reduzir o tempo de resposta;
  - Tempo de resposta (tempo de execução ou **latência**) :
    - O tempo entre o início e o término de uma tarefa.
- CPDs:
  - Reduzir a vazão;
  - Vazão (**throughput**):
    - Quantidade de trabalho feito em determinado tempo.

## [EX] Vazão e tempo de resposta

- As seguintes mudanças em um sistema computacional aumentam a vazão, diminuem o tempo de resposta ou as duas coisas?
  - 1) Substituir o processador em um computador por uma versão mais rápida.
  - 2) Incluir processadores adicionais em um sistema que usa múltiplos processadores para tarefas distintas – por exemplo, busca na Web.

## [EX] Vazão e tempo de resposta

- **RESPOSTA:**
- Diminuir o tempo de resposta quase sempre aumenta a vazão.
  - Caso 1) Tanto o tempo de resposta como a vazão são melhorados
  - Caso 2) Como nenhuma tarefa é realizada primeiro, apenas a vazão é melhorada
    - Demanda por processamento maior que a vazão → **enfileiramento.**
      - Aumentar a vazão implicaria na redução do tempo de resposta pois reduziria o tempo de espera na fila.

## Tempo de resposta

- **Tempo de resposta:**
  - Nossa principal preocupação!
- Para maximizar o desempenho devemos minimizar o tempo de execução de uma determinada tarefa:
  - $\text{Desempenho}_x = 1 / \text{TempoDeExecução}_x$
- Para dois computadores X e Y, se o desempenho de X é maior que o de Y, temos:
  - $\text{Desempenho}_x > \text{Desempenho}_y$
  - $1 / \text{TempoDeExecução}_x > 1 / \text{TempoDeExecução}_y$
  - $\text{TempoDeExecução}_x < \text{TempoDeExecução}_y$
- X é mais rápido de que Y, se o tempo de execução em Y é maior do que em X.

## Tempo de resposta

- Relacionar o desempenho de dois computadores diferentes de maneira quantitativa
  - X é n vezes mais rápido do que Y:
  - $n = \text{Desempenho}_X / \text{Desempenho}_Y$
- Se X é n vezes mais rápido que Y, então...
  - O tempo de execução em Y é n vezes maior do que em X:
  - $n = \text{TempoDeExecução}_Y / \text{TempoDeExecução}_X$

## [EX] Desempenho relativo

- Um computador A executa um programa em 10 segundos e o computador B executa o mesmo programa em 15 segundos. O quanto A é mais rápido do que B?
- Sabemos que A é n vezes mais rápido que B se
  - $\text{Desempenho}_A / \text{Desempenho}_B = n$
  - $\text{TempoDeExecução}_B / \text{TempoDeExecução}_A = n$
  - Fator de desempenho é:
    - $15 / 10 = 1,5$
- A é 1,5 vezes mais rápido que B
  - Ou B é 1,5 vezes mais lento do que A
  - $\text{Desempenho}_A / \text{Desempenho}_B = 1,5$
  - $\text{Desempenho}_A / 1,5 = \text{Desempenho}_B$

## Definindo o desempenho

- Desempenho e tempo de execução são recíprocos
  - Aumentar o desempenho → diminuir o tempo de execução.
  - Melhorar o desempenho → aumentar o desempenho.
  - Melhorar o tempo de execução → diminuir o tempo de execução.
- Para evitar confusão com termos como ‘aumentar’ e ‘diminuir’ utilizaremos a expressão:
  - “melhorar o desempenho” quando quisermos aumentar o desempenho.
  - “melhorar o tempo de resposta” quando quisermos diminuir o tempo de resposta.

## MEDINDO O DESEMPENHO

## Medindo o desempenho

- O tempo é a medida do desempenho dos computadores
  - O computador que realiza a mesma quantidade de trabalho em menos tempo é mais rápido.
- Tempo de execução do programa:
  - Medido em segundos por programa
  - Pode ser definido de diferentes maneiras:
- **Tempo de relógio (tempo de resposta ou tempo decorrido):**
  - Tempo total para executar uma tarefa
    - Incluindo acesso a disco, acesso a memória, atividades de E/S etc...

## Medindo o desempenho

- Processadores trabalham em diversos programas simultaneamente...
  - Otimizar a vazão em vez de minimizar o tempo para cada programa.
- É necessário distinguir entre tempo decorrido e tempo que o processador trabalha para nós:
- **Tempo de execução de CPU (tempo de CPU):**
  - Tempo real que a CPU gasta computando uma tarefa específica
  - Não inclui o tempo gasto esperando E/S ou executando outros programas
  - **Tempo de CPU do usuário:**
    - Tempo que a CPU gasta efetivamente com o programa
  - **Tempo de CPU do sistema:**
    - Tempo da CPU gasta no SO realizando tarefas a pedido do programa
- Desempenho do sistema → Tempo decorrido
- Desempenho da CPU → Tempo de CPU

## Medindo o desempenho

- Medir a rapidez com que o hardware realiza funções básicas
- Clock
  - Relógio que trabalha em velocidade constante e determina quando os eventos ocorrem
  - Período de clock, ciclo de clock
    - Tempo de cada ciclo de clock (Ex: 0,25 ns, 250 ps)
    - Velocidade de clock (Ex: 4GHz)
      - Inverso do período de clock, frequência do processador.
      - Medido em Hz (*hertz* – ciclos por segundo).

## Desempenho da CPU e seus fatores

- Desempenho da CPU:
  - Medida de desempenho final → Tempo de execução da CPU
  - Medidas mais básicas (ciclos de clock e tempo de ciclo de clock)

$$\text{Tempo de execução da CPU para um programa} = \frac{\text{Ciclos de clock da CPU para um programa}}{\text{Velocidade de clock}} \times \text{Tempo de ciclo de clock}$$

- Como velocidade do clock e tempo do ciclo de clock são inversos:

$$\text{Tempo de execução da CPU para um programa} = \frac{\text{Ciclos de clock da CPU para um programa}}{\text{Velocidade de clock}}$$

- Melhorar o desempenho → reduzir a duração do ciclo de clock ou o número de ciclos necessários para um programa
- Muitas técnicas que diminuem o número de ciclos de clock aumentam o tempo do ciclo.



## [EX] Melhorando o desempenho

- Um computador A possui clock de 4GHz e executa um determinado programa em 10 segundos.
- Queremos construir um computador B que execute esse mesmo programa em 6 segundos.
  - Entretanto, aumentar a velocidade do clock afeta o projeto da CPU e faz com que o computador B exija 1,2 vezes mais ciclos de clock do que A.
- Que velocidade de clock o projetista deve buscar?

## [EX] Usando a equação do desempenho

- Número de ciclos de clock necessários para o programa em A:
  - Tempo de CPU<sub>A</sub> = Ciclos de clock da CPU<sub>A</sub> / Velocidade de clock<sub>A</sub>
  - 10 segundos = Ciclos de clock da CPU<sub>A</sub> / (4 × 10<sup>9</sup> ciclos/seg.) (4GHz).
  - Ciclos de clock da CPU<sub>A</sub> = 10 seg. × (4 × 10<sup>9</sup> ciclos/seg.)
  - Ciclos de clock da CPU<sub>A</sub> = 40 × 10<sup>9</sup> ciclos
- O tempo de CPU para B
  - Tempo de CPU<sub>B</sub> = 1,2 × ciclos de clock de CPU<sub>A</sub> / velocidade de clock<sub>B</sub>
  - 6 segundos = 1,2 × 40 × 10<sup>9</sup> ciclos / Velocidade de clock<sub>B</sub>
  - Velocidade de clock<sub>B</sub> = 1,2 × 40 × 10<sup>9</sup> ciclos / 6 seg =
  - = 8 × 10<sup>9</sup> ciclos / seg = 8GHz
- A velocidade de clock de B deve ser o dobro da velocidade de clock de A

## Interface Hardware/Software

- Equações anteriores não consideram o número de instruções necessárias para o programa

$$\begin{aligned} \textit{TempoDeExecução} \\ &= \textit{númeroDeInstruçõesExecutadas} \\ &\times \textit{tempoMédioDeCadaInstrução} \end{aligned}$$

- Número de ciclos de clock necessários para um programa:

$$\text{Ciclos de clock da CPU} = \text{Instruções para um programa} \times \text{Média dos ciclos de clock por instrução}$$

- Ciclos de clock por instrução (CPI) → Número médio de ciclos de clock que cada instrução leva para ser executada
  - Diferentes instruções → diferentes quantidades de tempo
  - CPI = média de todas as instruções executadas no programa
  - Comparar duas implementações diferentes do mesmo conjunto de instruções

## [EX] Usando a equação do desempenho

- Duas implementações do mesmo conjunto de instruções.
  - O computador A tem um tempo de ciclo de clock de 250 ps e um CPI de 2,0 para um determinado programa.
  - O computador B tem um ciclo de clock de 500 ps e um CPI de 1,2 para o mesmo programa.
- Qual computador é mais rápido para esse programa e o quanto é mais rápido?

## [EX] Usando a equação do desempenho

- Cada computador executa o mesmo número de instruções (I).
- Encontrar o número de ciclos de *clock* do processador para cada computador.
  - Ciclos de *clock* da CPU<sub>A</sub> = I x 2,0
  - Ciclos de *clock* da CPU<sub>B</sub> = I x 1,2
- Tempo da CPU para cada computador
  - Tempo da CPU<sub>A</sub> = Ciclos de *clock* da CPU<sub>A</sub> x Tempo dos ciclos de clock<sub>A</sub>  
 $= I \times 2,0 \times 250 \text{ ps} = 500 \times I \text{ ps}$
  - Tempo da CPU<sub>B</sub> = I x 1,2 x 500ps = 600 x I ps
- Computador A é mais rápido que B. Quanto?

$$\frac{\text{DesempenhoDaCPU}_A}{\text{DesempenhoDaCPU}_B} = \frac{\text{TempoDeExecução}_B}{\text{TempoDeExecução}_A} = \frac{600 \times Ips}{500 \times Ips} = 1,2$$

- Computador A é 1,2 vezes mais rápido que o computador B.

## [EX] Usando a equação do desempenho

- Equação do desempenho em termos de:
  - Contagem de instruções,
  - CPI e
  - Tempo de ciclo de *clock*.

*TempoDeCPU*

$$= \text{ContagemDeInstruções} \times \text{CPI} \times \text{TempoDeCicloDeClock}$$

– ou

$$\text{TempoDeCPU} = \frac{\text{ContagemDeInstruções} \times \text{CPI}}{\text{Velocidade de clock}}$$

- Comparar duas implementações diferentes ou avaliar um projeto alternativo.

## Desempenho da CPU e seus fatores

- Como determinar o valor desses fatores na equação do desempenho?
  - **Tempo da CPU** – executando o programa.
  - **Tempo de ciclo de clock** – publicado com o equipamento.
  - **Contagem de instruções (C) e o CPI** – mais difíceis de obter.
- Contagem de instruções (C):
  - Ferramentas de software ou simuladores da arquitetura
- CPI – Varia de acordo com o programa e implementação do conjunto de instruções
  - Pode ser obtida por simulação da implementação ou contadores de hardware
- Ciclos de clock da CPU:

$$CiclosDeClockDaCPU = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times C_i)$$

- $C_i$ : contagem do número de instruções da classe  $i$  executadas
  - $CPI_i$ : a média dos ciclos por instrução da classe  $i$
  - $n$  é o número de classes de instrução.
- CPI geral de um programa dependerá do número de ciclos para cada tipo de instrução e da frequência de cada tipo de instrução.

## Tempo de execução

- Como os fatores são combinados para fornecer o tempo de execução por segundo

$$Tempo = \frac{Segundos}{Programa} = \frac{Instruções}{Programa} \times \frac{Ciclos\ de\ clock}{Instrução} \times \frac{Segundos}{CiclosDeClock}$$

Componentes do desempenho	Unidade de medida
Tempo de execução da CPU para um programa	Segundos por programa
Contagem de instruções	Instruções executadas para o programa
Ciclos de clock por instrução	Média de ciclos de clock por instrução
Tempo de ciclo de clock	Segundos por ciclo de clock

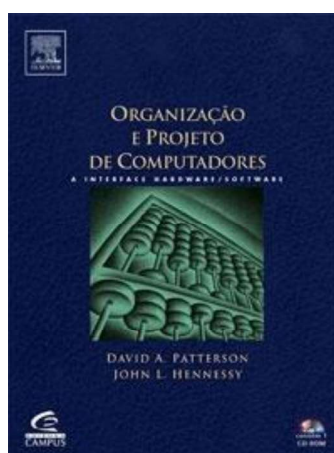
- Única medida completa e confiável de desempenho do computador é o tempo.
  - Exemplo: Mudar o conjunto de instruções para baixar a contagem de instruções pode aumentar o tempo do ciclo de clock
    - CPI depende da instrução. O menor número de instruções executadas pode não ser mais rápido.

## Apêndice – Frações de segundo

Unidade	Em segundos
Segundo (s)	1 s
Milisegundos (ms)	0,001 s ( $1 \times 10^{-3}$ s)
Microsegundos ( $\mu$ s)	0,000001 s ( $1 \times 10^{-6}$ s)
Nanosegundos (ns)	0,000000001 s ( $1 \times 10^{-9}$ s)
Picosegundos (ps)	0,000000000001 s ( $1 \times 10^{-12}$ s)

## BIBLIOGRAFIA

- PATTERSON, D.A; HENNESSY, J.L. **Organização e Projeto de Computadores: A Interface Hardware/Software**. 3a. Ed. Elsevier, 2005.
  - Capítulo 2.



- Notas de aula do prof. Luciano J. Senger:
  - <http://www.ljsenger.net/classroom.html>

## [FIM]

- FIM:
  - [AULA 05] Avaliando o desempenho 1
- Próxima aula:
  - **[AULA 06] Avaliando o desempenho 2**