Laboratório de Pesquisa em Redes e Multimídia

Gerência de Memória

Aspectos de Projeto

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Informática

Políticas de Busca de Páginas de um Processo

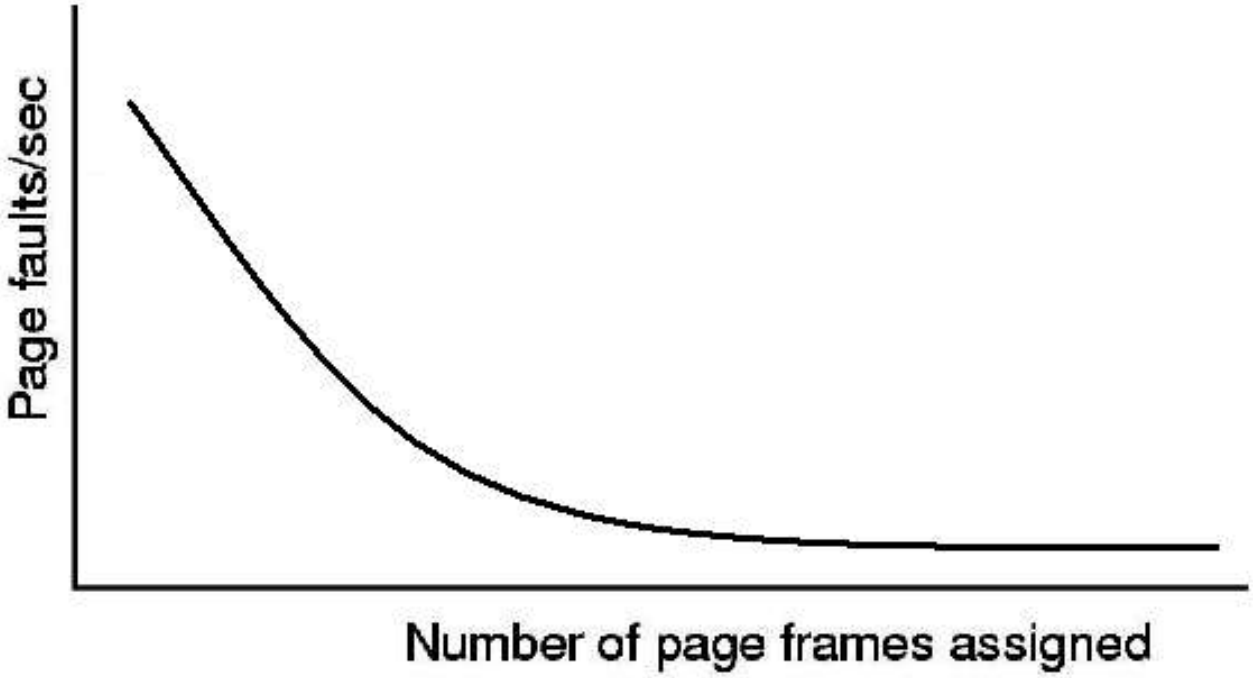
- Determina em que instante uma página deve ser trazida para memória principal
  - O objetivo é minimizar o número de faltas de página
- **Paginação por demanda**
  - No modo mais puro de paginação, os processos são iniciados sem qualquer página na memória
  - Quando a CPU tenta buscar a 1a instrução, há um *Page fault*, forçando o S.O. a carregar a página na MP
  - À medida que *Page faults* vão ocorrendo, as demais páginas são carregadas
- **Pré-paginação** (*Working Set*)

Working Set (1)

- O conjunto de páginas que um processo está atualmente usando é denominado ***Working Set*** (espaço de trabalho)
- Verifica-se que, para intervalos de tempo razoáveis, o espaço de trabalho de um processo mantém-se constante e menor que o seu espaço de endereçamento
- Se todo o *Working Set* está presente na memória, o processo será executado com poucas *Page Fault* até passar para a próxima fase do programa, quando o *Working Set* é atualizado
  - Ex: Compilador de dois passos
- Se vários processos tiverem menos páginas em memória que o seu espaço de trabalho o sistema pode entrar em colapso (***trashing***)

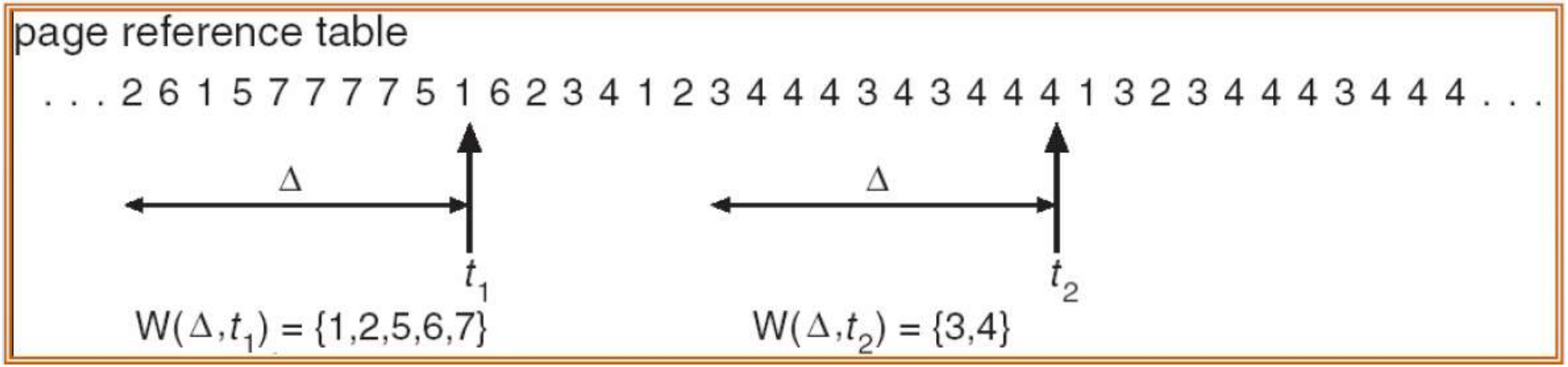
Working Set (2)

- Como prevenir o *Trashing*?

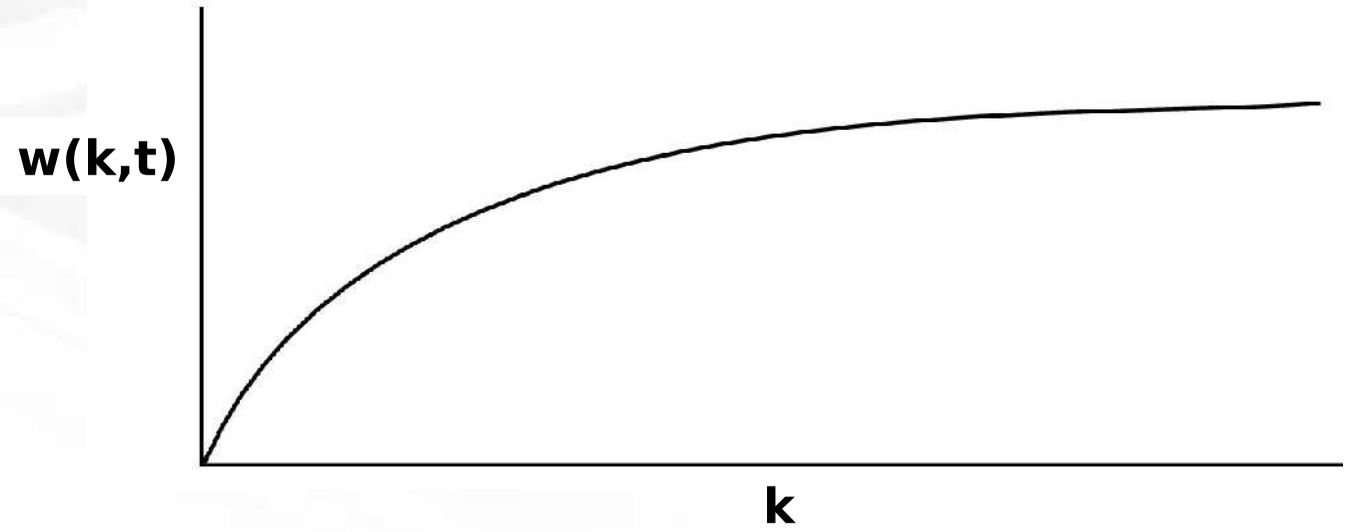


Working Set (3)

- O *Working Set* = as páginas usadas (referenciadas) pelas **k** referências mais recentes à memória
  - Ou aquelas usadas nos últimos **τ** segundos.
- A função **w(k,t)** [ou **w(τ,t)**] retorna a quantidade de páginas do Working Set no instante *t.*



Working Set (4)



Como deve ser a alocação de quadros para o processo: fixa ou dinâmica?

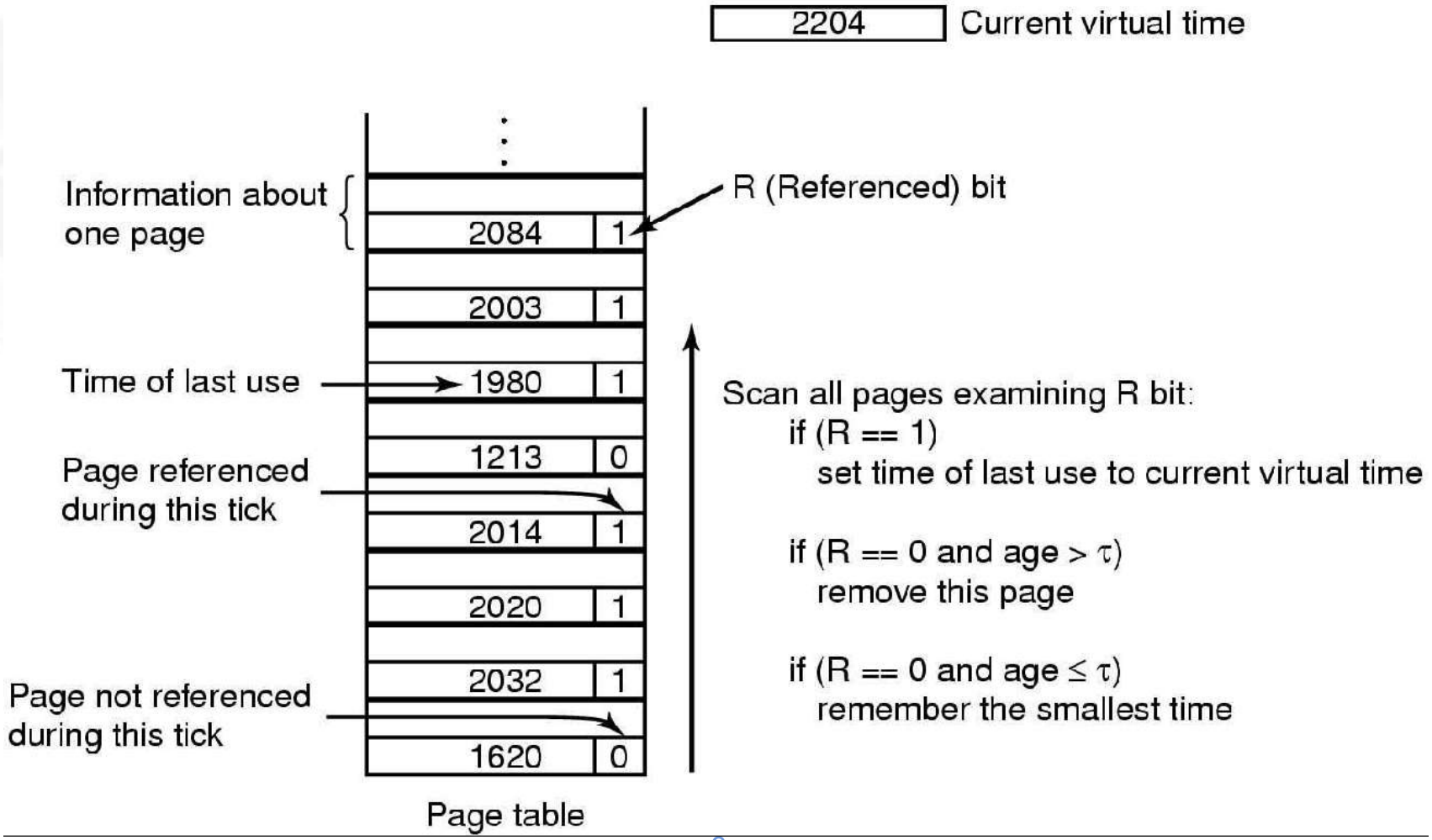
Working Set – Alocação de Quadros

- Alocação fixa:
  - cada processo recebe um número fixo de quadros
  - em caso de falta de páginas, uma das residentes é trocada
- Alocação variável: número de páginas varia durante a execução do processo
  - Utilização de valores máximo e mínimo de dimensão do espaço de trabalho para controlar a paginação
  - Estes valores devem-se adaptar dinamicamente a cada aplicação

Working Set - Pré-paginação (6)

- Nos sistemas time-sharing processos estão constantemente bloqueados
- *Swapping*
  - Se paginação **por demanda**, 20, 50, 100... Page faults cada vez que o processo é re-carregado na MP
  - Processo fica lento, perda de tempo de CPU
- Pré-paginação
  - Carregar em memória as páginas do Working set do processo antes que o mesmo possa continuar sua execução
  - Garantimos que ocorrerá menos Page faults quando o processo for executado

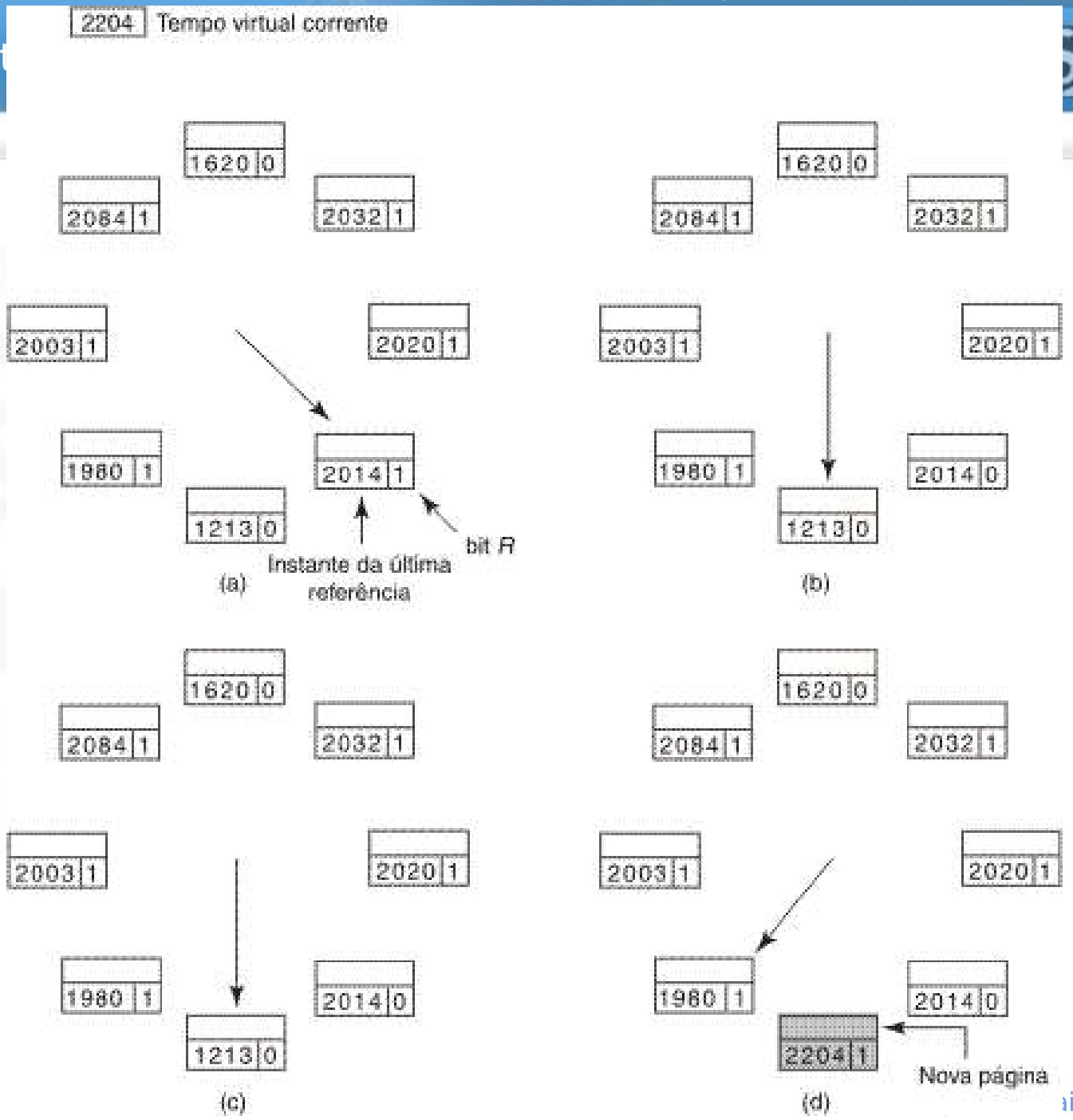
Working Set (8)



Algoritmo *WSClock* (1)

- O algoritmo básico de troca de páginas baseado no *Working set* exigiria uma varredura por toda a tabela de páginas
- No *WSClock (Working Set Clock*), na troca de páginas só são avaliadas as páginas presentes em uma lista circular
- Cada entrada dessa lista possui os bits R e M, além de um *timestamp* (tempo da última referência)
- Quando a primeira página é carregada, ela é inserida na lista
- Troca-se a primeira página a partir da posição do ponteiro na lista que tenha R=0 e cuja idade supera T

Algoritmo *WSClock* (2)



Resumo dos Algoritmos

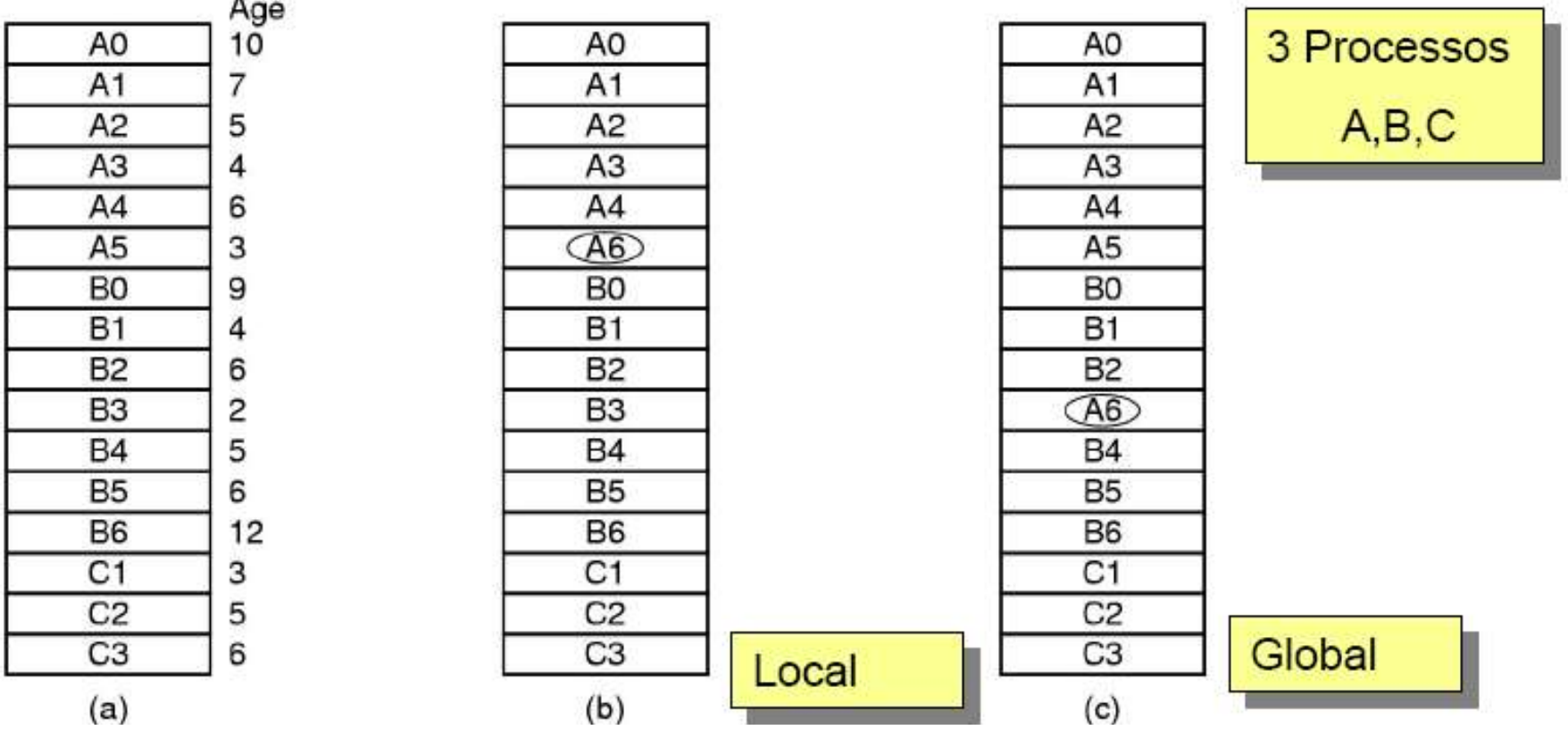
Ótimo	Não é possivel(referência)
NRU	Fácil de implementar; Pouco eficiente
FIFO	Pode retirar páginas importantes
Segunda Chance	Melhorias ao FIFO
Relógio	Implementação eficiente do SC; Realista
LRU	Excelente, dificil de implementar (HW)
NFU	Fraca aproximação do LRU
Aging	Eficiente que se aproxima do LRU
Working Set	Dificil de implementar
WSClock	Boa eficiência

Considerações no Projeto de Sistemas de Paginação

- Política de alocação: Local x Global
- Anomalia de Belady
- Modelagem: Algoritmos de Pilha
- Controle de Carga
- Tamanho da página
- Espaços de Instruções e Dados Separados
- Páginas compartilhadas

Política de alocação: Local x Global (1)

- O LRU deve considerar as páginas apenas do processo que gerou o Page Fault, ou de todos os processos?



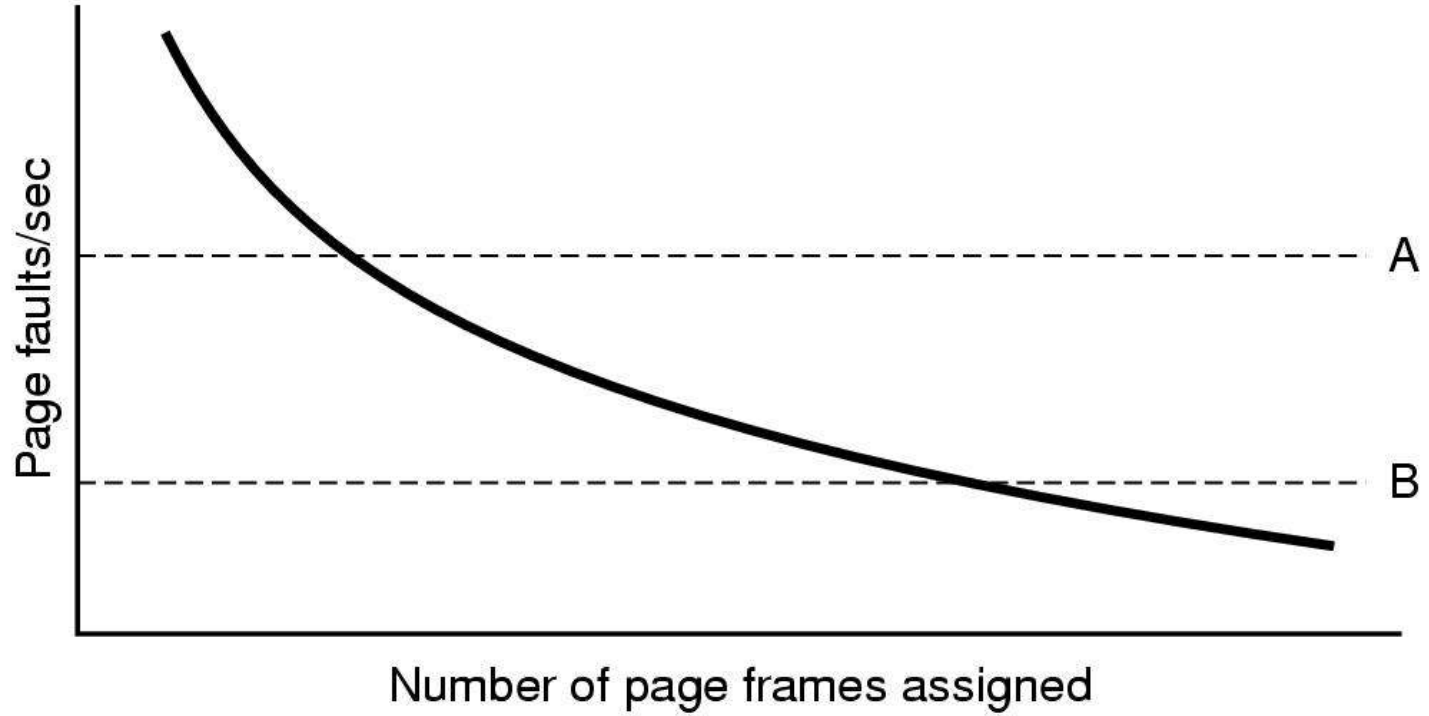
Política de alocação: Local x Global (2)

- Política LOCAL
  - Alocam uma fração fixa de memória para cada processo
- Política GLOBAL
  - Alocam molduras de páginas entre os processos em execução
    - O número de molduras alocadas para cada processo varia no tempo
- Working set varia durante a execução de um processo
  - Quando a política é local
    - Há trashing quando o tamanho do WS aumenta
    - Há desperdício quando o tamanho do WS diminui
  - Algoritmos com política global são mais adequados
    - Usa-se os bits de “tempo da ultima referencia” para monitorar o Working Set
    - Não necessariamente evita o trashing -> o Working set pode variar de tamanho em questão de microssegundos (os bits de aging são alterados a cada interrupção de relógio)

Política de alocação: Local x Global (3)

- Outra abordagem determinar periodicamente o número de processos e dividir as molduras entre os mesmo
  - 12.416 molduras ; 10 processos => 1.241 molduras / processo
  - É justo? E se processos têm tamanho diferentes?
- Solução:
  - Alocar para cada processo um número mínimo de páginas proporcional ao tamanho do processo
  - Atualizar a alocação dinamicamente
- Algoritmo de alocação *Page Fault Frequency* (PFF)
  - Informa quando aumentar ou diminuir a alocação de molduras para um processo
  - Tenta manter a taxa de Page Fault dentro de um intervalo aceitável

Política de alocação: Local x Global (4)



- Se maior do que A, taxa muito alta
  - Deve-se alocar mais molduras
- Se menor do que B, taxa muito baixa
  - Algumas molduras podem ser eliminadas

Anomalia de Belady (1)

- Intuitivamente, quanto maior o número de molduras, menor será o número de *Page Faults*
  - Nem sempre isso será verdadeiro!
- Belady et al. descobriram um contra-exemplo para o algoritmo FIFO
  - Suponha que as páginas sejam referenciadas nesta ordem:

    0 1 2 3 0 1 4 0 1 2 3 4
  - Qual será o número de Page Faults em um FIFO alocando 3 molduras para o processo? E 4 molduras?

Anomalia de Belady (2)

	0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4
Página mais nova	0	1	2	3	0	1	4	4	4	2	3	3
		0	1	2	3	0	1	1	1	4	2	2
Página mais velha			0	1	2	3	0	0	0	1	4	4
	P	P	P	P	P	P	P			P	P	

9 Page Faults

	0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4
Página mais nova	0	1	2	3	3	3	4	0	1	2	3	4
		0	1	2	2	2	3	4	0	1	2	3
			0	1	1	1	2	3	4	0	1	2
Página mais velha				0	0	0	1	2	3	4	0	1
	P	P	P	P			P	P	P	P	P	P

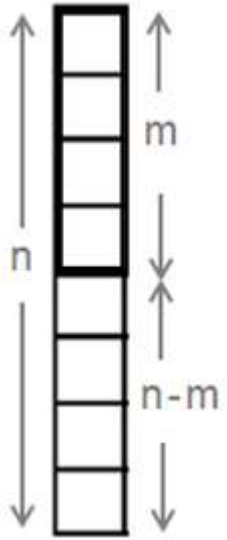
10 Page Faults

Algoritmos de Pilha (1)

- Teoria sobre algoritmos de paginação e suas propriedades
- Sabe-se que um processo gera uma seqüência de referências à memória
  - Cadeia de referências (*Reference String*)
- Sistema de Paginação caracterizado por 3 itens
  1. Cadeia de referências do processo em execução
  2. Algoritmo de substituição de páginas
  3. Número de molduras disponíveis (**m**)

- Conceitualmente, imagine um interpretador abstrato que mantém um **vetor M** que guarda o estado da memória

Algoritmos de Pilha (2)



- **Vetor M**
  - O vetor tem **n** elementos (equivale ao número de páginas de um processo)
  - O vetor é dividido em duas partes
    - Parte superior, com **m** entradas, representando as páginas que estão atualmente na memória (m = nº de molduras)
    - Parte inferior, com **n-m** entradas, abrangendo as páginas que já foram referenciadas 1 vez mas que foram devolvidas ao disco
- Inicialmente o vetor encontra-se vazio
- A cada referência, o interpretador verifica se a página está na memória (*i.e.* na parte superior de M)
  - Se não estiver, ocorre Page Fault.
    - Se ainda existirem molduras livres, coloca a página na memória (escrevendo a página na parte superior de M).
    - Se não há molduras livres, aplica o algoritmo de substituição de páginas. Alguma página será deslocada da parte superior do vetor para a parte inferior deste.

Algoritmos de Pilha (3)

Reference string	0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	3	3	5	5	3	1	1	1	7	1	3	4	1
M	0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	3	3	5	5	3	1	1	1	7	1	3	4	1
		0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	7	3	3	5	3	3	3	1	7	1	3	4
			0	2	1	3	5	4	6	3	3	4	4	7	7	7	5	5	5	3	3	7	1	3
LRU				0	2	1	3	5	4	6	6	6	6	4	4	4	7	7	7	5	5	5	7	7
					0	2	1	1	5	5	5	5	5	6	6	6	4	4	4	4	4	4	5	5
						0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6
							0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Page faults	P	P	P	P	P	P	P		P					P			P						P	

- Sempre que uma pag é ref. , ela é movida p/ o topo de M
- Se a pag. ref. estiver em M, as pag. acima dela serão todas deslocadas de uma posição p/ baixo
- as páginas que estão abaixo da página referenciada ñ são movidas
- Uma pag. que sai da caixa em negrito e vai p/ a parte inferior corresponde a uma pag. virtual sendo removida da memória
- Sempre que uma pag ref. ñ estiver no quadrante em negrito, há um PF

Algoritmos de Pilha (3)

Reference string	0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	3	3	5	5	3	1	1	1	7	1	3	4	1
M	0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	3	3	5	5	3	1	1	1	7	1	3	4	1
		0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	7	3	3	5	3	3	3	1	7	1	3	4
			0	2	1	3	5	4	6	3	3	4	4	7	7	7	5	5	5	3	3	7	1	3
LRU				0	2	1	3	5	4	6	6	6	6	4	4	4	7	7	7	5	5	5	7	7
					0	2	1	1	5	5	5	5	5	6	6	6	4	4	4	4	4	4	5	5
						0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6
							0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Page faults		P	P	P	P	P	P	P		P				P			P						P	

número de molduras

índice na cadeia de referências

- Propriedade Importante: M (m, r) ⊆ M (m+1 , r)
  - Algoritmos que apresentam esta propriedade são ditos Algoritmos de Pilha
  - LRU é um exemplo... já o FIFO não (como mostra a Anomalia de Belady)

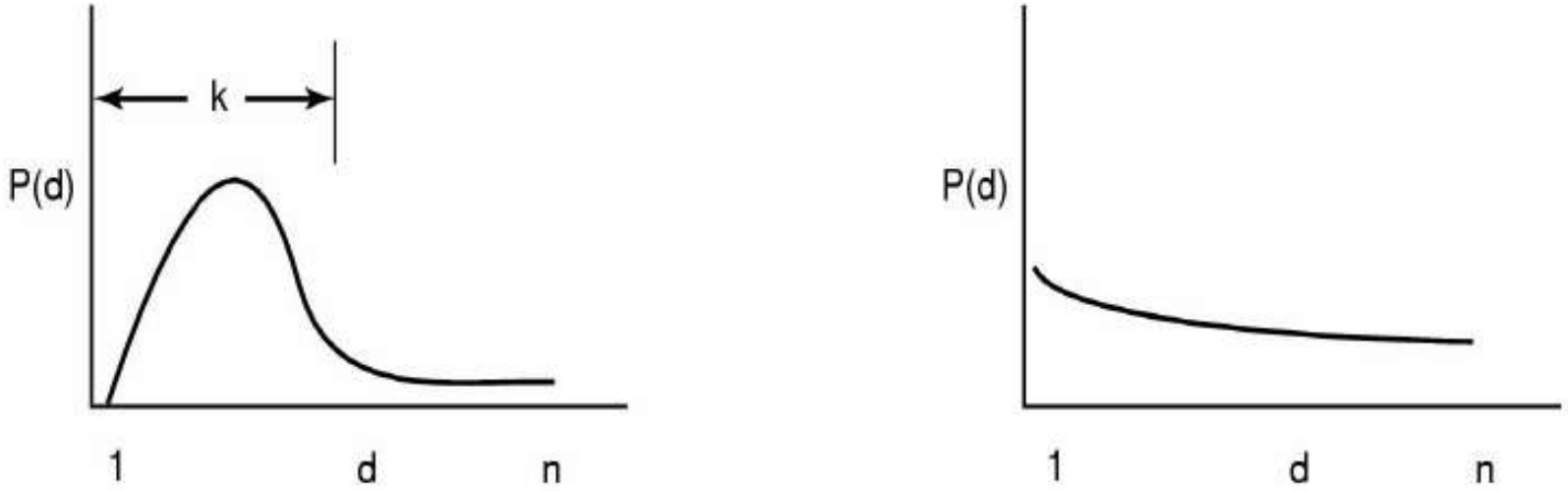
Cadeia de Distâncias (*Distance String*)

- Para cada referência, representar a distância entre o topo da pilha e a posição onde a página referenciada se encontrava em M no instante anterior

Reference string	0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	3	3	5	5	3	1	1	1	7	1	3	4	1
M		0	2	1	3	5	4	6	3	7	4	7	7	3	3	5	3	3	3	1	7	1	3	4
			0	2	1	3	5	4	6	3	3	4	4	7	7	7	5	5	5	3	3	7	1	3
LRU				0	2	1	3	5	4	6	6	6	6	4	4	4	7	7	7	5	5	5	7	7
					0	2	1	1	5	5	5	5	5	6	6	6	4	4	4	4	4	4	5	5
						0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6
							0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Page faults	P	P	P	P	P	P	P		P					P			P						P	
Distance string	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	∞	4	2	3	1	5	1	2	6	1	1	4	2	3	5	3

Cadeia de Distâncias (*Distance String*)

- A propriedade estatística da Distance String tem um grande impacto na performance do algoritmo de substituição de páginas



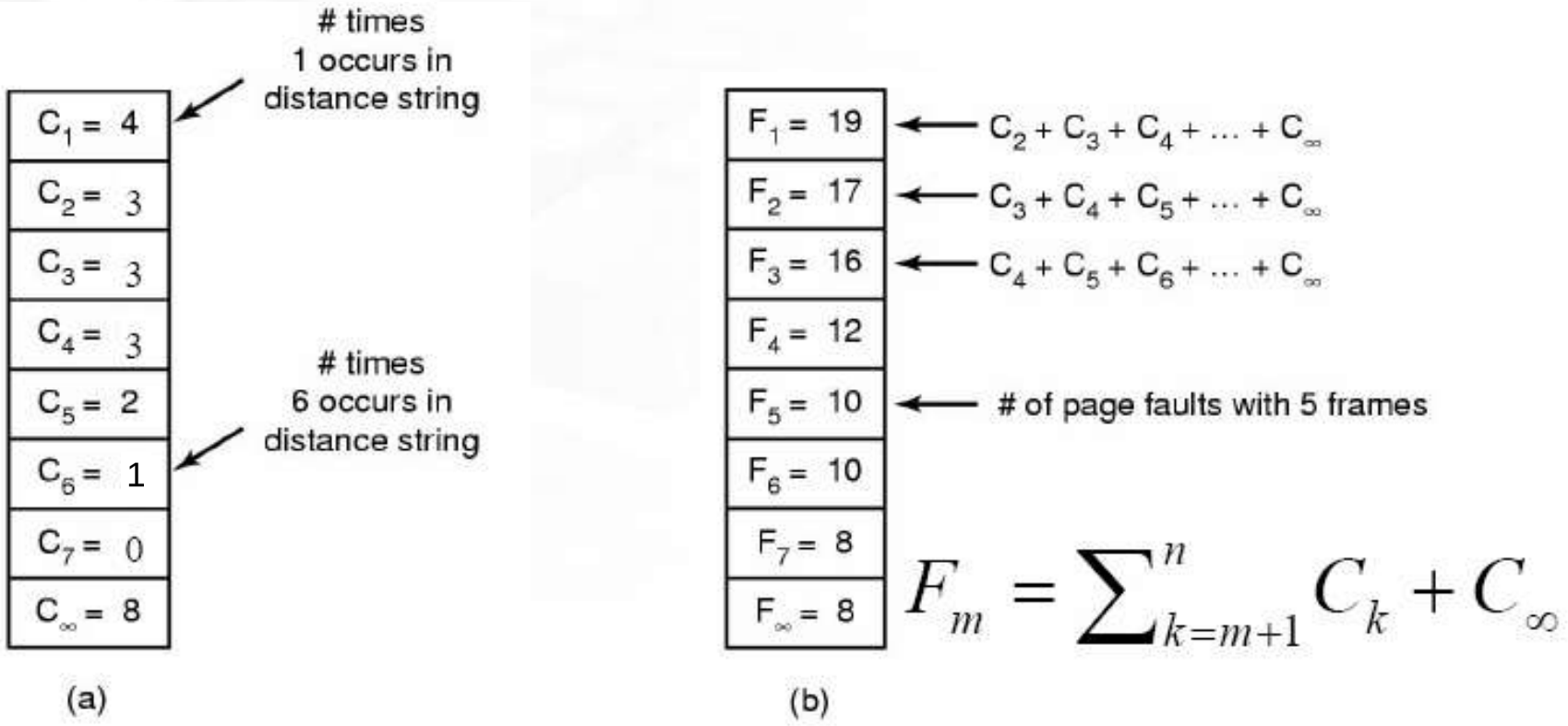
Funções de densidade de propabilidade para duas *Distance Strings* hipotéticas

Prevendo Taxas de Page Fault (1)

- Distance String pode ser utilizada para prever o número de Page Faults para diferentes tamanhos de memória
  - Número de Page Faults c/ 1 , 2 , 3 ... *n* molduras
- O algoritmo consiste em varrer a Distance String e contabilizar o número de vezes que ‘1’ ocorre, ‘2’, ocorre, e assim por diante
  - $\mathbf{C}_i$ é o número de ocorrências de **i**

Prevendo Taxas de Page Fault (2)

Distance string	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	∞	4	2	3	1	5	1	2	6	1	1	4	2	3	5	3



$$F_m = \sum_{k=m+1}^{n} C_k + C_\infty$$

Controle de Carga

- Mesmo com paginação, swaping é ainda necessário
- Determina o número de processos residentes em MP (escalonador de médio prazo)
  - Poucos processos, possibilidade de processador vazio;
  - Muitos processos, possibilidade de *trashing*
- Swapping é usado para reduzir demanda potencial por memória, em vez de reivindicar blocos para uso imediato

Tamanho de Páginas (1)

- Página de pequeno tamanho
  - tempo curto para transferência de página entre disco e memória
  - muitas páginas de diferentes programas podem estar residentes em memória
  - menor fragmentação interna
  - exige tabelas de páginas muito grandes, que ocupam espaço em memória
  - mais adequada para instruções
- Página de grande tamanho
  - Tabelas de páginas pequenas
  - Transferência de 64 páginas de 512 B pode ser mais lenta do que a transferência de 4 páginas de 8KB
  - Tempo longo para transferência de uma página entre disco e memória
  - Mais adequada para dados (gráficos exigem páginas muito grandes)

Tamanho de Páginas (2)

- Custo adicional devido à paginação
  - s : tamanho médio dos processos
  - p: tamanho da página em bytes
  - e: tamanho de cada entrada da tabela de páginas

$\frac{s}{p} . e$ -> tamanho aproximado da tabela de páginas

$\frac{p}{2}$ -> memória desperdiçada na última página do processo

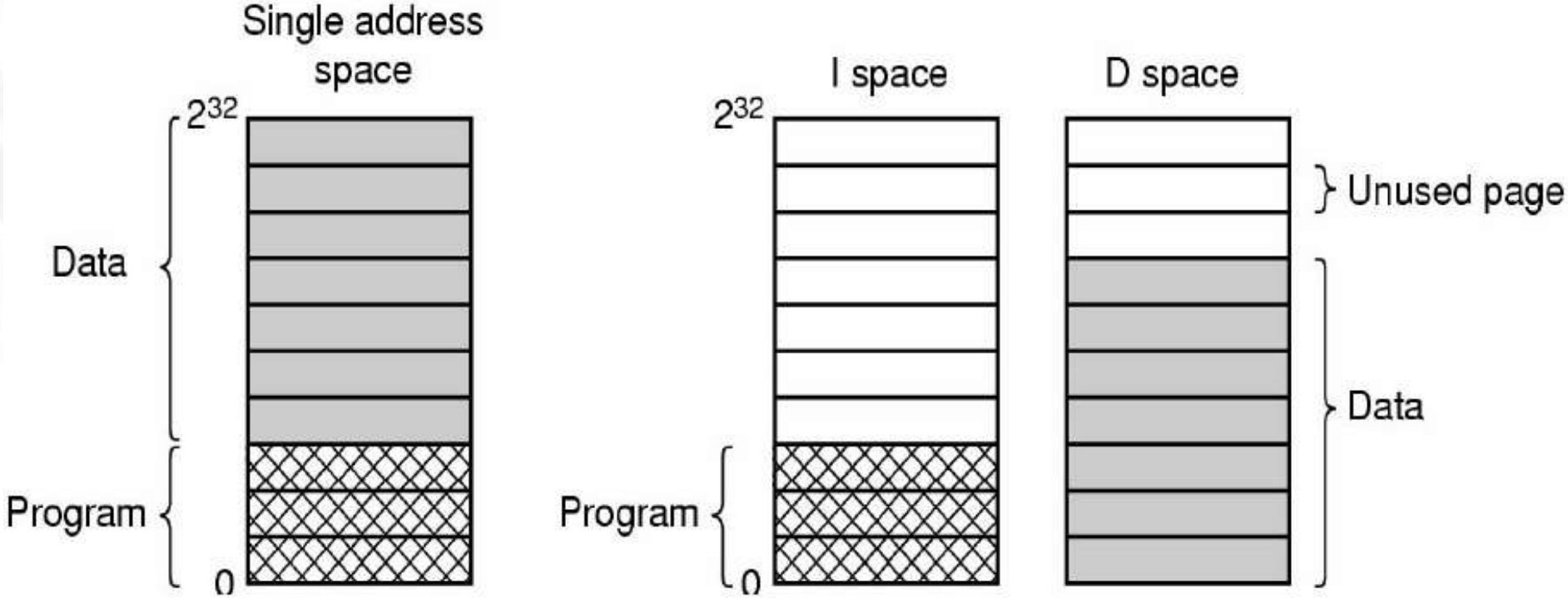
$$\text{custo adicional} = \frac{s.e}{p} + \frac{p}{2}$$

Derivando em relação a **p**: o tamanho ótimo será: $p=\sqrt{2.s.e}$

Tamanho de Páginas (3)

- Solução de compromisso: permitir páginas de tamanhos diversos para código e dados
- Tamanhos de páginas variam muito, de 64 bytes a 4 Mbytes
  - Pentium (... x86 64) permite selecionar página de 4 K ou 4 Mbytes
  - Motorola MC88200
    - páginas de 4 Kbytes para programas de usuário
    - páginas de 512 Kbytes para programas do sistema, que devem residir sempre em memória

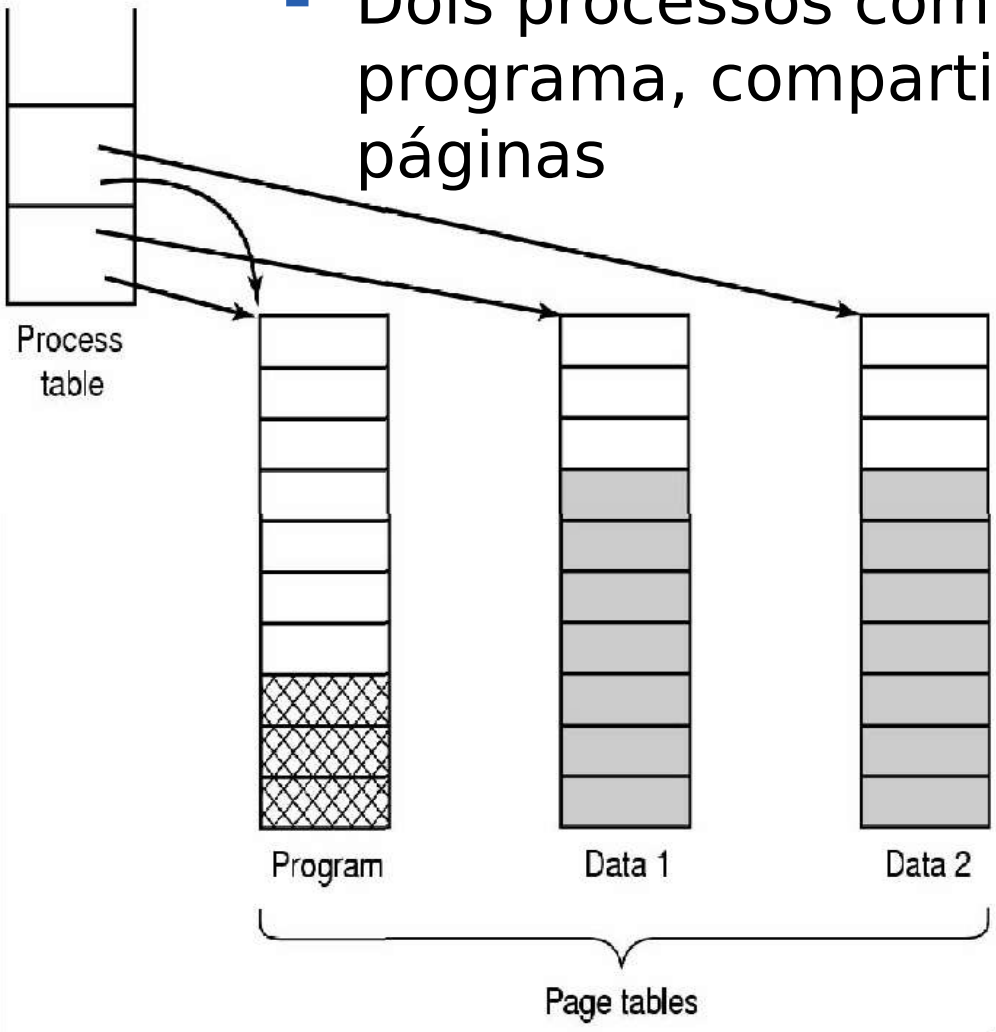
Espaços de Instruções e Dados Separados



- Duplica o espaço de endereçamento disponível
- Uma tabela de páginas para cada espaço de endereçamento

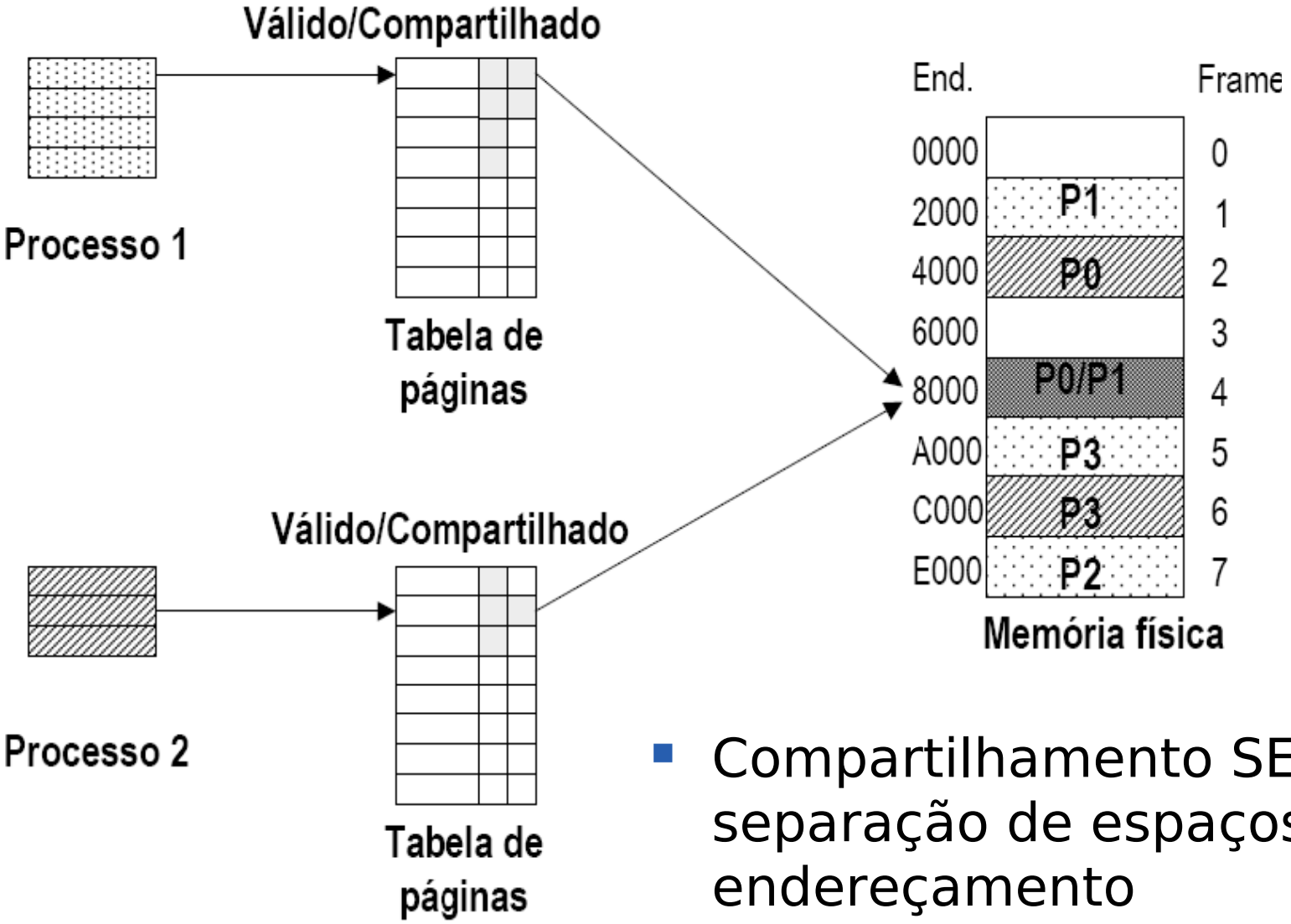
Páginas Compartilhadas (1)

- Dois processos compartilhando o mesmo programa, compartilham a sua tabela de páginas



- Mesmo não havendo dois espaços de endereçamento (Código e Dado) é possível compartilhar páginas, mas o mecanismo não é tão direto
- Usando tabelas invertidas o mecanismo é mais complicado ainda...

Páginas Compartilhadas (2)



- Compartilhamento SEM separação de espaços de endereçamento

Páginas Compartilhadas (3)

- **Código Reentrante**
  - Código que não modifica a si próprio, ou seja, ele nunca é modificado durante a execução
  - Dois ou mais processos podem executar o mesmo código “simultaneamente”
  - Exemplo:
    - Editor de texto com código reentrante de **150 K** e área de dados de **50 K**
    - **40** usuários utilizando o editor em um ambiente de tempo compartilhado, seriam necessários **200 K x 40 = 8000 K**
    - Se o código executável for compartilhado, serão consumidos apenas **(50 K x 40) + 150 K = 2150 K**

Referências

- **A.S. Tanenbaum, ''Sistemas Operacionais Modernos'', 3a. Edição, Editora Prentice-Hall, 2010.**
  - **Cap. 3**

- Silberschatz, P. Baer Galvin, e G. Gagne ''Sistemas Operacionais com Java'', 7a. Edição, Elsevier Editora / Campus, 2008. *Capítulo 10*