AEDS III

Módulo: Memória Secundária

Aula 1: Localidade de Referência

Prof: Olga Goussevskaia

Conteúdo

- Localidade de Referência
- Memória Virtual e Paginação
- Ordenação Externa
  - Intercalação balanceada
  - Seleção por substituição
  - Intercalação polifásica
  - Quicksort externo
- Árvores B, B*

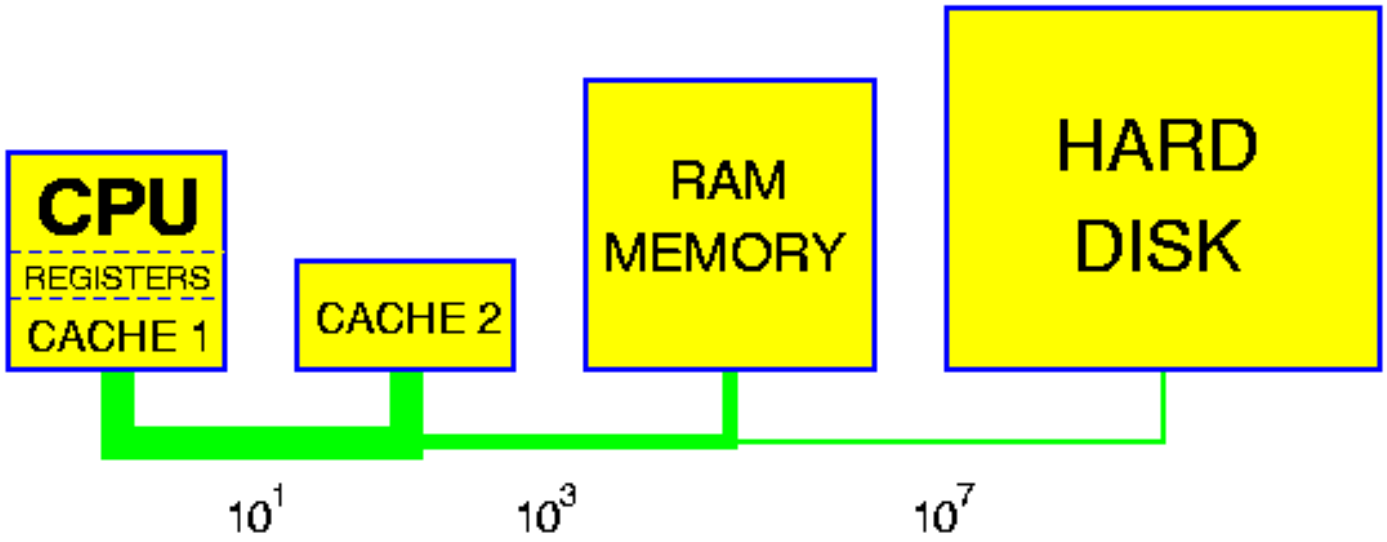
Livro de Referência

- **Projeto de Algoritmos** com implementação em Pascal e C. Nivio **Ziviani**. 3a edição.
- Localidade de Referência (não está no livro)
- Memória Virtual e Paginação (6.1)
- Ordenação Externa (4.2)
  - Intercalação balanceada
  - Seleção por substituição
  - Intercalação polifásica
  - Quicksort externo
- Árvores B, B* (6.2, 6.3)

Perspectiva Histórica

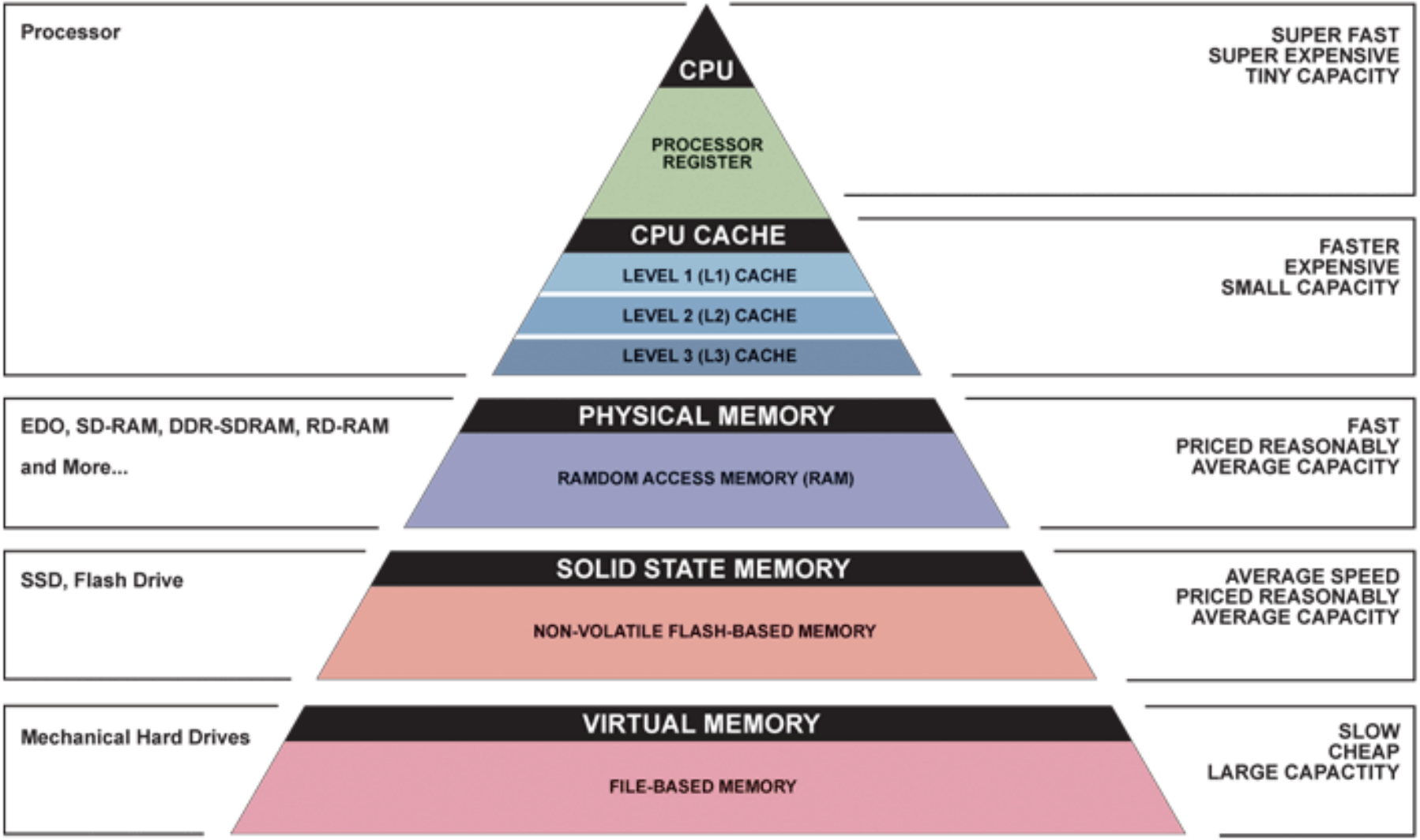
- Primeiros computadores: processador + fita
- Processadores modernos:

  + Capacidade crescente: Cache: O(MB), RAM: O(GB), HD: O(TB)
  + Latência crescente
  - Custo por BYTE decrescente



Indicated are approximate numbers of clock cycles to access the various elements of the memory hierarchy

Hierarquia de memória



▲ Simplified Computer Memory Hierarchy
Illustration: Ryan J. Leng

Localidade de Referência

- Padrões de acesso a dados observados desde os primeiros sistemas de computação:
  - **Temporal**: se um dado é acessado uma vez, há uma probabilidade grande dele ser acessado novamente num futuro próximo.
  - **Espacial**: se um dado é acessado uma vez, há uma probabilidade grande do seu vizinho ser acessado em breve.

Localidade de Referência

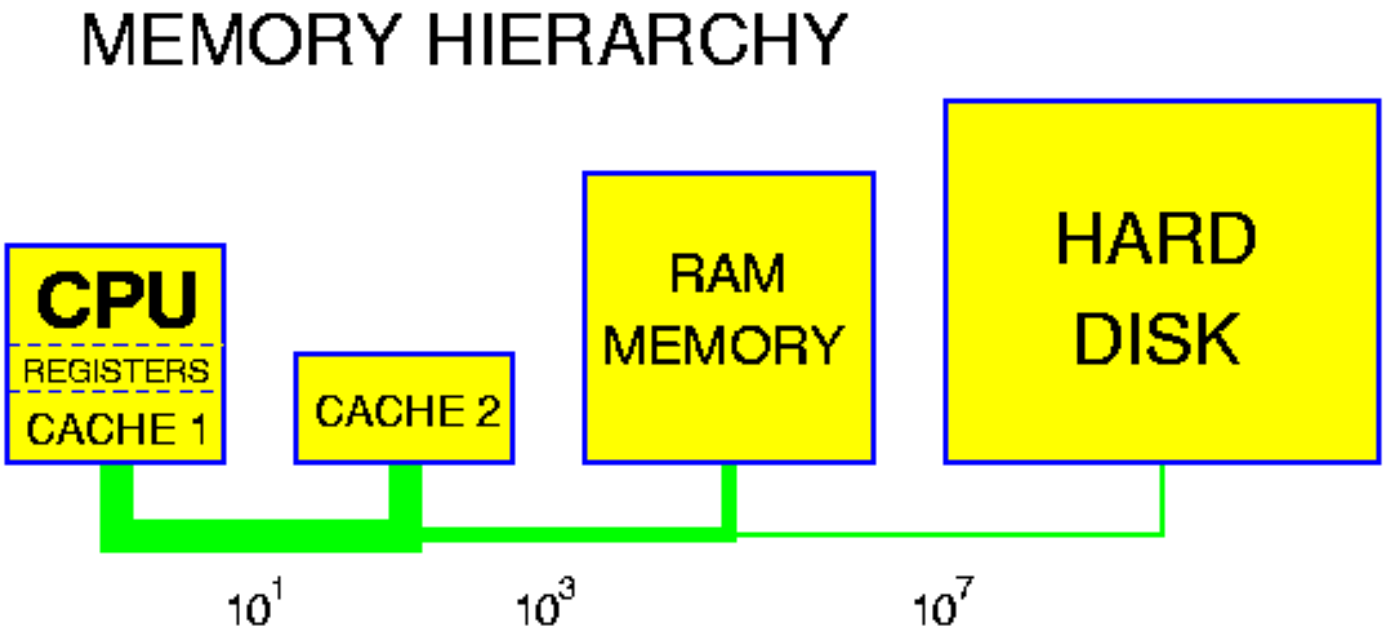
- Estrutura mais clássica de programação:
  - Loop:

```
for (i = 0; i < n; i++) {
    vetor[i] = fun(vetor[i]);
}
```

- Localidade de referência espacial:
  - vetor[0], vetor[1], …, vetor[n-1]
- Localidade de referência temporal:
  - As instruções compondo o corpo do loop
- Mais um exemplo: espacial ou temporal?
  - Árvores: os nós são sempre acessados pela raíz

Localidade de Referência Temporal

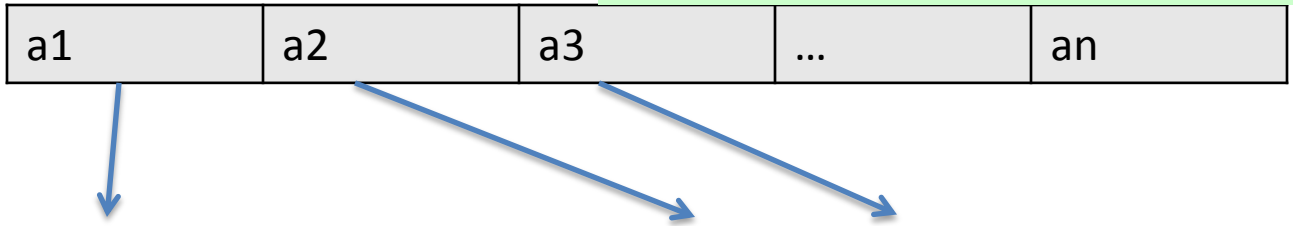
- Quanto maior, melhor!
- Uma vez trazido para a o topo da hierarquia, o custo de acessos seguintes (tempo para ler o dado) a um dado é bem mais baixo.



Localidade de Referência Espacial

- Como pode ser explorada?
  - Estruturas baseadas em paginação e segmentação
    - Em hardware, a partir da arquitetura 386 (segmentation fault)
  - Paginação: Acessos em blocos, de tamanho:
    - L1: 128 bytes, L2: um pouco maior
    - RAM: 4 a 8 KB
    - Disco: 4 a 8 KB

Isso torna os sistemas de memória modernos eficientes!



Custo alto: ex: buscar na memória

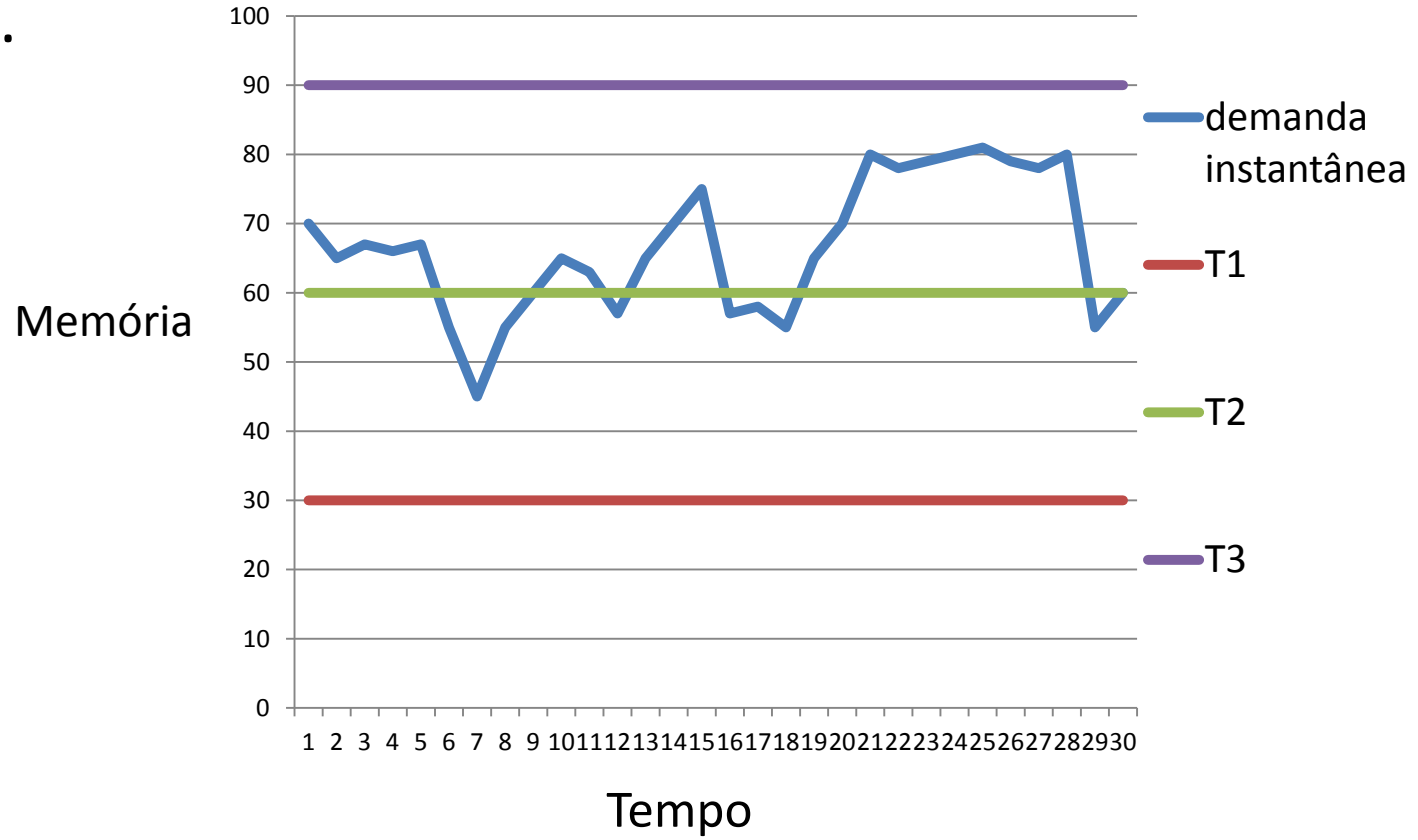
Custo mais baixo: os vizinhos de a1 são trazidos junto com a1

Localidade de Referência Espacial

- Importância (compromisso) do bloco trazido:
  - Se for grande demais, dados inúteis podem ocupar espaço na cache (fragmentação)
  - Se for pequeno demais, acessos desnecessários a níveis mais baixos da memória (com custo muito alto)
- Exemplo: google maps
  - Arrastar o mapa um pouquinho carrega rápido, arrastar muito demora bem mais
  - O engenheiro do maps deve tomar uma decisão sobre quantos dados "em volta" do ponto clicado/requisitado trazer no primeiro clique
- Fabricantes de hardware
  - Devem analisar esses tradeoffs muito bem para produzirem memórias eficientes

Localidade de Referência: Quantificando

- Conceito 1: “working set” (conjunto operante): quantidade de dados referenciada por um processo em um intervalo de tempo.

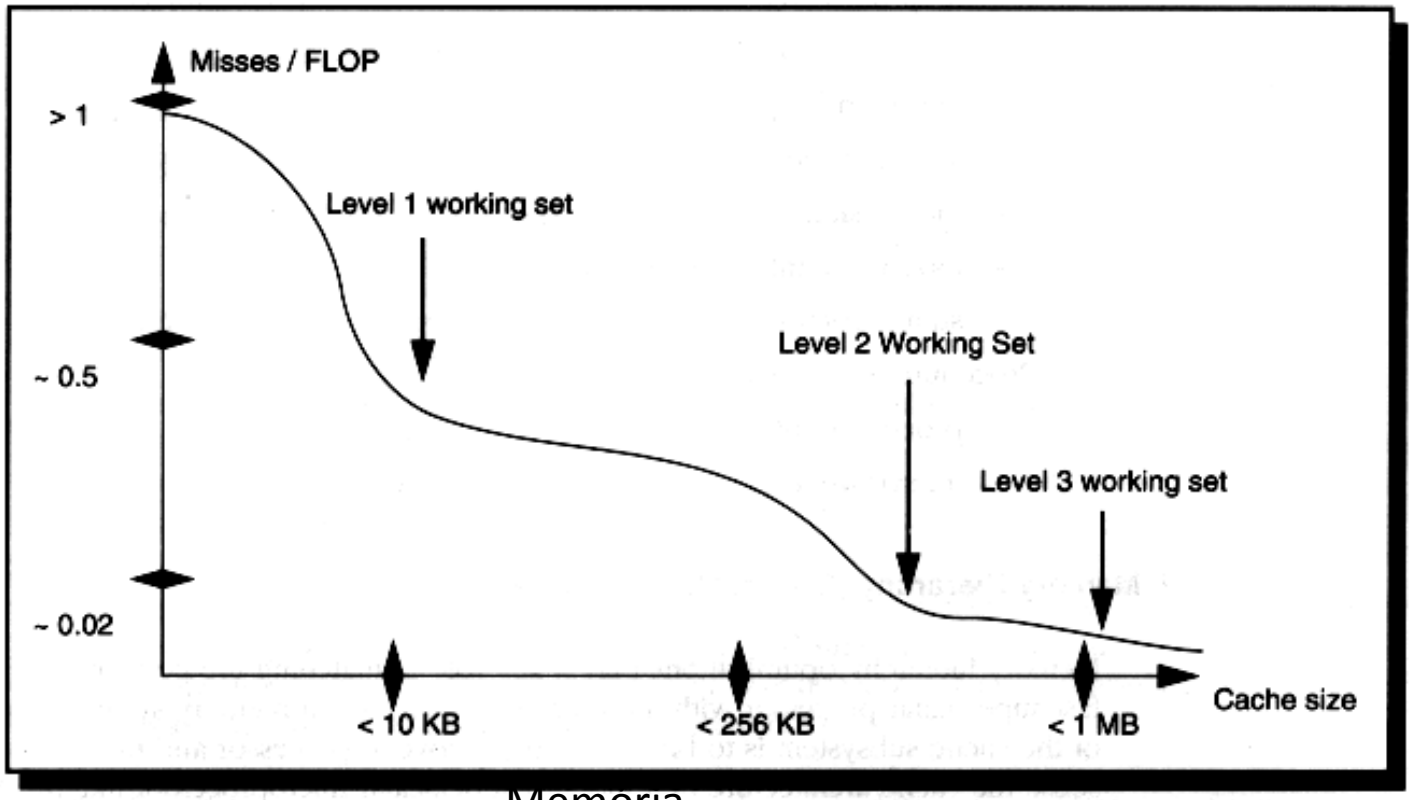


- Pergunta: qual o tamanho de memória ideal? T1, T2 ou T3?

Localidade de Referência: Quantificando

- Conceito 2: Número de “misses” (faltas)

Faltas



Memória

- Pergunta: o que determina essa curva?

Localidade de Referência: Quantificando

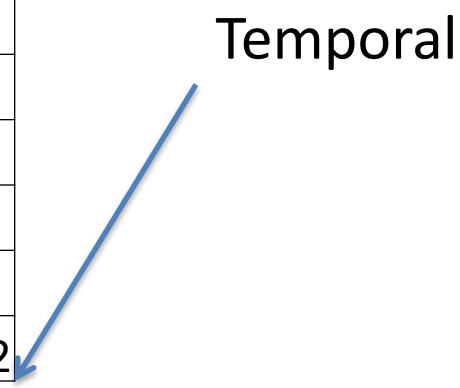
- O que determina a curva de “misses”?
  - O fluxo do programa:
    - 1o grau: vetor mais acessado do programa
    - 2o grau: 2o vetor mais acessado do programa
    - Etc.
- Como medir localidade de referência?
  - Temporal
  - Espacial
  - Cuidado para não confundir com Popularidade
    - Dados muito pop. têm uma localidade temporal inerente que independe da ordem de acessos.
    - Pergunta: dado um log de acessos, como distinguir boa localidade temporal de popularidade?

Localidade de Referência Temporal: Quantificando

- **Distância de Pilha**
- Ex: dados: A, B, C, D (n=4)
- Sequência de acessos:

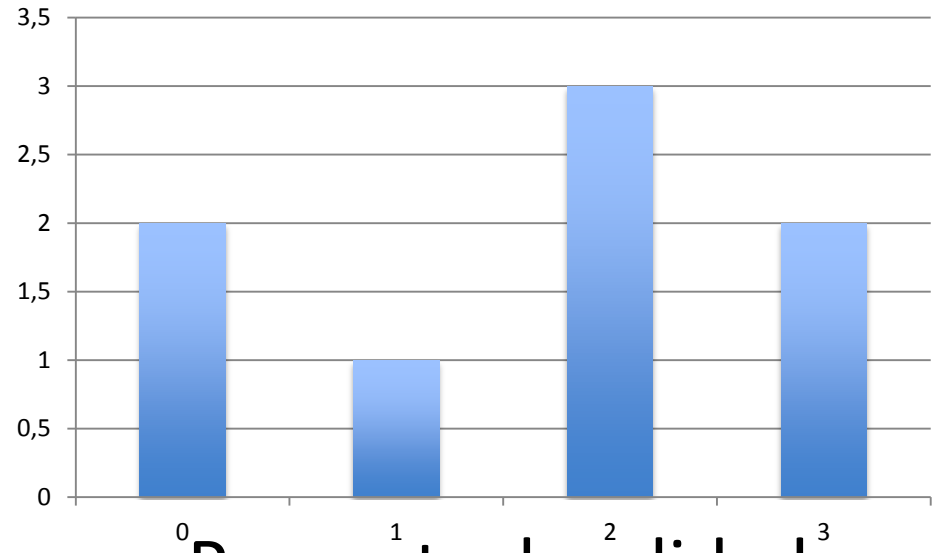
A, B, D, B, A, C, C, B, D, D, A, B

					C	C	B	D	D	A	B
		D	B	A	A	A	C	B	B	D	A
	B	B	D	B	B	B	A	C	C	B	D
A	A	A	A	D	D	D	D	A	A	C	C
-	-	-	1	2	-	0	2	3	0	3	2

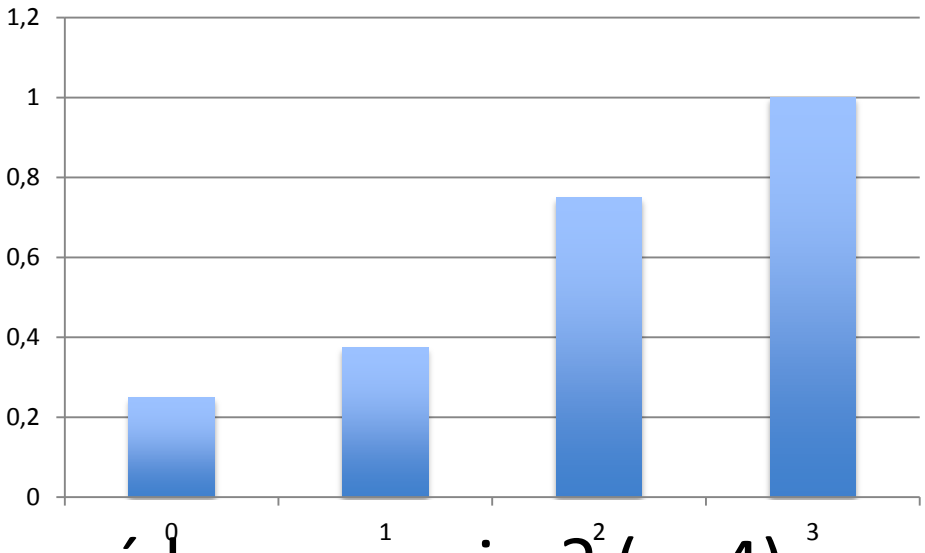


Localidade de Referência Temporal: Quantificando

- Histograma



Histograma cumulativo



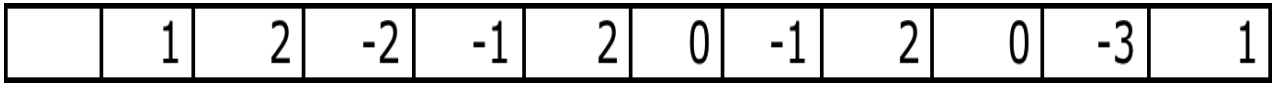
- Pergunta: localidade acima é boa ou ruim? (n=4)
- Dimensionamento:
  - Quanto custa cada tamanho?
  - O programa pode ser reestruturado para melhorar a localidade?

Localidade de Referência Espacial: Quantificando

- **Distância de acessos**
  - Ex. armazenamento de dados na memória: (n=4)

- Sequência de acessos (num. deslocamentos do leitor):

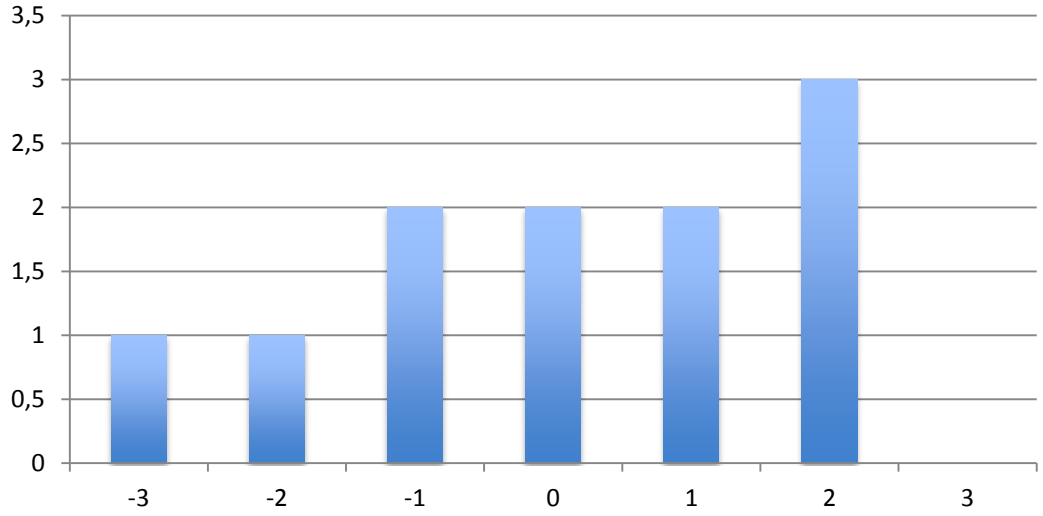
A, B, D, B, A, C, C, B, D, D, A, B



Espacial

Localidade de Referência Espacial: Quantificando

- Histograma de disposição espacial



- Pergunta: qual é o melhor esquema de organização da memória, i.e., número de registros por página?

Localidade de Referência Espacial: Quantificando

- Pergunta: qual é o melhor esquema de organização da memória, i.e., número de registros por página?
  - 1 registro por página: só o caso 0 é satisfeito

  - 2 registros por página: alguns casos -1 ou +1 serão satisfeitos

  - Calcula média ponderada das distâncias de pilha
    - Temporal: (2x0+1x1+3x2+2x3)/8 = 13/8, (alta=> ruim)
    - Espacial: soma deve ser por módulo

Localidade de Referência: Analisando

- Pergunta: dado o fluxo de execução do programa, qual a melhor disposição dos dados na memória?
  - A B C D ou C B D A?
- Ex: dada uma árvore, o programa faz busca em largura ou profundidade?
- Ex: armazenamento: ABCD, seq. acessos: ADADAD
  - Localidade Temporal: 1,1,1… (boa),
  - Espacial: 3,-3,3,-3,… (n-1, ruim)
- Ex: armazenamento: ABCD, seq. acessos: ABCDCBAB
  - Localidade Temporal: 1,2,3,2…, (O(n), ruim)
  - Espacial: 1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1,.. (boa)

Localidade de Referência: Analisando

- Histograma Bidirecional (temporal x espacial)

3	1					1	
2			2		1		
1		1					
0				2			
	-3	-2	-1	0	1	2	3

- Localidade temporal pode ser boa em detrimento da espacial e vice-versa

Localidade de Referência: Recapitulando…

- O segredo para a hierarquia de memória funcionar bem é a localidade de referência:
  - Temporal: caches mais rápidos
  - Espacial: paginação
- É essencial entender a natureza da aplicação
  - Distância de pilha
  - Distância de acesso
- Moral da história:
  - Um programa com complexidade O(n logn) e localidade de referência ruim pode ser mais lento que um programa O(n^2) com localidade boa.