

Sistemas Operacionais

Prof. Jó Ueyama

Apresentação baseada nos slides da Profa. Dra. Kalinka Castelo Branco, do Prof. Dr. Antônio Carlos Sementille e da Profa. Dra. Luciana A. F. Martimiano e nas transparências fornecidas no site de compra do livro “Sistemas Operacionais Modernos”

Gerenciamento de Memória

- ★ Recurso importante;
- ★ Tendência atual do software
 - Lei de *Parkinson*: “Os programas se expandem para preencher a memória disponível para eles” (adaptação);
- ★ Hierarquia de memória:
 - *Cache*;
 - Principal;
 - Disco;

Gerenciamento de Memória

- ★ Idealmente os programadores querem uma memória que seja:
 - Grande
 - Rápida
 - Não Volátil
 - Baixo custo
- ★ Infelizmente a tecnologia atual não comporta tais memórias
- ★ A maioria dos computadores utiliza Hierarquia de Memórias que combina:
 - Uma pequena quantidade de memória cache, volátil, muito rápida e de alto custo
 - Uma grande memória principal (RAM), volátil, com centenas de MB ou poucos GB, de velocidade e custo médios
 - Uma memória secundária, não volátil em disco, com gigabytes (ou terabytes), velocidade e custo baixos

Gerenciamento de Memória

Hierarquia de Memória

* **Cache**

- Pequena quantidade
 - * k bytes
- Alto custo por byte
- Muito rápida
- Volátil

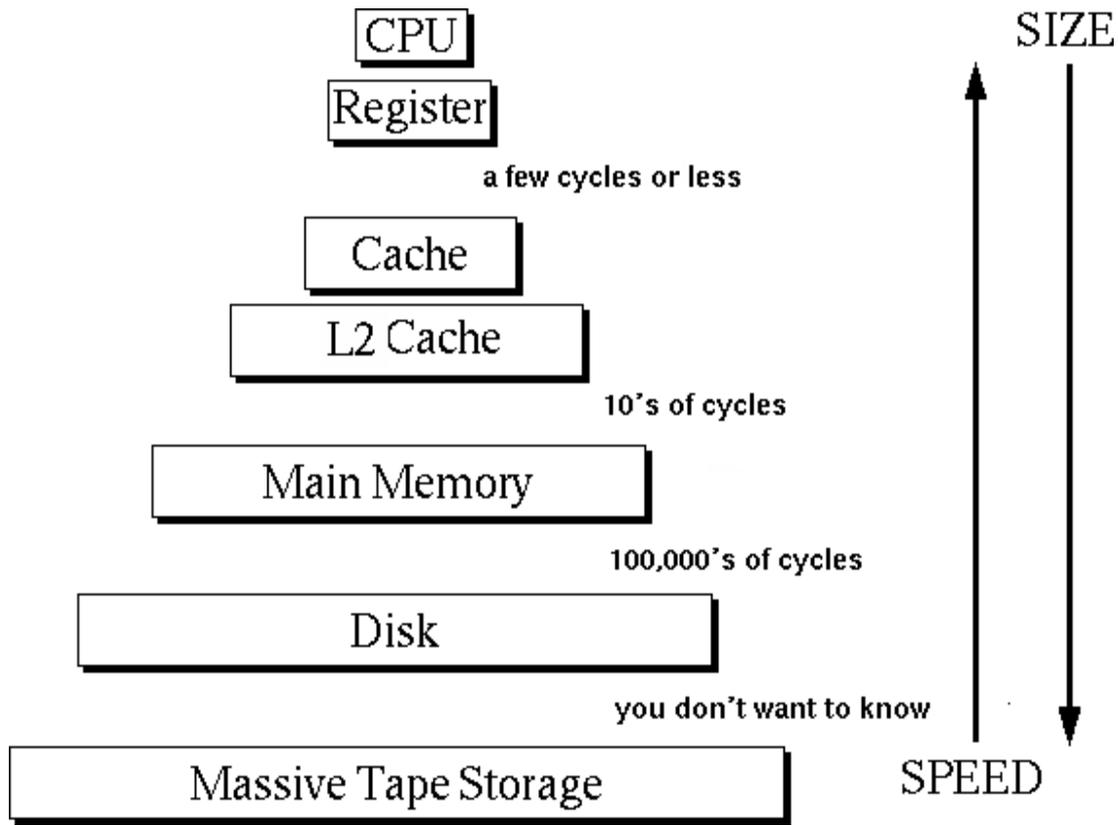
* **Memória Principal**

- Quantidade intermediária
 - * M bytes
- Custo médio por byte
- Velocidade média
- Volátil

* **Disco**

- Grande quantidade –
 - * G bytes
- Baixo custo por byte
- Lenta
- Não volátil

Hierarquia de Memória



Gerenciamento de Memória

- ▮ Cabe ao **Gerenciador de Memória** gerenciar a hierarquia de memória
- ▮ Controla as partes da memória que estão em uso e quais não estão, de forma a:
 - ▮ alocar memória aos processos, quando estes precisarem;
 - ▮ liberar memória quando um processo termina;
 - e
 - ▮ tratar do problema do *swapping* (quando a memória é insuficiente).

Gerenciamento de Memória

* Para cada tipo de memória:

- Gerenciar espaços livres/ocupados;
- Alocar processos/dados na memória;
- Localizar dado;

* Gerenciador de memória:

- Responsável por alocar e liberar espaços na memória para os processos em execução;
- Responsável por gerenciar chaveamento entre a memória principal e o disco, e memória principal e memória *cache*;

Gerenciamento Básico de Memória

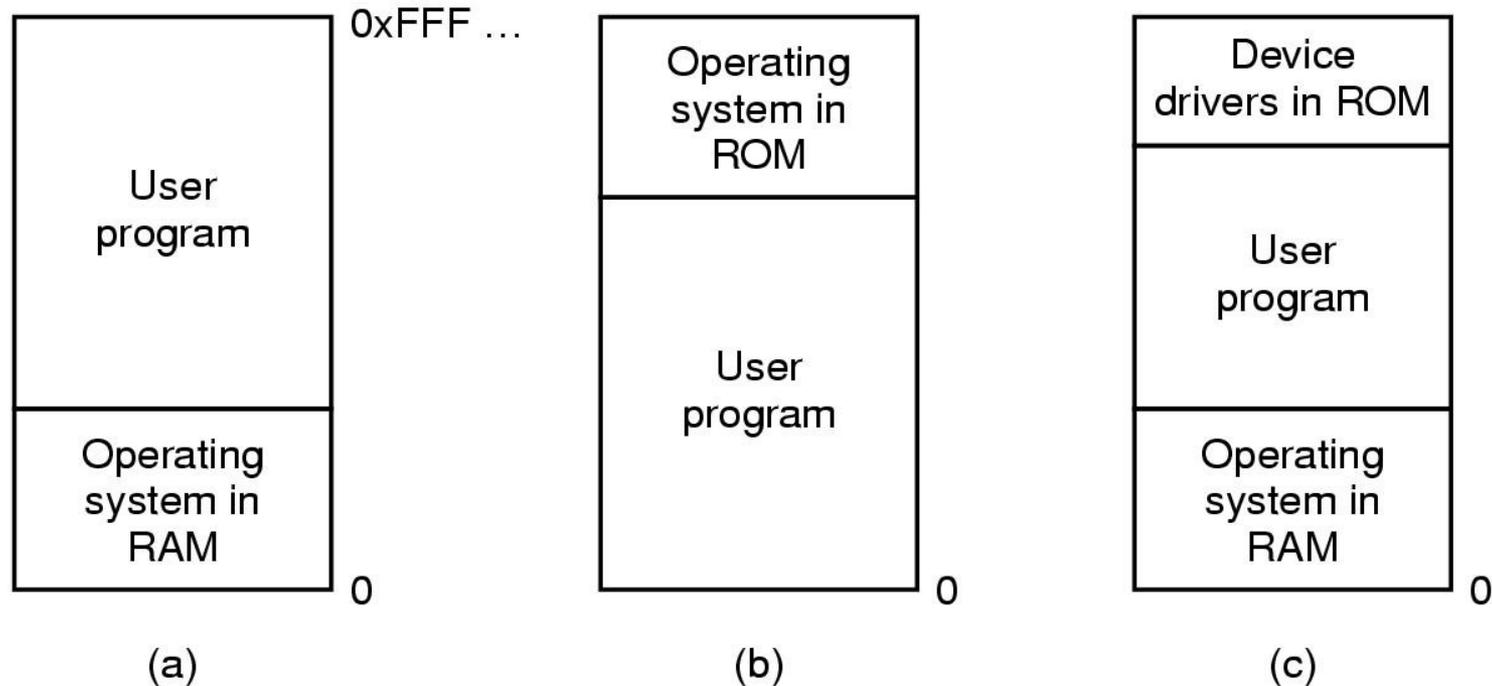
- ★ Sistemas de Gerenciamento de Memória, podem ser divididos em 2 classes:
 - Sistemas que, durante a execução levam e trazem processos entre a memória principal e o disco (troca de processos e paginação)
 - Sistemas mais simples, que não fazem troca de processos e nem paginação

Monoprogramação sem trocas de processos ou Paginação

- | **Sistemas Mono-usuários:** gerência de memória é bem simples, pois toda a memória é alocada à próxima tarefa, incluindo a área do S.O.
- | Erros de execução podem vir a danificar o S.O.
- | Neste caso, a destruição do S.O. é um pequeno inconveniente, resolvido pelo recarregamento do mesmo.

Gerenciamento Básico de Memória

Monoprogramação sem trocas de processos ou Paginação



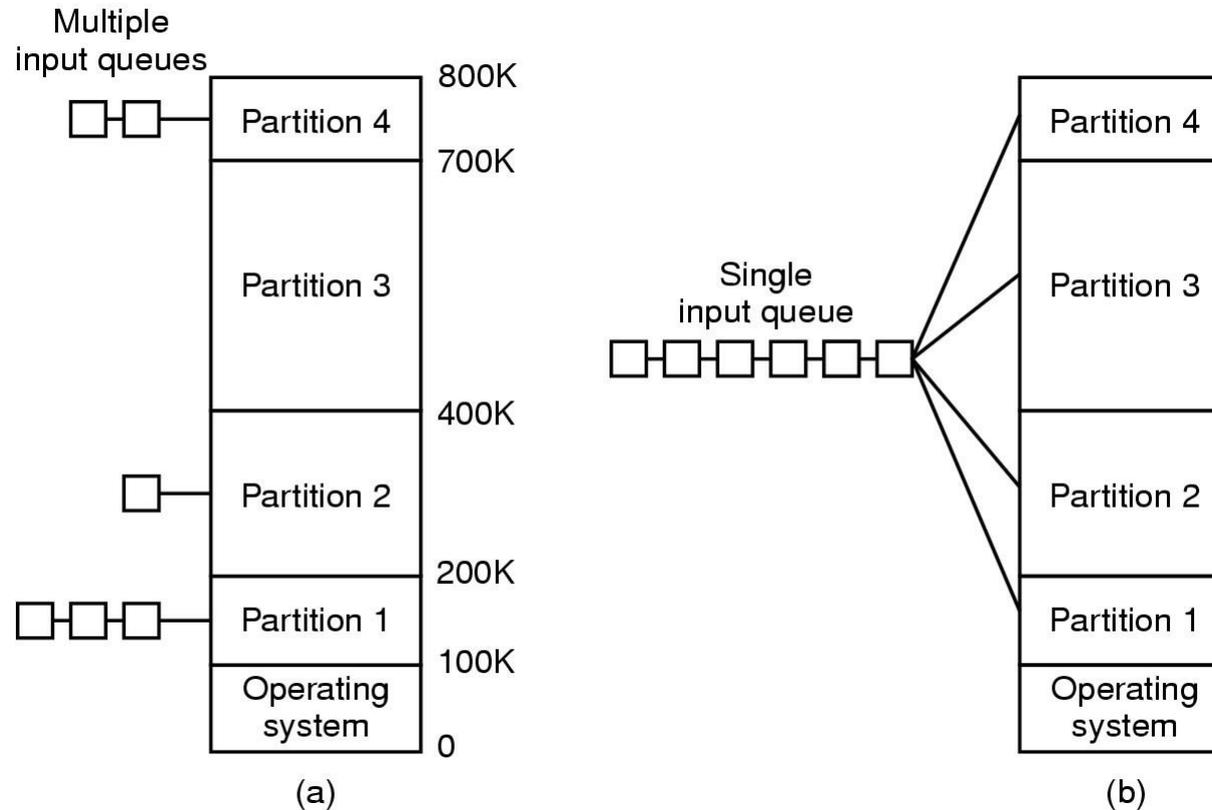
Três esquemas simples de organização de memória

- Um sistema operacional com um processo de usuário

Multiprogramação com partições Fixas

- | **Sistemas Monoprogramados:** raramente usados atualmente.
- | **Sistemas modernos:** permitem multiprogramação
- | A maneira mais comum de realizar a multiprogramação é dividir simplesmente a memória em **n partições** (provavelmente de tamanhos diferentes).
- | Esta divisão pode ser feita de maneira manual, quando o sistema é inicializado
- | Ao chegar, um *job*, pode ser colocado em uma fila de entrada associada à menor partição, grande o suficiente para armazená-lo

Multiprogramação com partições Fixas



- ★ Partições de memória fixa
 - fila separada para cada partição
 - uma única fila de entrada

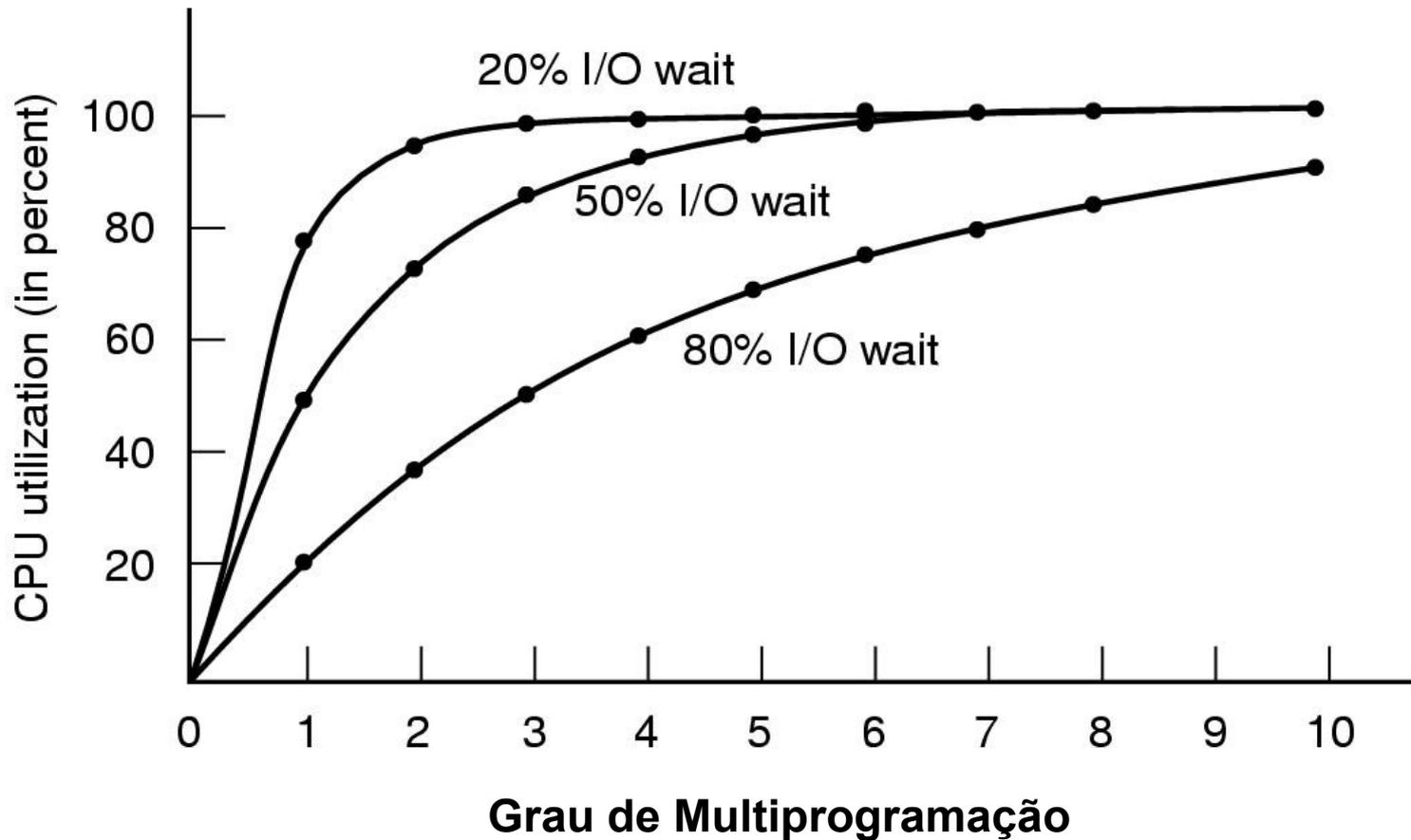
Modelagem da Multiprogramação

O uso da Multiprogramação pode melhorar a utilização da UCP

Considerando a utilização da UCP de modo probabilístico:

- Suponha que um processo gaste uma fração p de seu tempo esperando pela finalização de sua solicitação de E/S
- Com n processos simultâneos na memória, a probabilidade de todos os n processos estarem esperando por E/S (situação em que a UCP está ociosa) é p^n
- A utilização da UCP é dada pela fórmula:
$$\text{utilização da UCP} = 1 - p^n$$

Modelagem da Multiprogramação



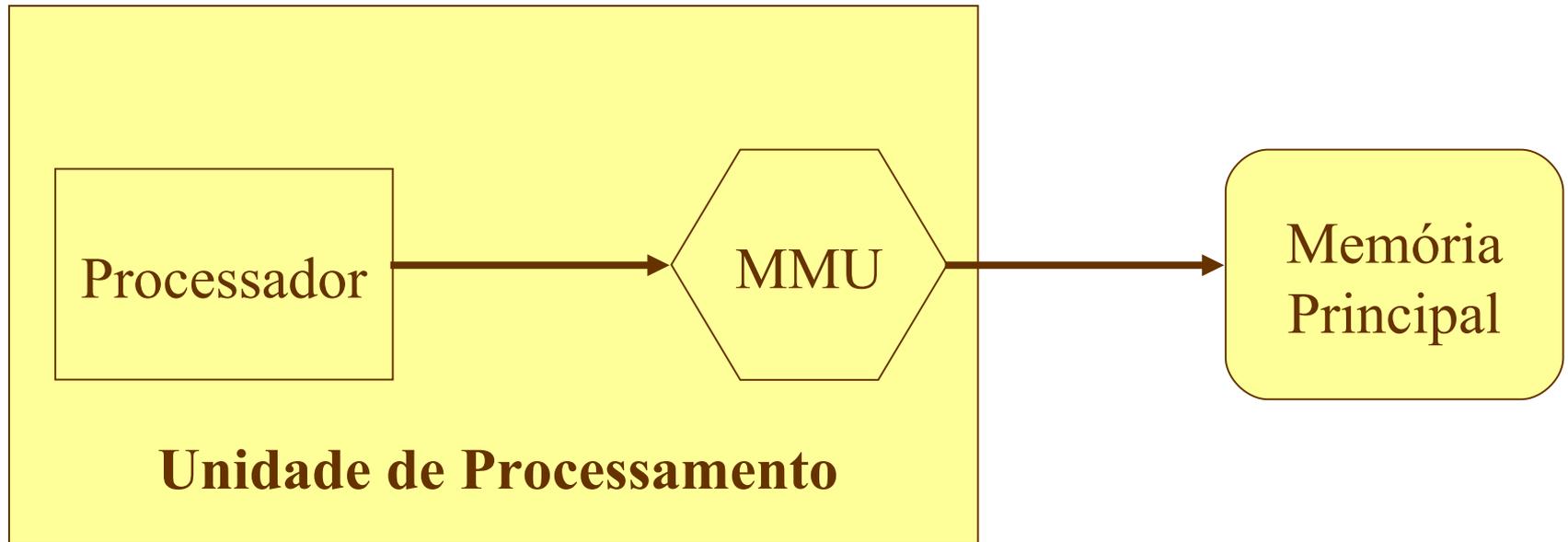
A utilização da UCP como uma função do número de processos na memória

Gerenciamento de Memória

- ★ Multiprogramação → Vários processos na memória:
 - Como proteger os processos uns dos outros e o *kernel* de todos os processos?
 - Como tratar a realocação?
- ★ Todas as soluções envolvem equipar a CPU com um hardware especial → MMU (*memory management unit*);

Gerenciamento de Memória

- * MMU – *Memory Management Unit*



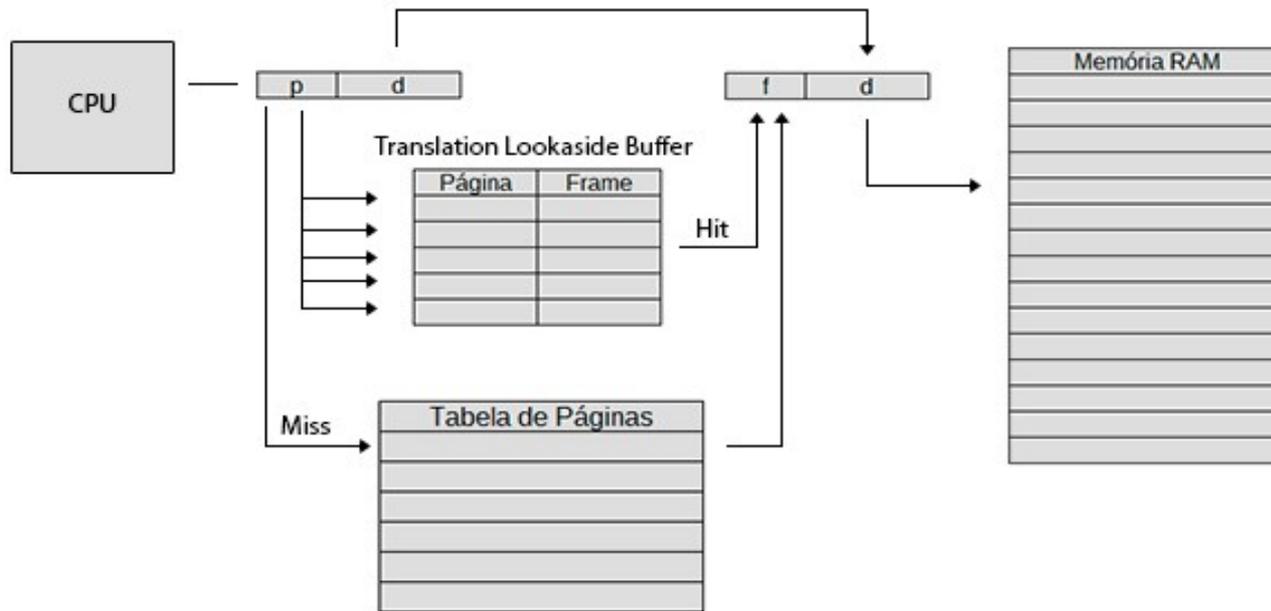
Gerenciamento de Memória

- ★ **MMU** (do inglês **Memory Management Unit**) é um dispositivo de hardware que transforma endereços virtuais em endereços físicos.
- ★ Na MMU, o valor no registro de re-locação é adicionado a todo o endereço lógico gerado por um processo do utilizador na altura de ser enviado para a memória.
- ★ O programa do utilizador manipula endereços lógicos; ele nunca vê endereços físicos reais.

Gerenciamento de Memória

- ★ Normalmente o sistema atual de MMU divide o espaço de endereçamento virtual (endereços utilizados pelo processador) em páginas, cujo o tamanho é de 2^n , tipicamente poucos ***kilobytes***.
- ★ A MMU normalmente traduz número de páginas virtuais para número de páginas físicas utilizando uma *cache* associada chamada *Translation Lookaside Buffer* (TLB).
- ★ Quando o TLB falha uma tradução, um mecanismo mais lento envolvendo um *hardware* específico de dados estruturados ou um *software* auxiliar é usado.

TLB – Translation Lookaside Buffer



Relocação e Proteção

- ★ Relocar é deslocar um código de um local para outro
- ★ Pode não ter certeza de onde o programa será carregado na memória
 - As localizações de endereços de localização das variáveis e do código das rotinas não podem ser absolutos
 - Tipos: estático (muda o código antes de executar) e dinâmico (relocação feita na execução através de regs)
- ★ Uso de valores de base e limite
 - Os endereços das localizações são somados a um valor de base para mapear um endereço físico
 - Valores de localizações maiores que um valor limite são considerados erro

Relocação e proteção

* Realocação:

- Quando um programa é *linkado* (programa principal + rotinas do usuário + rotinas da biblioteca → executável) o *linker* deve saber em que endereço o programa irá iniciar na memória;
- Nesse caso, para que o *linker* não escreva em um local indevido, como por exemplo na área do SO (100 primeiros endereços), é preciso de realocação:
 - * #100 + ! → que depende da partição!!!

Relocação e proteção

* Proteção:

- Com várias partições e programas ocupando diferentes espaços da memória é possível acontecer um acesso indevido;

* Solução para ambos os problemas:

- 2 registradores → base e limite

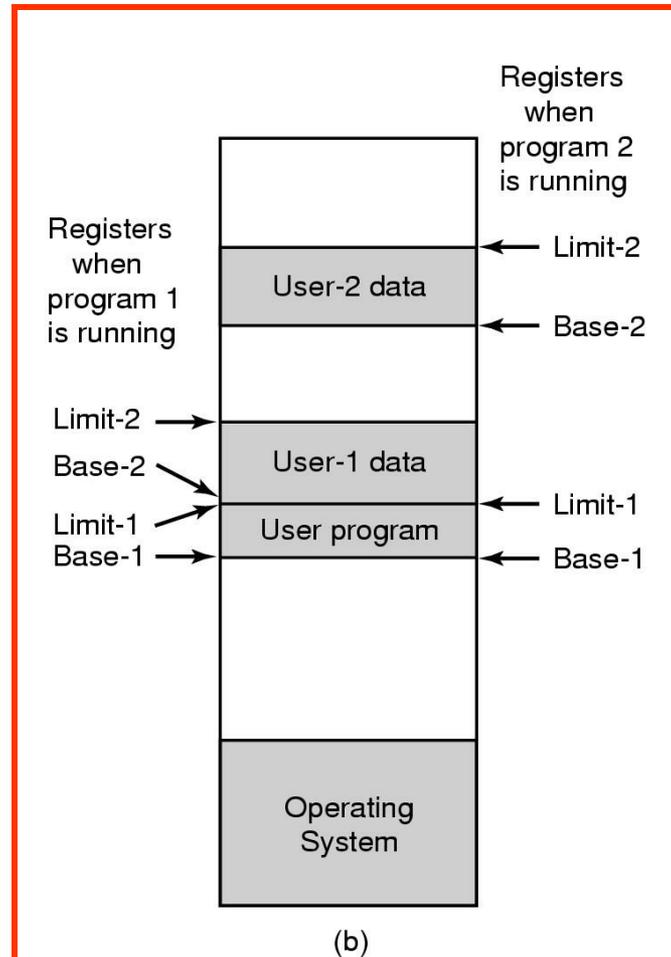
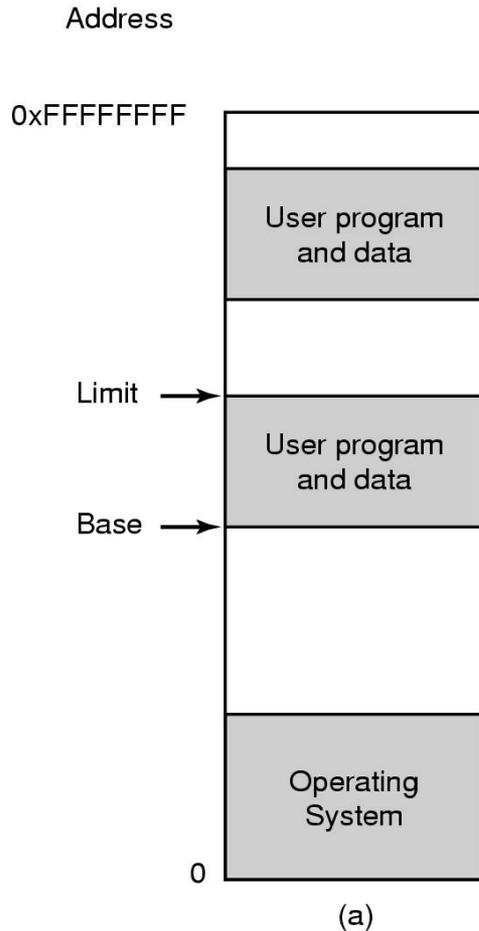
- * Quando um processo é escalonado o registrador-base é carregado com o endereço de início da partição e o registrador-limite com o tamanho da partição;
- * O registrador-base torna impossível a um processo uma remissão a qualquer parte de memória abaixo de si mesmo.

Relocação e proteção

- 2 registradores → base e limite
 - * Automaticamente, a MMU adiciona o conteúdo do registrador-base a cada endereço de memória gerado;
 - * Endereços são comparados com o registrador-limite para prevenir acessos indevidos;

Gerenciamento de Memória

Registradores base e limite



b) MMU mais sofisticada → dois pares de registradores: segmento de dados usa um par separado;

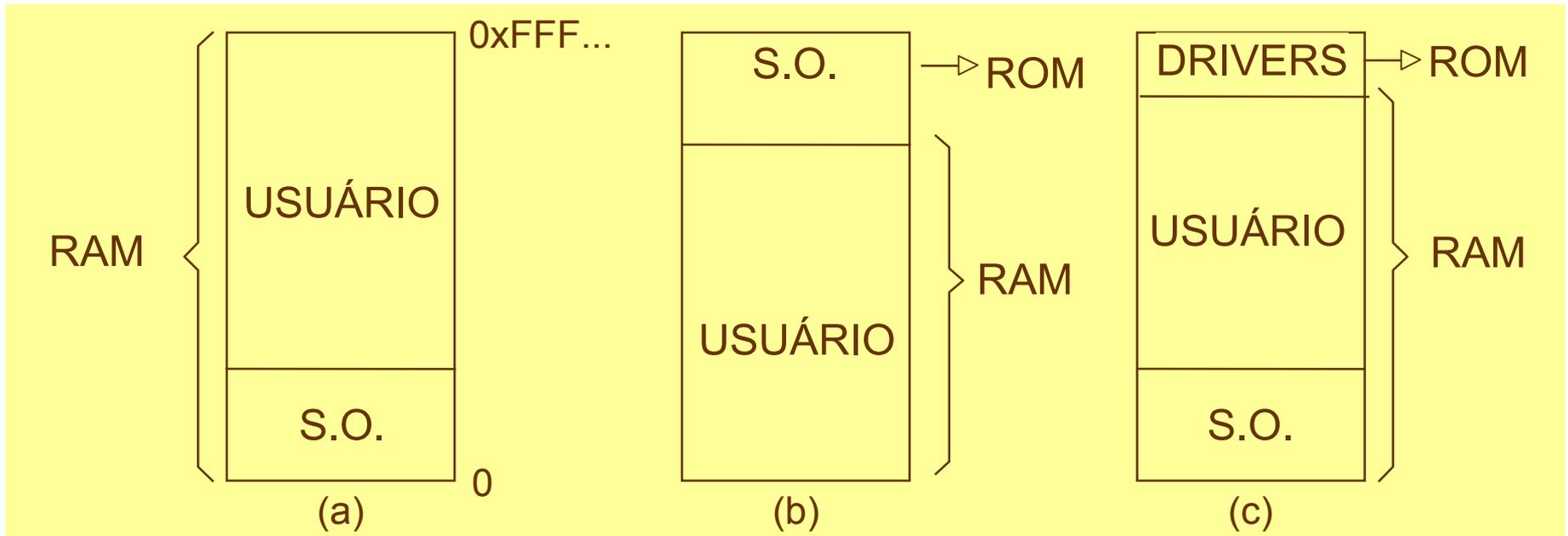
- MMU modernas têm mais pares de registradores.

Gerenciamento de Memória

- ★ Tipos básicos de gerenciamento:
 - Com paginação (chaveamento): Processos são movidos entre a memória principal e o disco; artifício usado para resolver o problema da falta de memória;
 - ★ Se existe MP suficiente não há necessidade de se ter paginação;
 - Sem paginação: não há chaveamento;

Gerenciamento de Memória

- ★ Monoprogramação:
 - Sem paginação: gerenciamento mais simples;
- ★ Apenas um processo na memória;

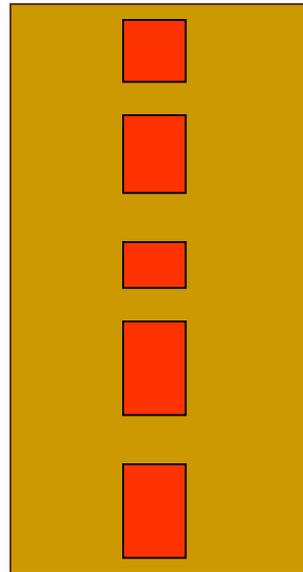


Gerenciamento de Memória

* Modelo de Multiprogramação:

- Múltiplos processos sendo executados;
- Eficiência da CPU;

 **Processo**



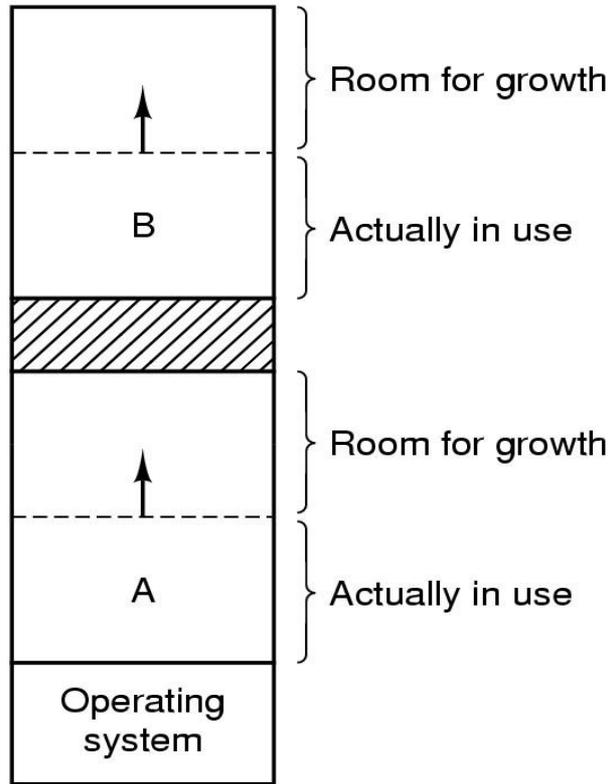
Memória Principal - RAM

Gerenciamento de Memória

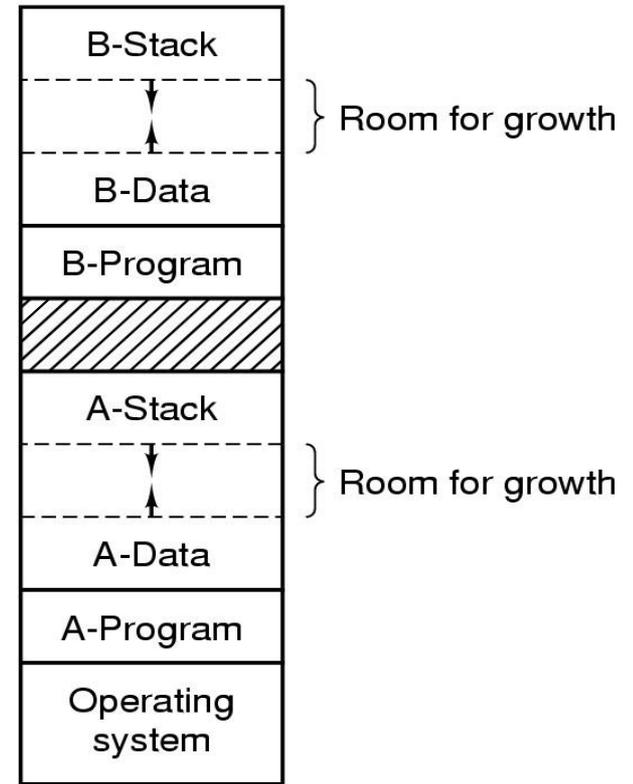
Alocando memória

a) segmento de dados;

b) segmento de dados e de pilha;



(a)



(b)

Gerenciamento de Memória

Partições/Alocação

- ★ Particionamento da memória pode ser realizado de duas maneiras:
 - Partições fixas (ou alocação estática);
 - Partições variáveis (ou alocação dinâmica);
- ★ **Partições Fixas:**
 - Tamanho e número de partições são fixos (estáticos);
 - Não é atrativo, porque partições fixas tendem a desperdiçar memória (Qualquer espaço não utilizado é literalmente perdido)
 - Mais simples;

Gerenciamento de Memória

Partições Fixas

* Partições Fixas:

– Filas múltiplas:

- * Problema: filas não balanceadas;

– Fila única:

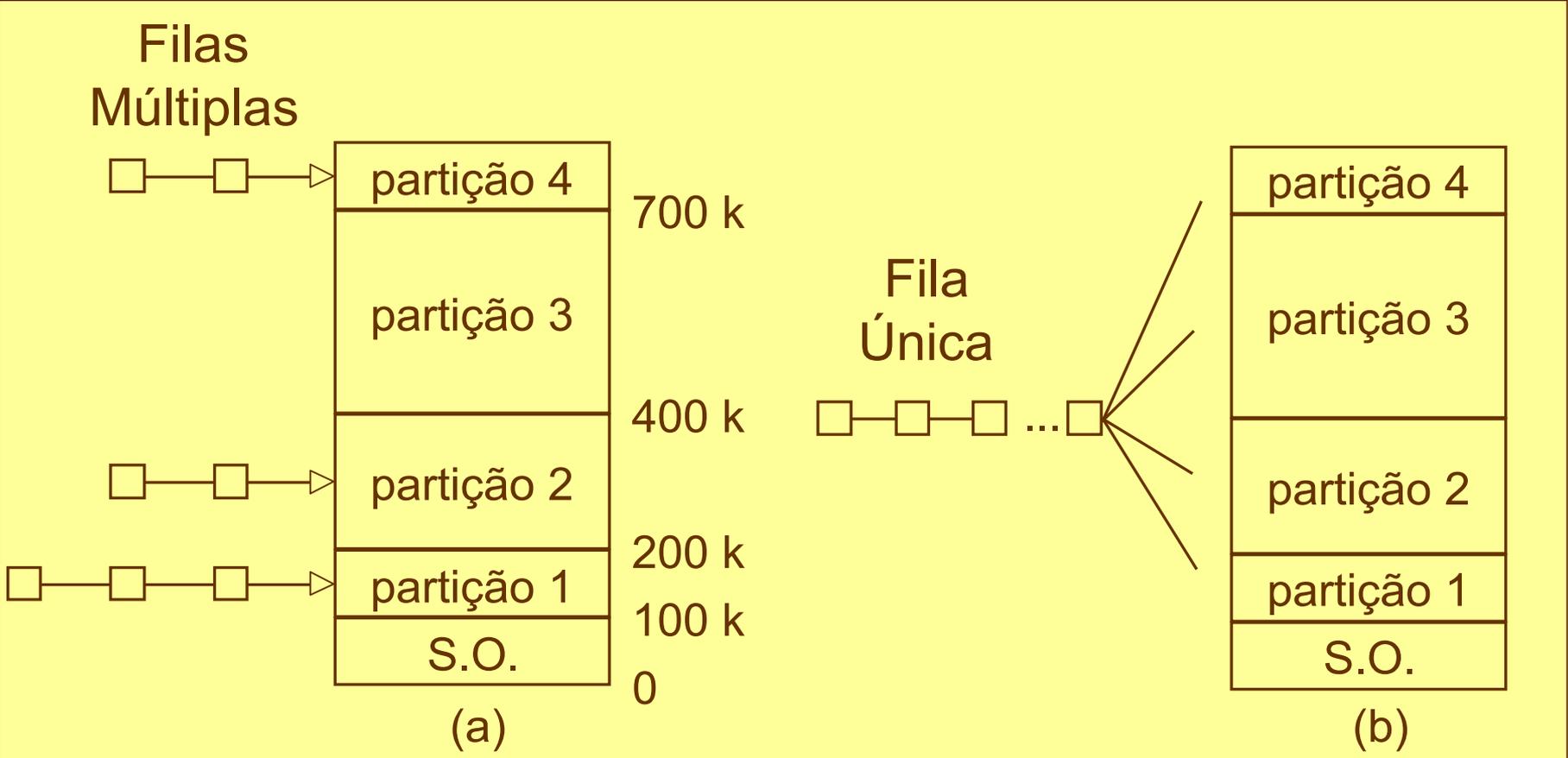
- * Facilita gerenciamento;

* Implementação com Lista:

- Melhor utilização da memória, pois procura o melhor processo para a partição considerada;
- Problema: processos menores são prejudicados;

Gerenciamento de Memória

Partições Fixas



Gerenciamento de Memória

Partições Fixas

- * Partições Fixas: problemas com fragmentação:
 - **Interna**: desperdício dentro da área alocada para um processo;
 - * Ex.: processo de tamanho 40K ocupando uma partição de 50k;
 - **Externa**: desperdício fora da área alocada para um processo;
 - * Duas partições livres: PL1 com 25k e PL2 com 100k, e um processo de tamanho 110K para ser executado;
 - * Livre: 125K, mas o processo não pode ser executado;

Gerenciamento de Memória

Partições Variáveis

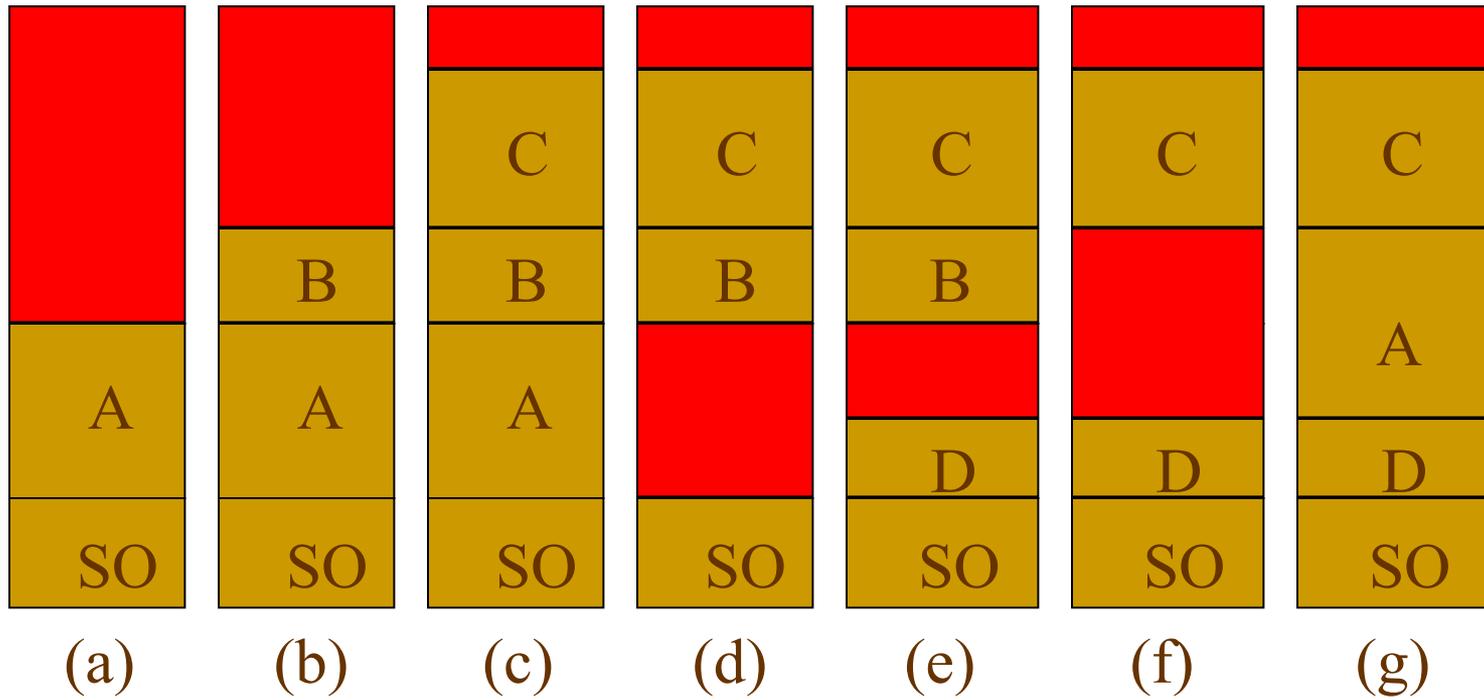
* Partições Variáveis:

- Tamanho e número de partições variam;
- Otimiza a utilização da memória, mas complica a alocação e liberação da memória;
- Partições são alocadas dinamicamente;
- SO mantém na memória uma lista com os espaços livres;
- Menor fragmentação interna e grande fragmentação externa. Por que?
 - * Solução: Compactação;

Gerenciamento de Memória

Partições Variáveis

* Partições Variáveis: Tempo



■ Memória livre

Troca de Processos

Com um sistema em lote, é simples e eficiente organizar a memória em partições fixas.

Em sistemas de tempo compartilhado:

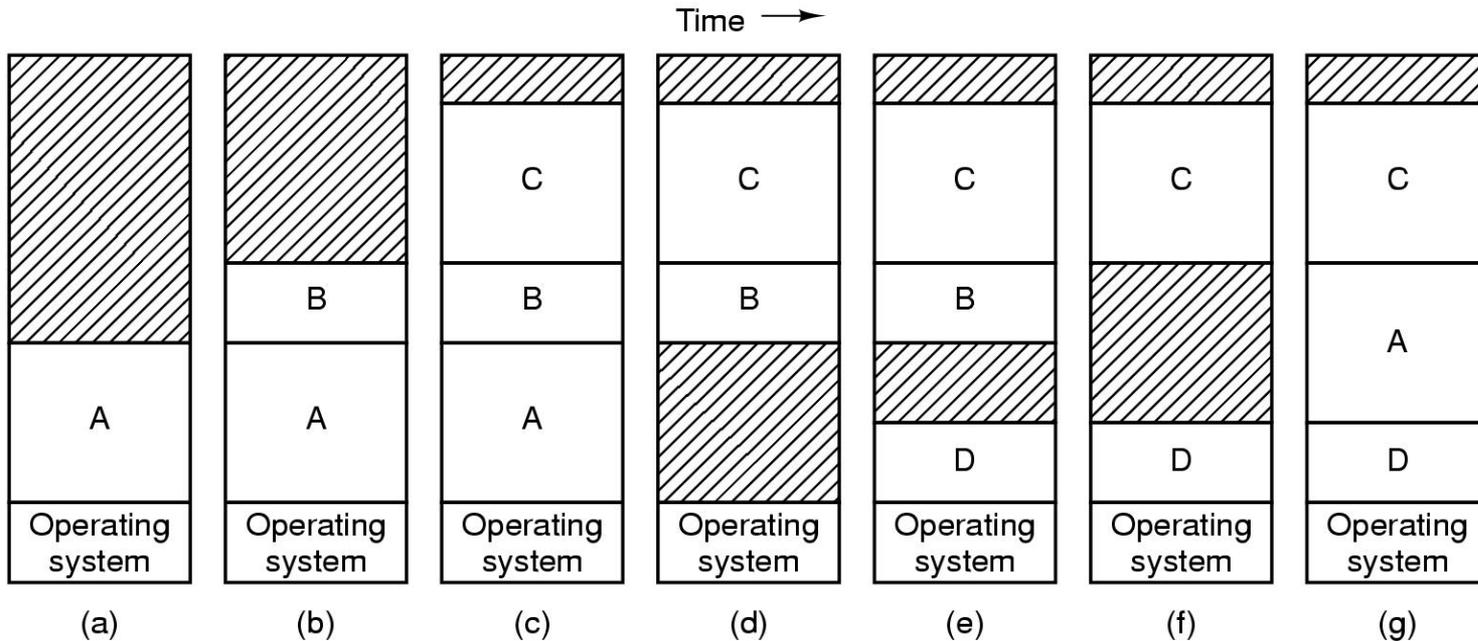
- Pode não existir memória suficiente para conter todos os processos ativos
- Os processos excedentes são mantidos em disco e trazidos dinamicamente para a memória a fim de serem executados

Troca de Processos

Existem 2 maneiras gerais que podem ser usados:

- **A troca de processos (*swapping*):** forma mais simples, consiste em trazer totalmente cada processo para a memória, executá-lo durante um tempo e, então, devolvê-lo ao disco
- **Memória Virtual:** permite que programas possam ser executados mesmo que estejam parcialmente carregados na memória principal.

Troca de Processos



A Alocação de memória muda a medida que

- Os processos chegam à memória
- Os processos deixam a memória

As regiões sombreadas (na Figura) representam a memória não usada

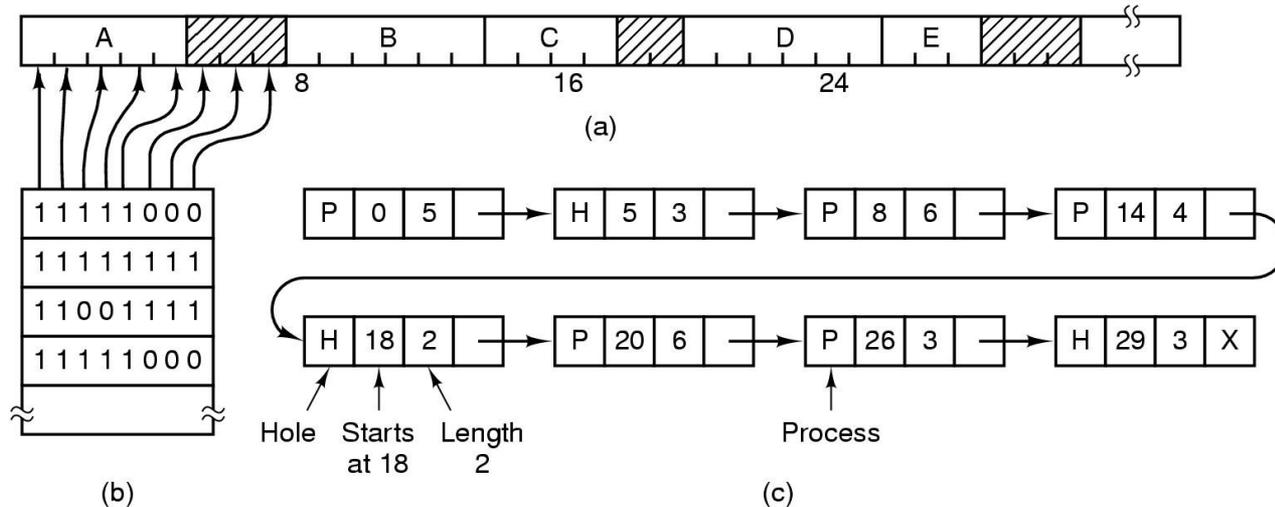
Gerenciamento de Memória

- ★ Minimizar espaço de memória inutilizados:
 - Compactação: necessária para recuperar os espaços perdidos por fragmentação; no entanto, muito custosa para a CPU;
- ★ Técnicas para alocação dinâmica de memória:
 - *Bitmaps*;
 - Listas Encadeadas;

Gerenciamento de Memória

- ★ Técnica com *Bitmaps*:
 - Memória é dividida em unidades de alocação em kbytes;
 - Cada unidade corresponde a um *bit* no *bitmap*:
 - 0 → livre
 - 1 → ocupado
 - Tamanho do *bitmap* depende do tamanho da unidade e do tamanho da memória;
 - Ex.:
 - ★ unidades de alocação pequenas → *bitmap* grande;
 - ★ unidades de alocação grandes → perda de espaço;

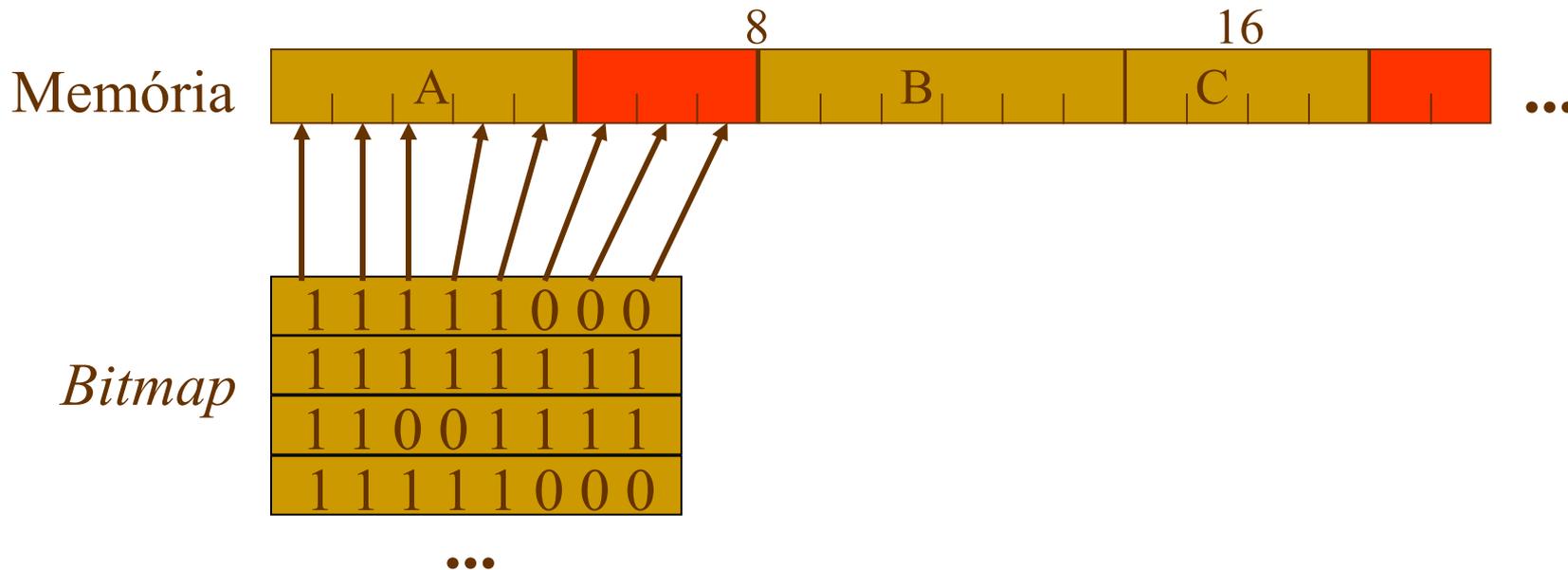
Gerenciamento de memória com Mapas de Bits



- (a) Uma parte da memória com 5 processos e 3 buracos
- As regiões em branco (1 no bitmap) marcam as unidades já alocadas
 - As regiões sombreadas (0 no bitmap) marcam unidades desocupadas
- (b) O Bitmap correspondente
- (c) A mesma informação como uma lista encadeada

Gerenciamento de Memória

* Técnica com *Bitmaps*:

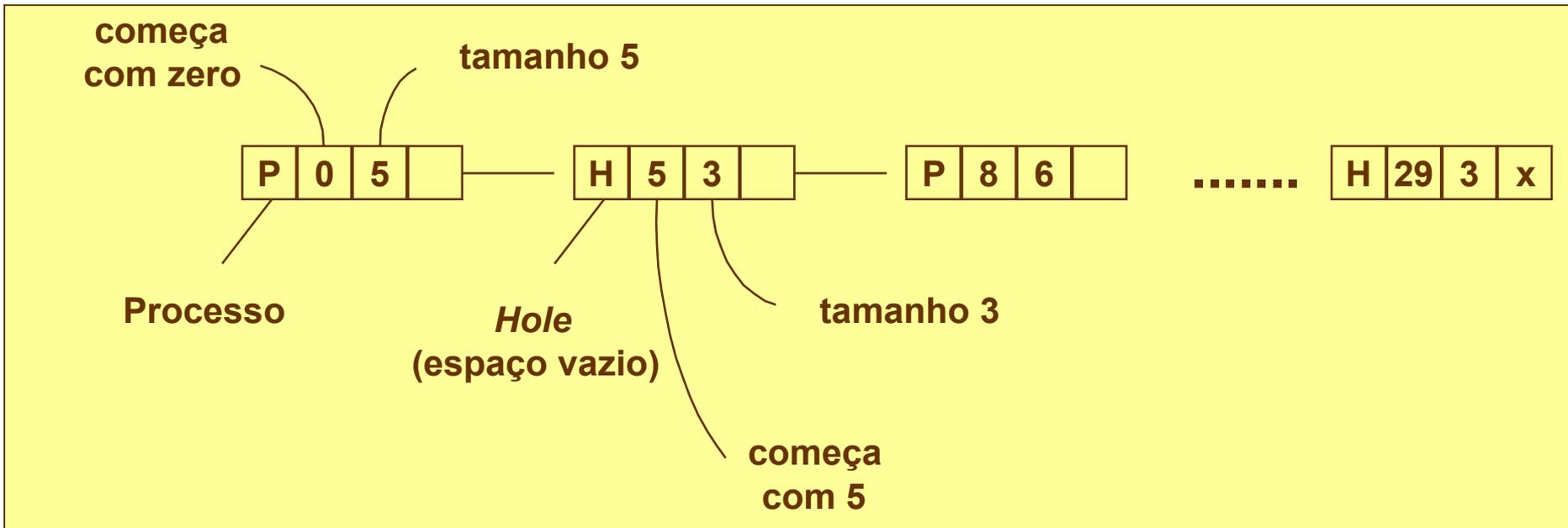


- Memória ocupada
- Memória livre

Gerenciamento de Memória

* Técnica com Listas Encadeadas:

- Uma lista para os espaços vazios e outra para os espaços cheios, ou uma lista para ambos!



Gerenciamento de Memória

Alocação de segmentos livres

Existem três métodos que podem ser usados para selecionar uma região para um processo. Os algoritmos de alocação são:

- ! **Melhor escolha (Best fit):** colocar o processo no bloco com o mínimo resto de memória;
- ! **Pior escolha (worst fit):** usar o bloco com o maior resto de memória;
- ! **Primeira escolha (First fit):** ir sequencialmente através dos blocos, e tomar o primeiro grande o suficiente.

Gerenciamento de Memória

- * Processos e espaços livres informados em uma lista encadeada
- * Algoritmos de Alocação → quando um novo processo é criado:
 - *FIRST FIT*
 - * 1º segmento é usado;
 - * Rápido, mas pode desperdiçar memória por fragmentação;
 - *NEXT FIT*
 - * 1º segmento é usado;
 - * Mas na próxima alocação inicia busca do ponto que parou anteriormente;
 - * SIMULAÇÕES: desempenho ligeiramente inferior;

Gerenciamento de Memória

– *BEST FIT*

- * Procura na lista toda e aloca o espaço que mais convém;
- * Menor fragmentação;
- * Mais lento;

– *WORST FIT*

- * Aloca o maior espaço disponível;

– *QUICK FIT*

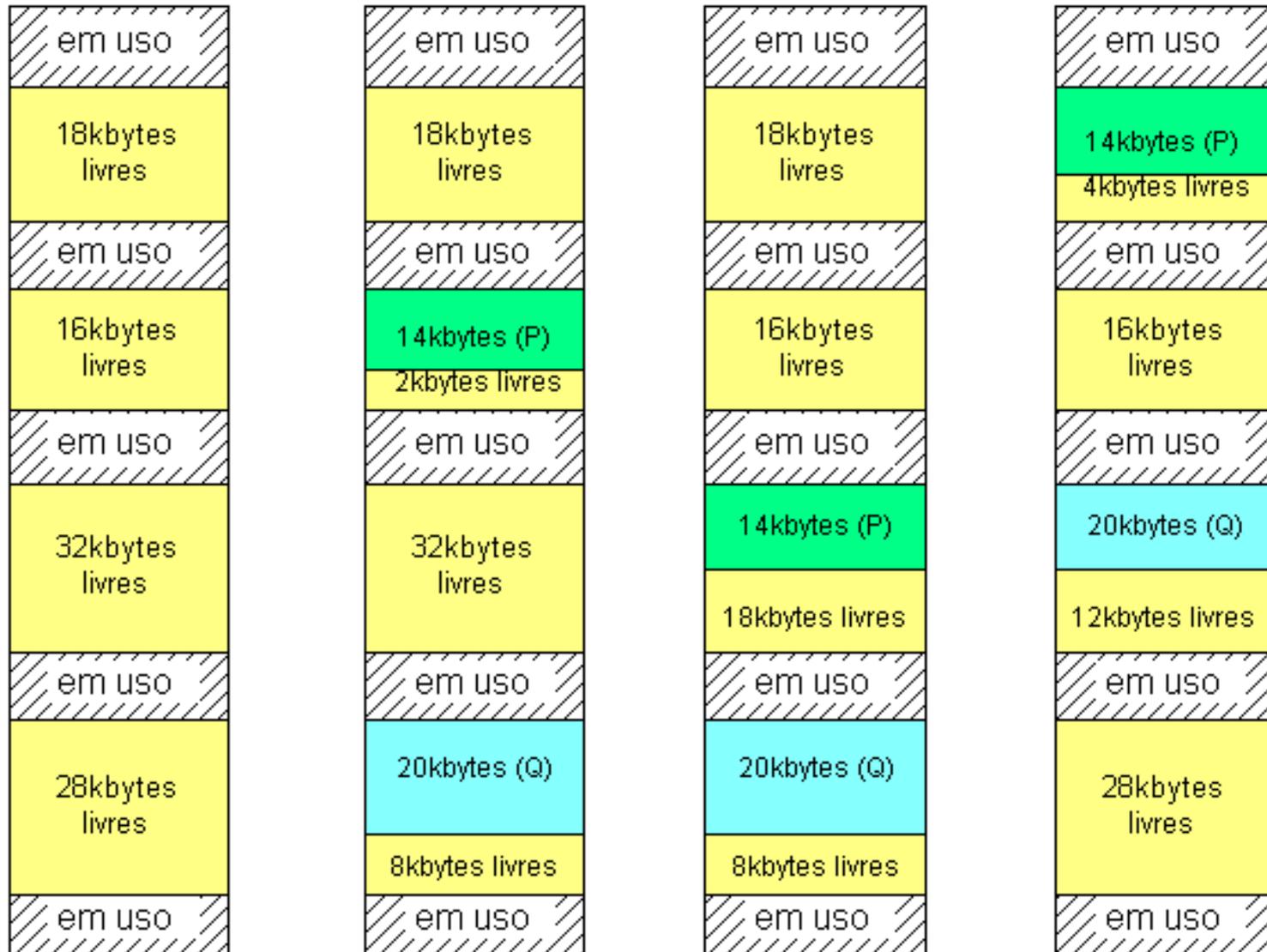
- * Mantém listas separadas para os espaços mais requisitados;
- * Pode criar uma lista separada para espaços livres de 4KB, 8KB, 12KB
- * Espaços livres de 21KB podem estar na lista de 20KB

Gerenciamento de Memória

- * Cada algoritmo pode manter listas separadas para processos e para espaços livres:
 - Vantagem:
 - * Aumenta desempenho;
 - Desvantagens:
 - * Aumenta complexidade quando espaço de memória é liberado – gerenciamento das listas;
 - * Fragmentação;

Gerenciamento de Memória

Alocação de segmentos livres



Áreas livres iniciais

Melhor Escolha

Pior Escolha

Primeira Escolha

Gerenciamento de Memória

Alocação de segmentos livres

I Principais Conseqüências

! **A melhor escolha:** deixa o menor resto, porém após um longo processamento poderá deixar “buracos” muito pequenos para serem úteis.

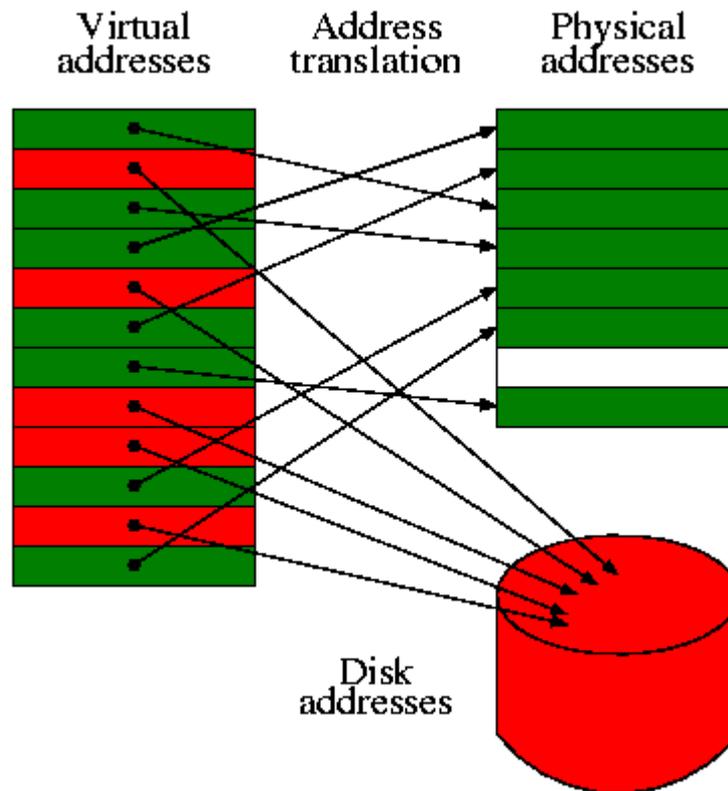
! **A pior escolha:** deixa o maior espaço após cada alocação, mas tende a espalhar as porções não utilizadas sobre áreas não contínuas de memória e, portanto, pode tornar difícil alocar grandes jobs.

! **A primeira escolha:** tende a ser um meio termo entre a melhor e a pior escolha, com a característica adicional de fazer com que os espaços vazios migrem para o final da memória.

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual (MV)

O que é memória virtual?



Gerenciamento de Memória

Memória Virtual (MV)

- ★ Programas maiores que a memória eram divididos em pedaços menores chamados *overlays*;
 - Programador define áreas de *overlay*;
 - Vantagem: expansão da memória principal;
 - Desvantagem: custo muito alto;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual (MV)

- ★ Sistema operacional é responsável por dividir o programa em *overlays*;
- ★ Sistema operacional realiza o chaveamento desses pedaços entre a memória principal e o disco;
- ★ Década de 60: ATLAS → primeiro sistema com MV (Universidade Manchester - Reino Unido);
- ★ 1972: sistema comercial: IBM System/370;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual (MV)

- ★ Com MV existe a sensação de se ter mais memória principal do que realmente se tem;
- ★ O *hardware* muitas vezes implementa funções da gerência de memória virtual:
 - SO deve considerar características da arquitetura;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

- ★ Espaço de Endereçamento Virtual de um processo é formado por todos os endereços virtuais que esse processo pode gerar;
- ★ Espaço de Endereçamento Físico de um processo é formado por todos os endereços físicos/reaís aceitos pela memória principal (RAM);

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

- ★ Um processo em Memória Virtual faz referência a endereços virtuais e não a endereço reais de memória RAM;
- ★ No momento da execução de uma instrução, o endereço virtual é traduzido para um endereço real, pois a CPU manipula apenas endereços reais da memória RAM → MAPEAMENTO;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

* Técnicas de MV:

– Paginação:

- * Blocos de tamanho fixo chamados de **páginas**;
- * SO mantém uma fila de todas as páginas;
- * Endereços Virtuais formam o espaço de endereçamento virtual;
- * O espaço de endereçamento virtual é dividido em páginas virtuais;
- * Mapeamento entre endereços reais e virtuais (MMU);

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

- ★ Técnicas de MV:
 - Segmentação:
 - ★ Blocos de tamanho arbitrário chamados **segmentos**;
- ★ Arquitetura (hardware) tem que possibilitar a implementação tanto da paginação quanto da segmentação;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - *Swapping*

- ★ *Swapping*: chaveamento de processos inteiros entre a memória principal e o disco;
 - *Swap-out*;
 - *Swap-in*;
 - Pode ser utilizado tanto com partições fixas quanto com partições variáveis;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- ★ Memória Principal e Memória Secundária são organizadas em páginas de mesmo tamanho;
- ★ Página é a unidade básica para transferência de informação;
- ★ Tabela de páginas: responsável por armazenar informações sobre as páginas virtuais:
 - argumento de entrada → número da página virtual;
 - argumento de saída (resultado) → número da página real (ou moldura de página - *page frame*);

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

* Exemplo:

- Páginas de 4Kb
 - * 4096 bytes/endereços (0-4095);
- 64Kb de espaço virtual;
- 32Kb de espaço real;
- Temos:
 - * 16 páginas virtuais;
 - * 8 páginas reais;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

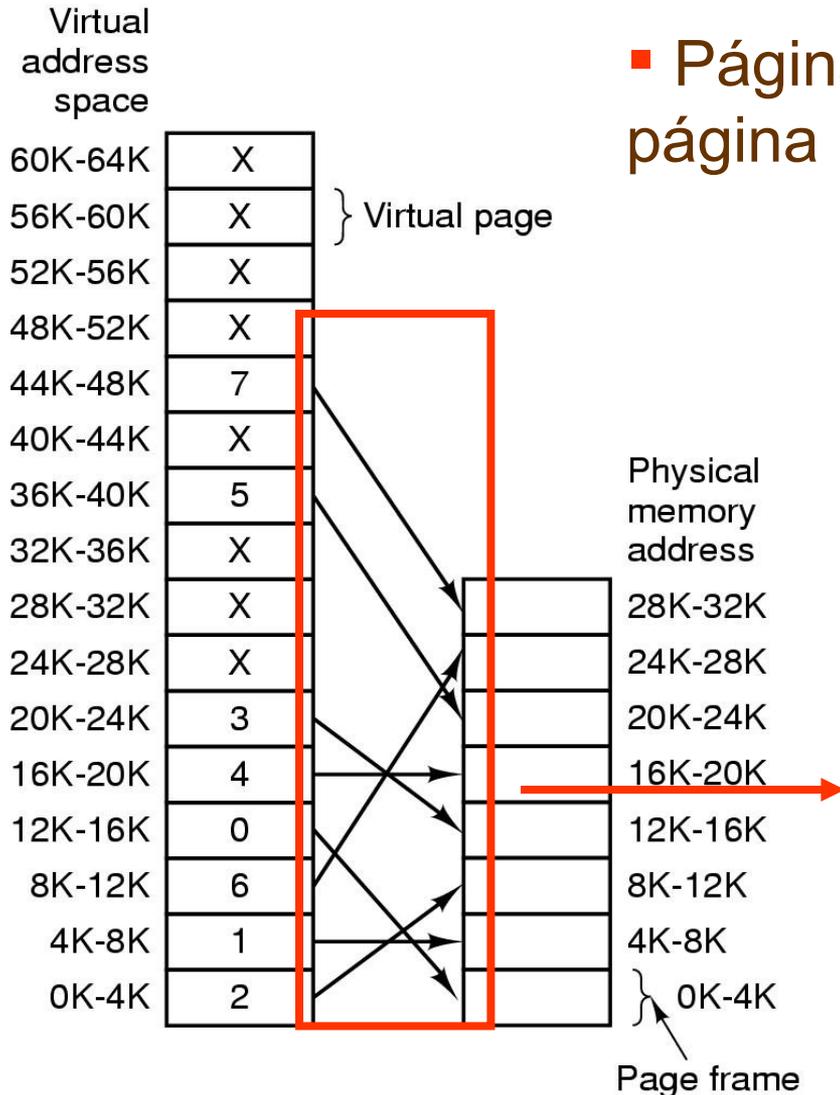
* Problemas:

- Fragmentação interna;
- Definição do tamanho das páginas;
 - * Geralmente a MMU que define e não o SO;
 - * Páginas maiores: leitura mais eficiente, tabela menor, mas maior fragmentação interna;
 - * Páginas menores: leitura menos eficiente, tabela maior, mas menor fragmentação interna;
 - * Sugestão: 1k a 8k;
- * Mapa de bits ou uma lista encadeada com as páginas livres;

Gerenciamento de Memória

Endereço Virtual → Endereço Real

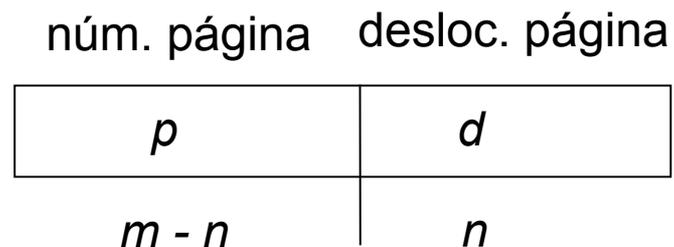
- Página virtual mapeada para página real;



- MMU realiza o mapeamento

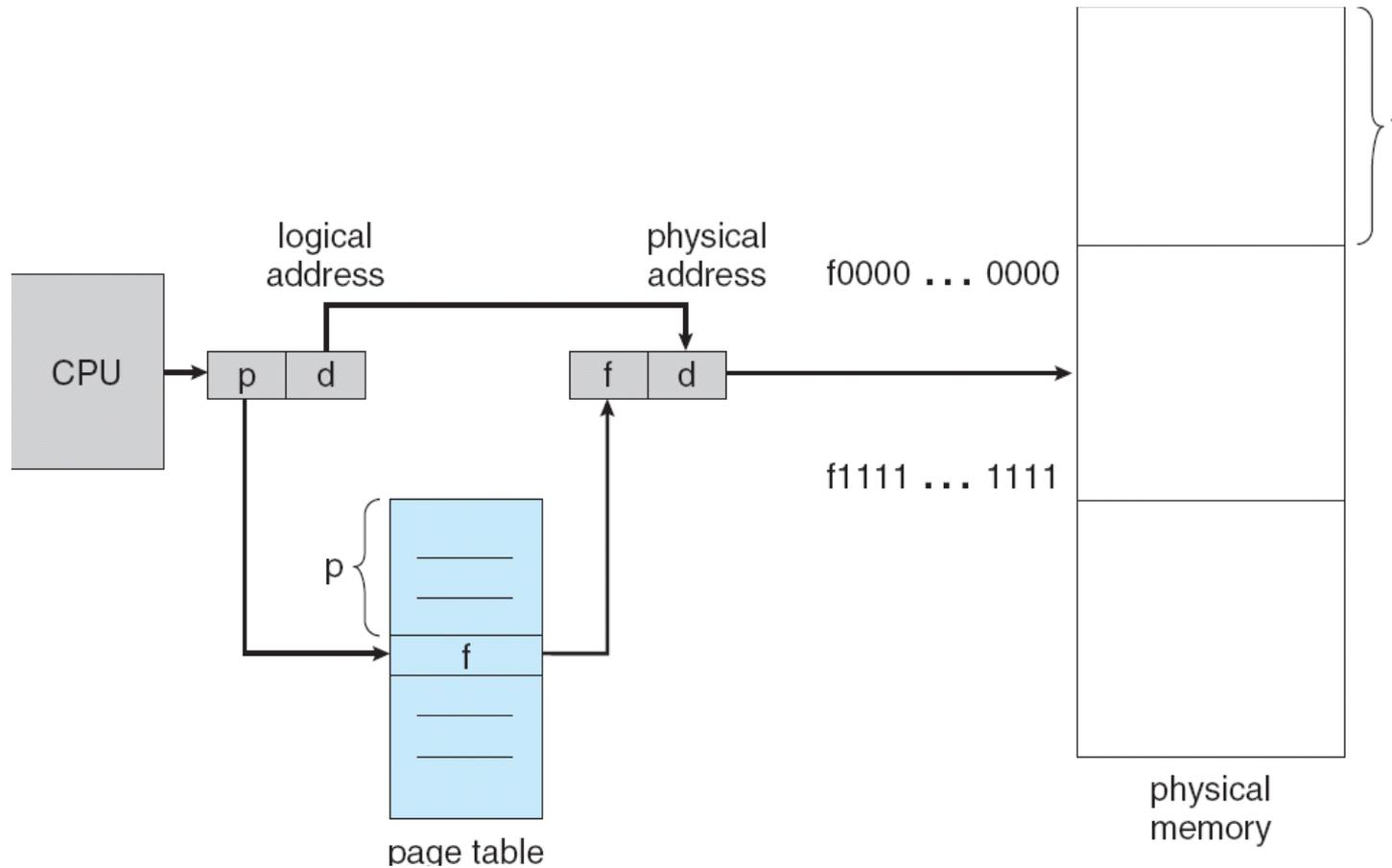
Esquema de tradução de endereço

- * O endereço gerado pela CPU é dividido em:
 - **Número de página (p)** – usado como um índice para uma *tabela de página* que contém endereço de base de cada página na memória física
 - **Deslocamento de página (d)** – combinado com endereço de base para definir o endereço de memória física que é enviado à unidade de memória

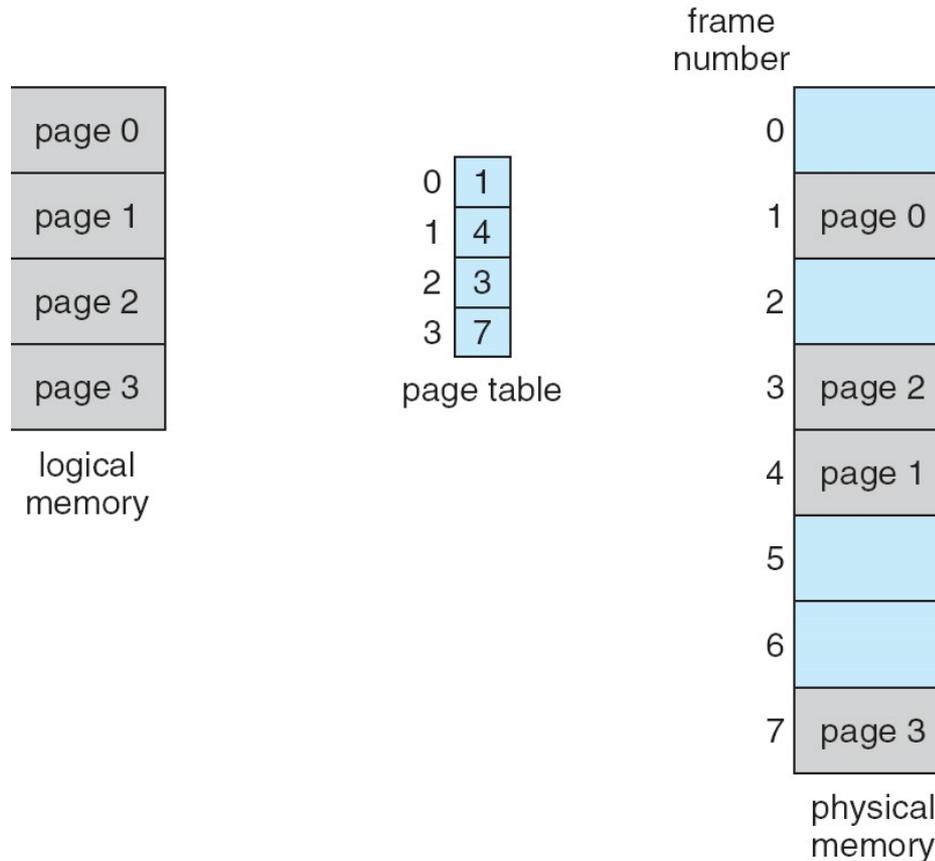


- Para determinado espaço de endereço lógico 2^m e tamanho de página 2^n

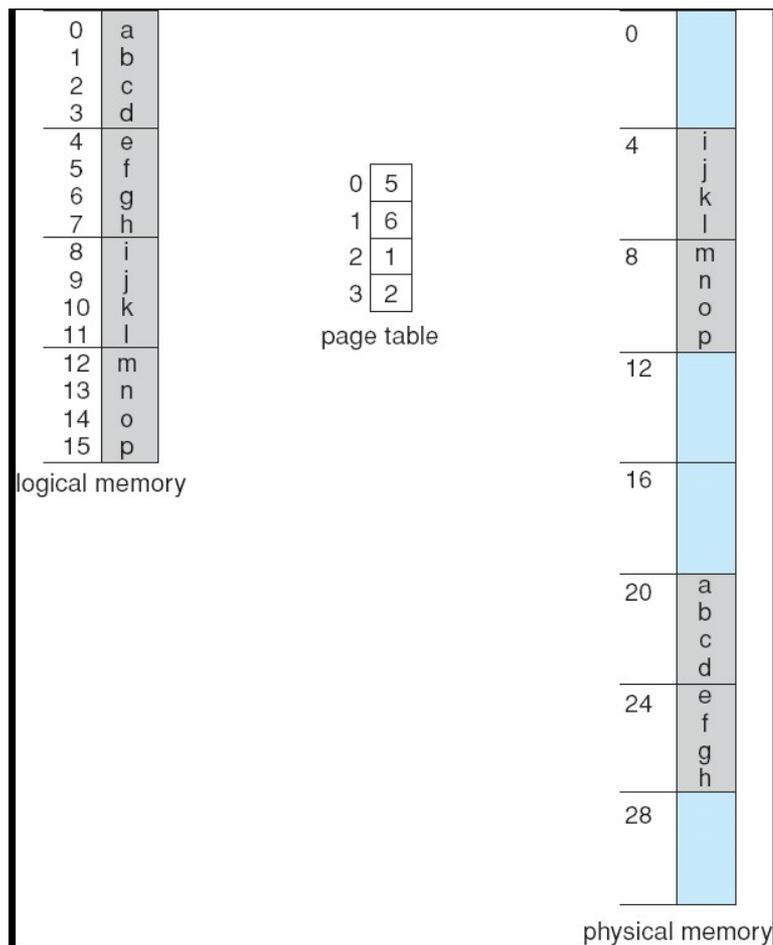
Hardware de paginação



Modelo de paginação da memória lógica e física



Exemplo de paginação



memória de 32 bytes e páginas de 4 bytes

Implementação da tabela de página

- * A tabela de página é mantida na memória principal
- * **Registrador de base da tabela de página (PTBR)** aponta para a tabela de página
- * **Registrador de tamanho da tabela de página (PRLR)** indica tamanho da tabela de página
- * Nesse esquema, cada acesso de dado/instrução exige dois acessos à memória: um para a tabela de página e um para o dado/instrução.
- * O problema dos dois acessos à memória pode ser solucionado pelo uso de um cache de hardware especial para pesquisa rápida, chamado **memória associativa** ou **translation look-aside buffers (TLBs)**
- * Alguns TLBs armazenam **identificadores de espaço de endereço (ASIDs)** em cada entrada de TLB – identifica exclusivamente cada processo para fornecer proteção do espaço de endereço para esse processo

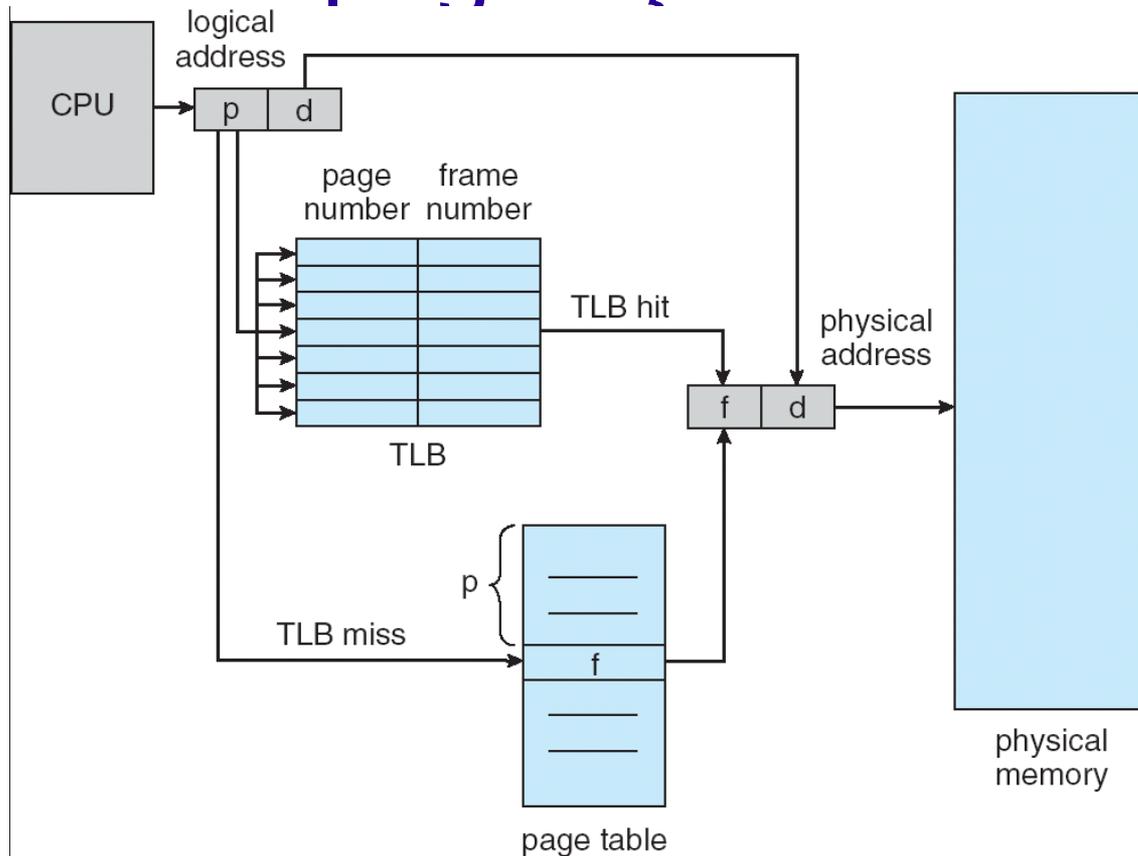
TLB ou Memória associativa

- * Memória associativa – busca paralela

Pág. #	Quadro #

- * TLBs e loops;
- * Tradução de endereço (p, d)
 - Se p está no registrador associativo, retira quadro #
 - Caso contrário, coloca quadro # da tabela de página para a memória associativa

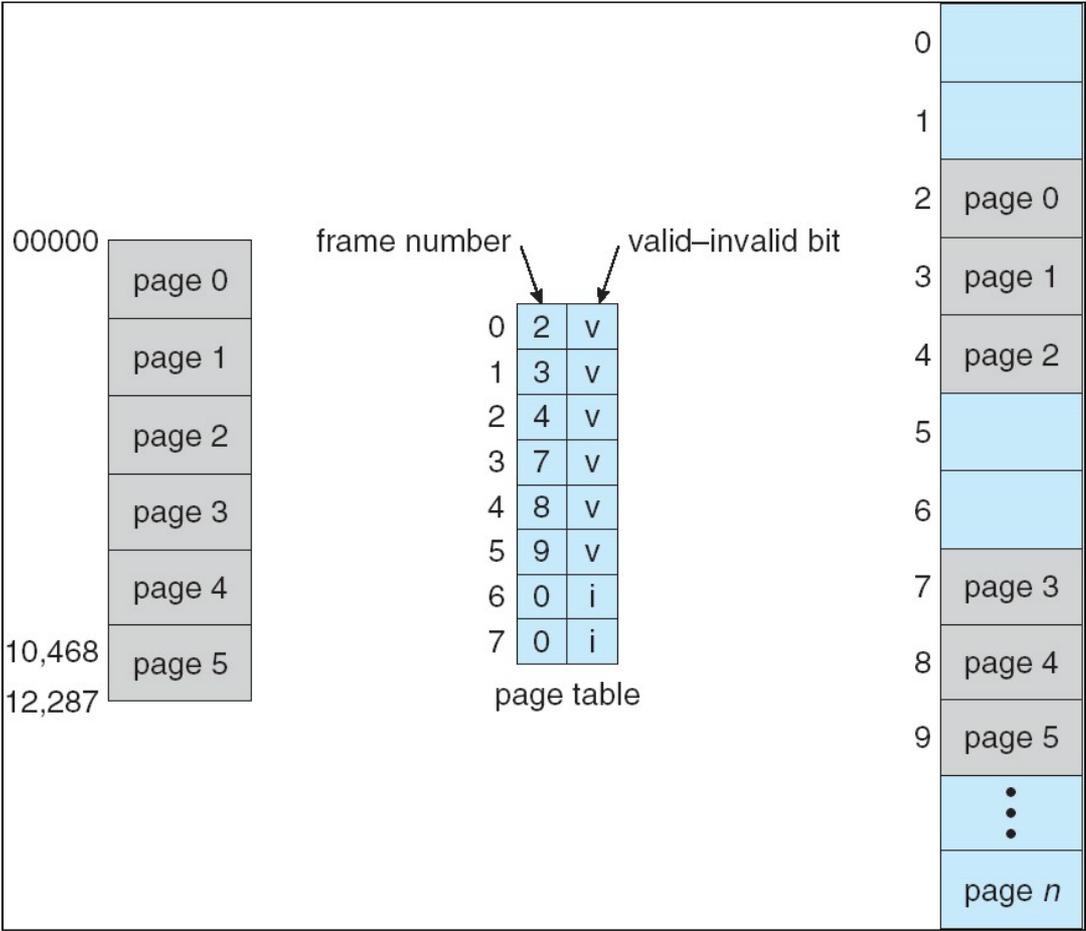
Hardware de paginação com TLB



Proteção de memória

- ★ Proteção de memória implementada associando-se o bit de proteção a cada quadro
- ★ Bit de **válido-inválido** anexado a cada entrada na tabela de página:
 - “válido” indica que a página associada está no espaço de endereço lógico do processo, e por isso é uma página válida
 - “inválido” indica que a página não está no espaço de endereço lógico do processo

Bit de válido (v) ou inválido (i) em uma tabela de página



Páginas compartilhadas

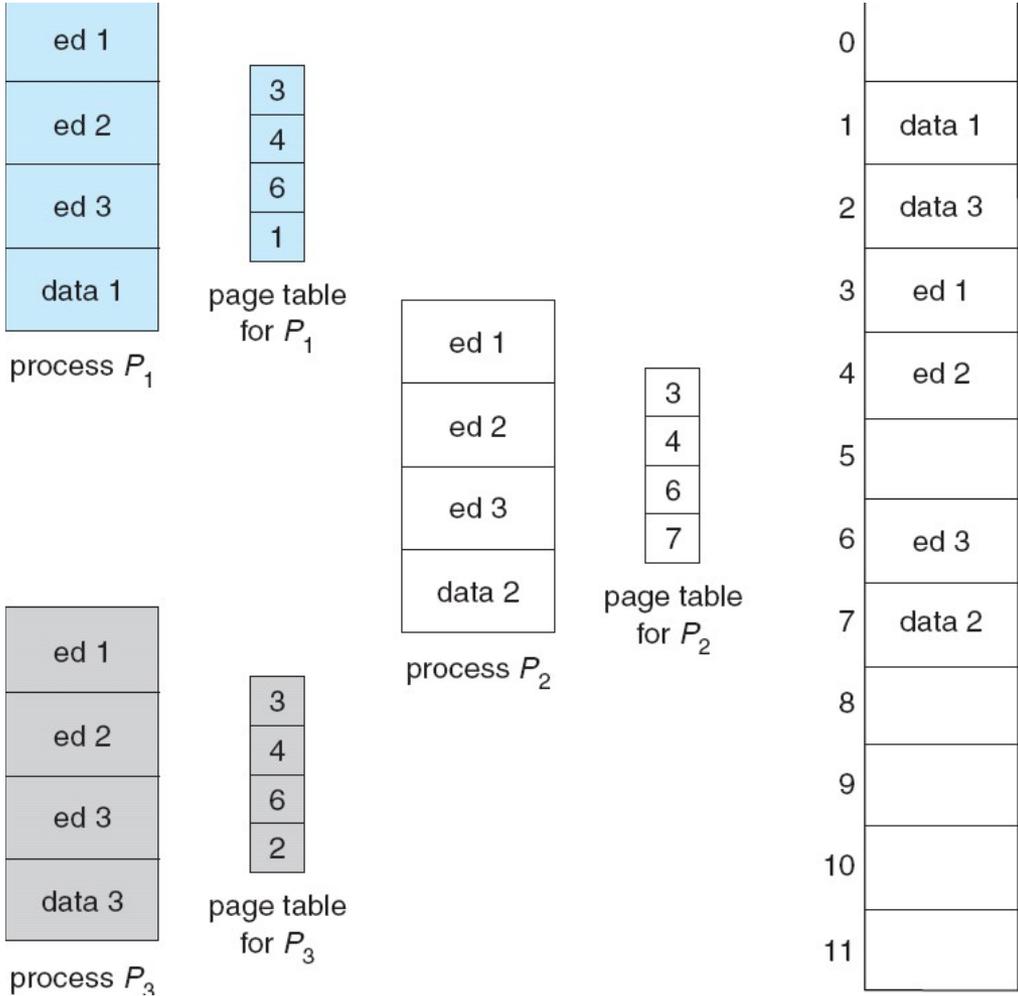
★ Código compartilhado

- Uma cópia de código somente de leitura (reentrante) compartilhado entre processos (por exemplo, editores de texto, compiladores, sistemas de janela).
- Código compartilhado deve aparecer no mesmo local no espaço de endereço lógico de todos os processos.

★ Código e dados privados

- Cada processo mantém uma cópia separada do código e dados
- As páginas para o código e dados privados podem aparecer em qualquer lugar no espaço de endereço lógico

Exemplo de páginas compartilhadas



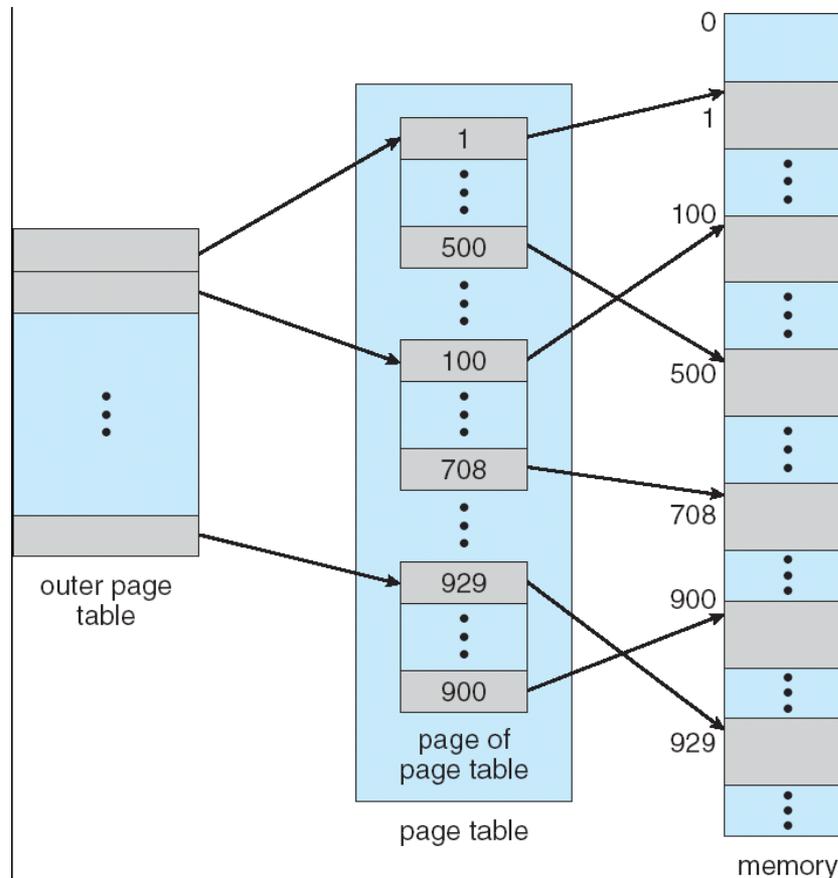
Estrutura da tabela de página

- ★ Como a tabela de páginas é organizada?
 - Paginação hierárquica
 - Tabelas de página com hash
 - Tabelas de página invertidas

Tabelas de página hierárquicas

- ★ Quebre o espaço de endereço lógico em múltiplas tabelas de página
- ★ Uma técnica simples é uma tabela de página em dois níveis

Esquema de tabela de página em dois níveis



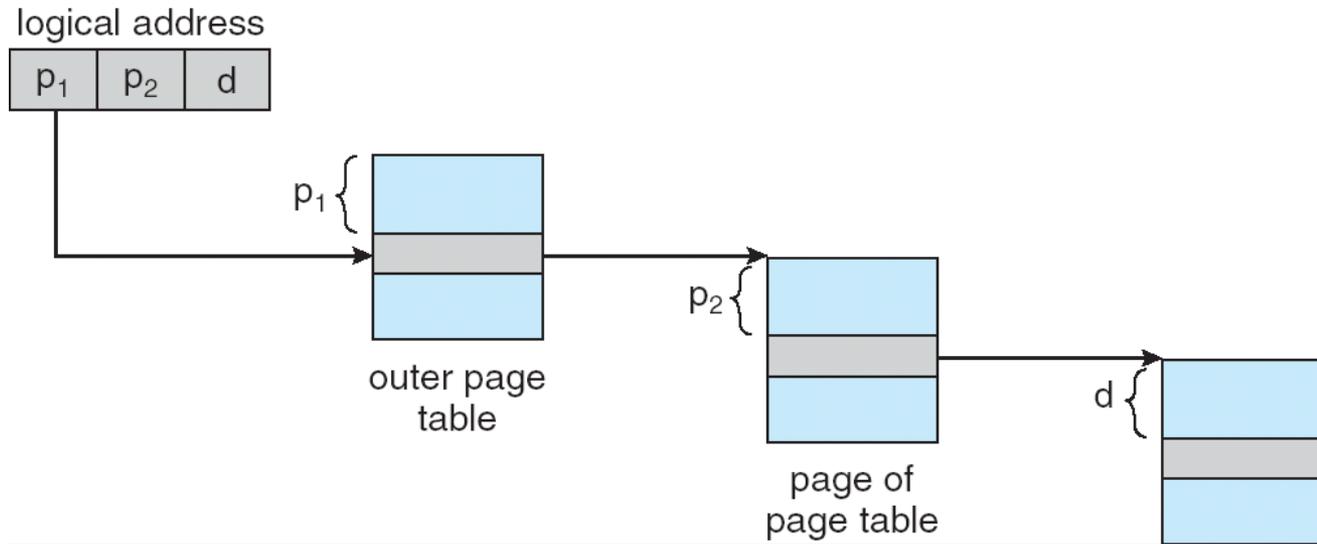
Exemplo de paginação em dois níveis

- * Um endereço lógico (em máquinas de 32 bits com tamanho de página de 1K) é dividido em:
 - um número de página contendo 22 bits
 - um deslocamento de página contendo 10 bits
- * Como a tabela de página é paginada, o número de página é dividido ainda em:
 - um número de página de 12 bits
 - um deslocamento de página de 10 bits
- * Assim, um endereço lógico é o seguinte:

núm. página		desloc. página
p_i	p_2	d
12	10	10

onde p_i é um índice para a tabela de página mais externa, e p_2 é o deslocamento da página dentro da tabela de página mais externa

Esquema de tradução de endereço



Esquema de paginação de três níveis

outer page	inner page	offset
p_1	p_2	d
42	10	12

2nd outer page	outer page	inner page	offset
p_1	p_2	p_3	d
32	10	10	12

Tabelas de página em hash

- * Comuns em espaços de endereço > 32 bits
- * O número de página virtual é dividido em uma tabela de página. Essa tabela de página consiste em uma cadeia de elementos que se traduzem para o mesmo local.
- * Números de página virtual são comparados nessa cadeia buscando uma combinação. Se uma combinação for achada, o quadro físico correspondente é extraído.

Tabela de página em hash

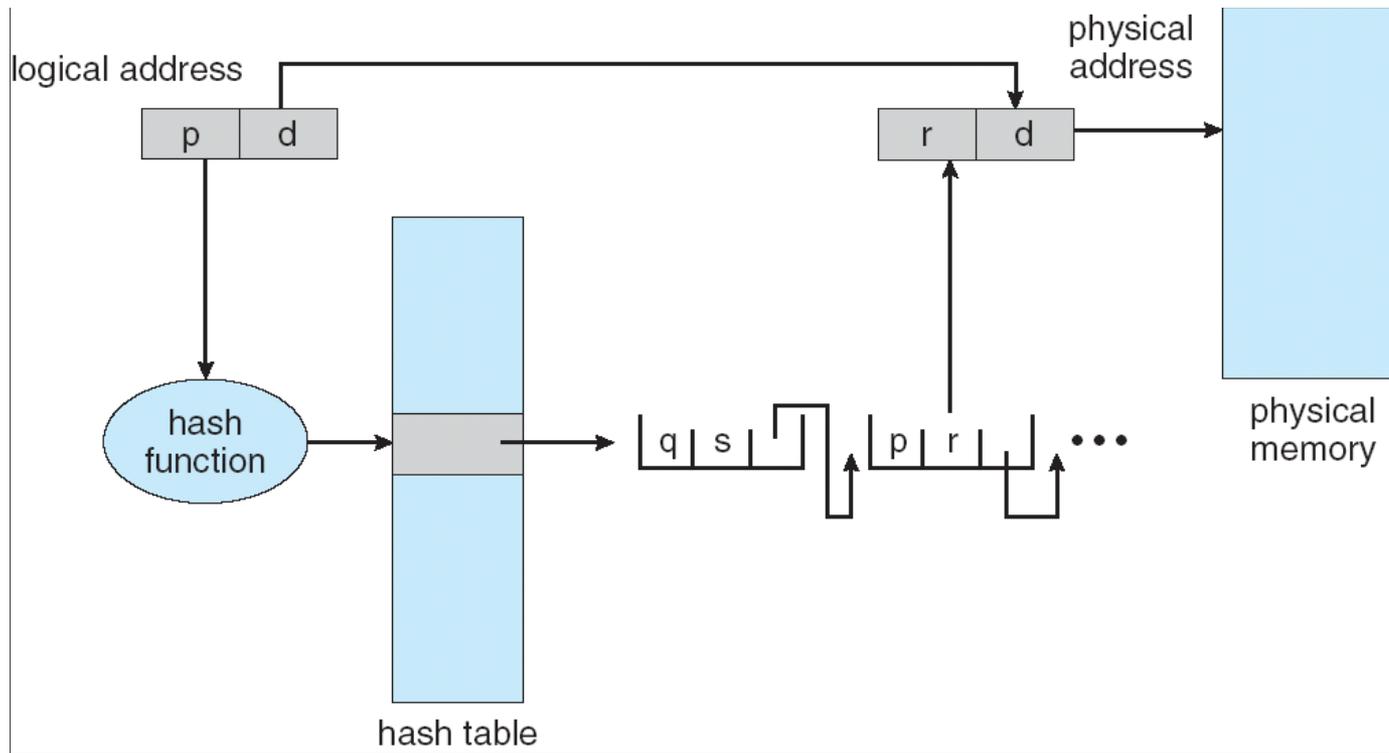
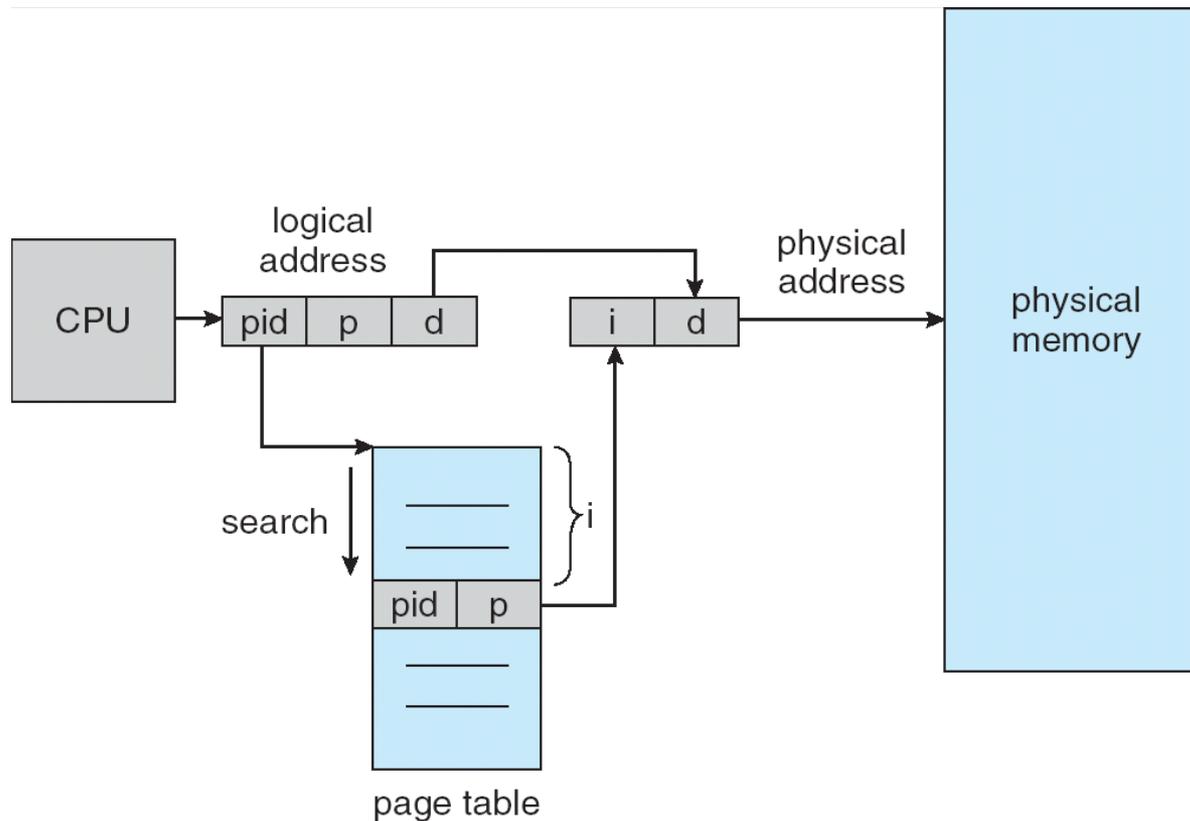


Tabela de página invertida

- ★ Uma entrada para cada página real de memória
- ★ Entrada consiste no endereço virtual da página armazenado nesse local da memória real, com informações sobre o processo que possui essa página
- ★ Diminui a memória necessária para armazenar cada tabela de página, mas aumenta o tempo necessário para pesquisar a tabela quando ocorre uma referência de página
- ★ Use tabela de hash para limitar a busca a uma ou, no máximo, algumas entradas de tabela de página

Arquitetura de tabela de página invertida

- Tabela ordenada pela memória física
- pid é o número do processo



Gerenciamento de Memória

Tabela de Páginas Invertida

- ★ Geralmente, cada processo tem uma tabela de páginas associada a ele → classificação feita pelo endereço virtual;
 - Pode consumir grande quantidade de memória;
- ★ Alternativa: tabela de páginas invertida;
 - SO mantém uma única tabela para as molduras de páginas da memória;
 - Cada entrada consiste no endereço virtual da página armazenada naquela página real, com informações sobre o processo dono da página virtual;
 - Exemplos de sistemas: IBM System/38, IBM RISC System 6000, IBM RT e estações HP Spectrum;

Gerenciamento de Memória

Tabela de Páginas Invertida

- * Quando uma referência de memória é realizada (página virtual), a tabela de páginas invertida é pesquisada para encontrar a moldura de página correspondente;
 - Se encontra, o endereço físico é gerado $\rightarrow \langle i, \text{deslocamento} \rangle$;

Gerenciamento de Memória

Tabela de Páginas Invertida

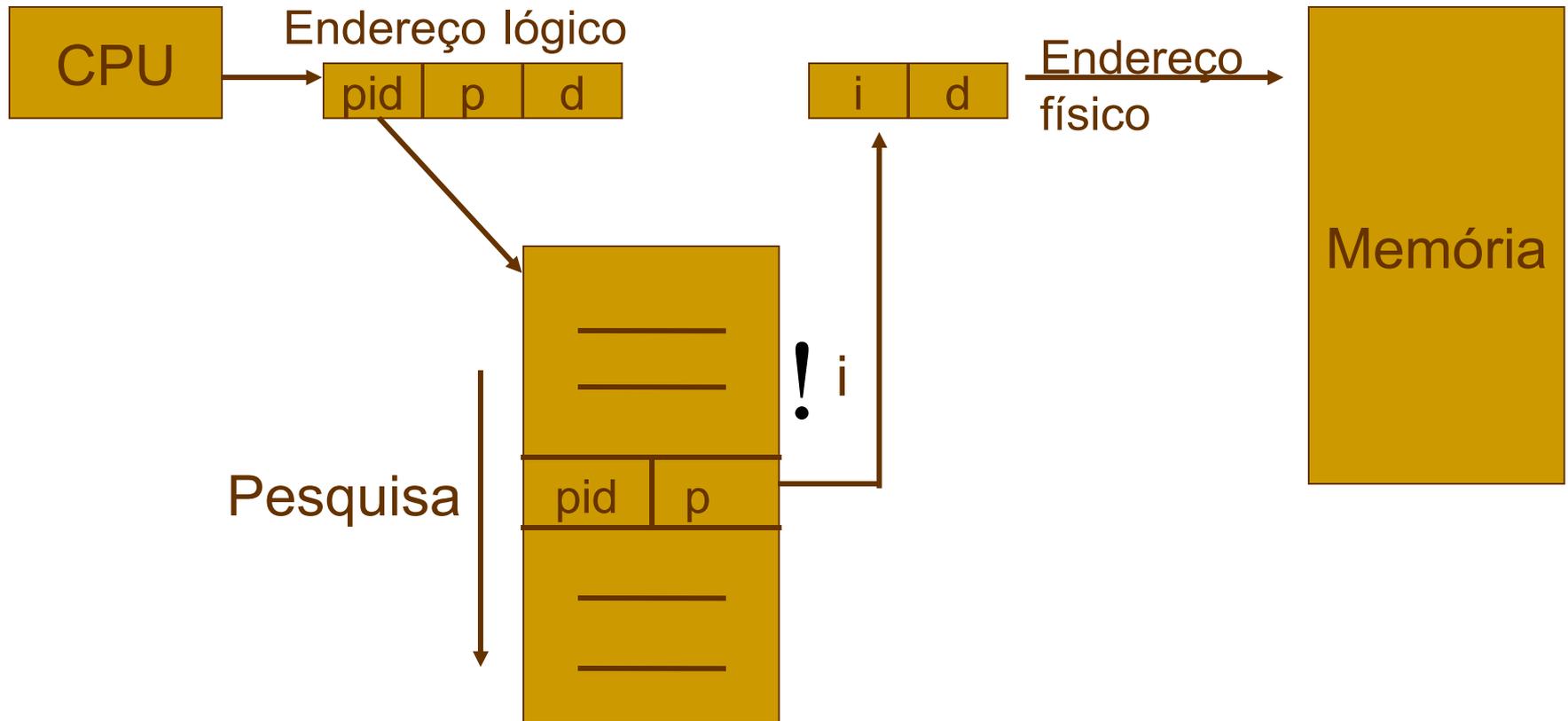


Tabela de páginas invertida

Endereço lógico: <id processo (pid), número página (p), deslocamento (d)>

Gerenciamento de Memória

Tabela de Páginas Invertida

* Vantagens:

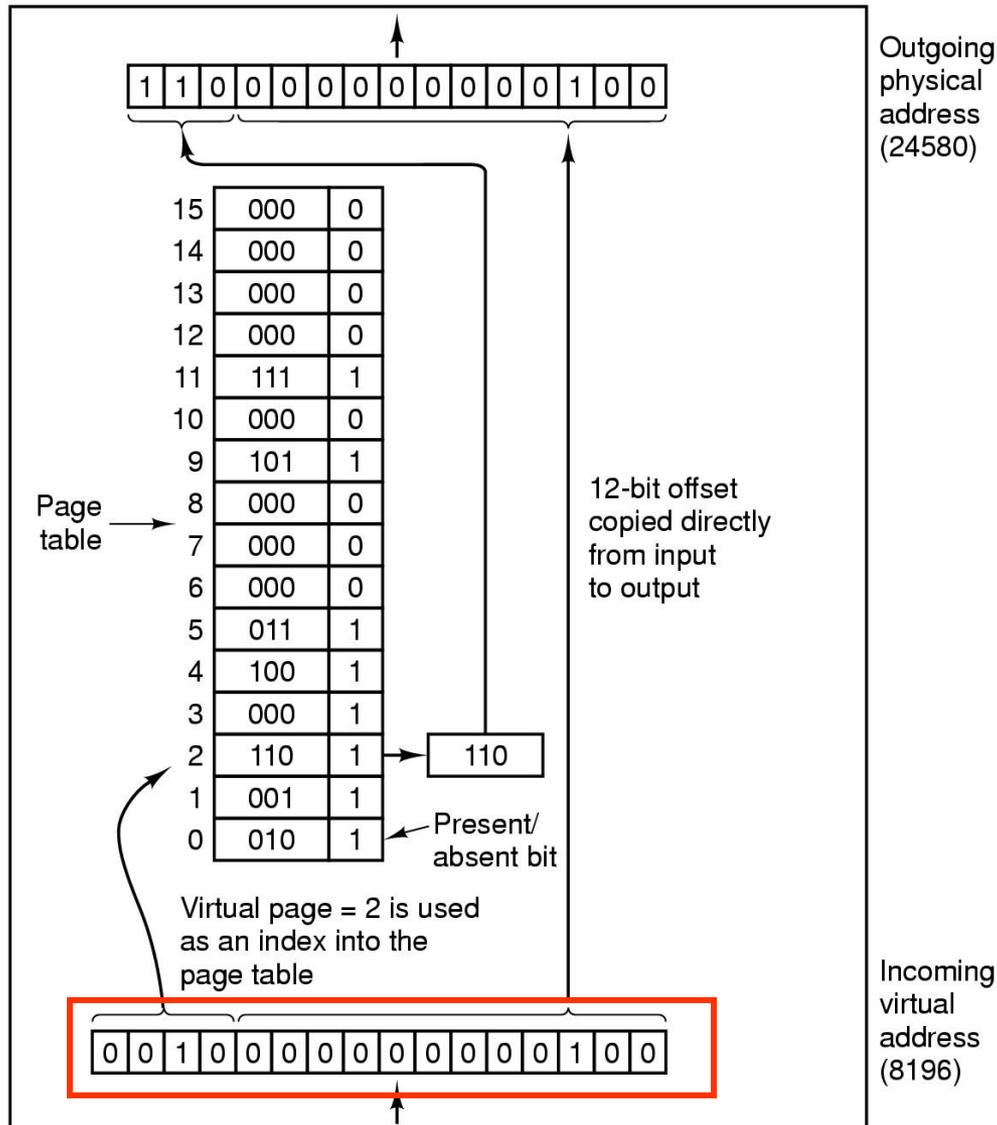
- Ocupa menos espaço;
- É mais fácil de gerenciar apenas uma tabela;

* Desvantagens:

- Aumenta tempo de pesquisa na tabela, pois, apesar de ser **classificada por endereços físicos**, é **pesquisada por endereços lógicos**;
- Aliviar o problema: tabela de *hashing*;
 - * Uso da TLB (memória associativa) para manter entradas recentemente utilizadas;

Gerenciamento de Memória

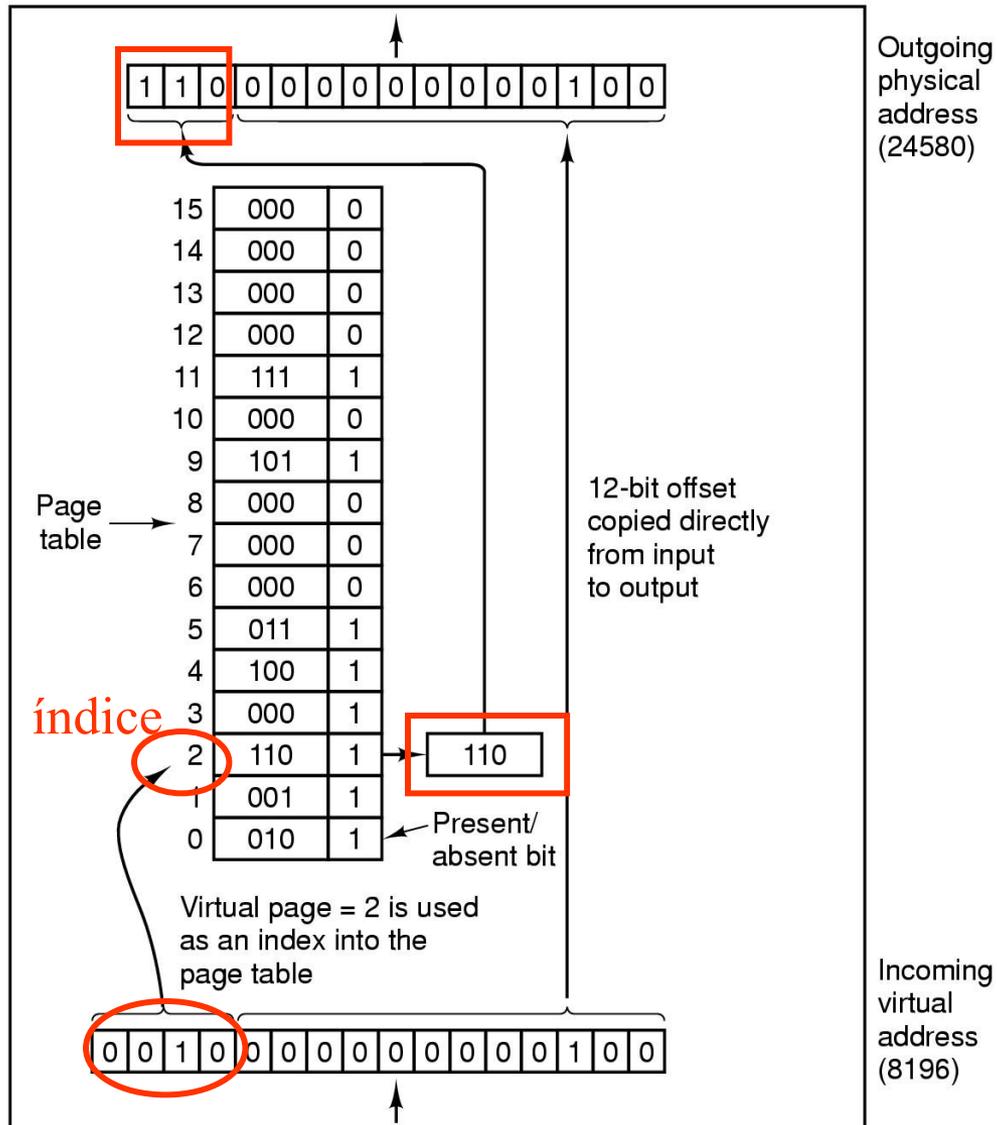
Mapeamento da MMU



- Operação interna de uma MMU com 16 páginas de 4Kb;
- Endereço virtual de **16 bits**: 4 bits para n° de páginas e 12 para deslocamento;
- Com 4 bits é possível ter 16 páginas virtuais (2^4);
- 12 bits para deslocamento é possível endereçar os 4096 bytes;

Gerenciamento de Memória

Mapeamento da MMU



- Número da página virtual é usado como índice;
- Se página está na memória RAM, então o n^o da página real (110) é copiado para os três bits mais significativos do endereço de saída (real), juntamente com o deslocamento sem alteração;
- Endereço real com 15 bits é enviado à memória;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



**Identifica a página real;
Campo mais importante;**

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



Bit de Residência:

Se valor igual 1, então entrada válida para uso;

Se valor igual 0, então entrada inválida, pois

página virtual correspondente não está na memória;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



Bits de Proteção:

Indicam tipos de acessos permitidos:

1 bit → 0 – leitura/escrita

1 – leitura

3 bits → 0 – Leitura

1 – Escrita

2 - Execução

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



Bit de Modificação (Bit M):

Controla o uso da página;

Se valor igual a 1, página foi escrita;

página é copiada para o disco

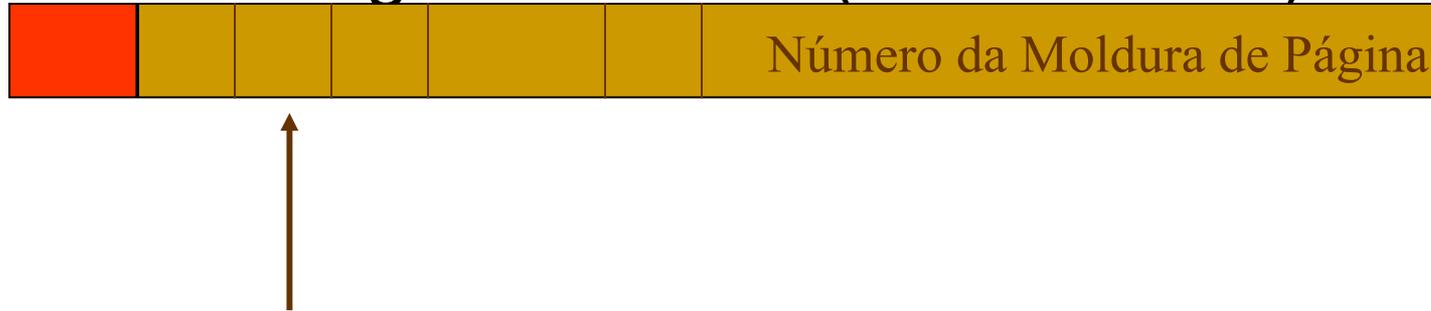
Se valor igual a 0, página não foi modificada;

página não é copiada para o disco;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



Bit de Referência (Bit R):

Controla o uso da página;

Auxilia o SO na escolha da página que deve deixar a MP (RAM);

Se valor igual a 1, página foi referenciada (leitura/escrita);

Se valor igual a 0, página não referenciada;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- * Tabela de Páginas: 32 bits (mais comum)



Bit de Cache:

Necessário quando os dispositivos de entrada/saída são mapeados na memória e não em um endereçamento específico de E/S;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- ★ A Tabela de páginas pode ser armazenada de três diferentes maneiras:
 - Registradores, se a memória for pequena;
 - Na própria memória RAM → MMU gerencia utilizando dois registradores:
 - ★ Registrador Base da tabela de páginas (PTBR – *page table base register*): indica o endereço físico de memória onde a tabela está alocada;
 - ★ Registrador Limite da tabela de páginas (PTLR – *page table limit register*): indica o número de entradas da tabela (número de páginas);
 - ★ Dois acessos à memória (um para a tabela e outra para a RAM);

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Paginação

- Em uma memória *cache* na MMU chamada Memória Associativa (TLB);
 - * Também conhecida como TLB (*Translation Lookaside Buffer* - *buffer* de tradução dinâmica);
 - * Hardware especial para mapear endereços virtuais para endereços reais sem ter que passar pela tabela de páginas na memória principal;
 - * Funciona como a cache das páginas virtuais (páginas mais acessadas)

Até 32/64 e não mais do que 256 entradas

<i>Bit R</i>	Página Virtual	<i>Bit M</i>	<i>Bits de Proteção</i>	Página Física
1	140	1	RW	31
1	20	0	R X	38
1	130	1	RW	29
1	129	1	RW	62
1	19	0	R X	50
1	21	0	R X	45
1	860	1	RW	14
1	861	1	RW	75

Gerenciamento de Memória

Alocação de Páginas

- ★ Quantas páginas reais serão alocadas a um processo;
- ★ Duas estratégias:
 - Alocação fixa ou estática: cada processo tem um número máximo de páginas reais, definido quando o processo é criado;
 - O limite pode ser igual para todos os processos;
 - Vantagem: simplicidade;
 - Desvantagens: (i) número muito pequeno de páginas reais pode causar muita paginação; (ii) número muito grande de páginas reais causa desperdício de memória principal;

Gerenciamento de Memória

Alocação de Páginas

- Alocação variável ou dinâmica: número máximo de páginas reais alocadas ao processo varia durante sua execução;
 - Vantagens:
 - processos com elevada taxa de paginação podem ter seu limite de páginas reais ampliado;
 - processos com baixa taxa de paginação podem ter seu limite de páginas reais reduzido;
 - Desvantagem: monitoramento constante;

Gerenciamento de Memória

Busca de Página

* Paginação simples:

- Todas as páginas virtuais do processo são carregadas para a memória principal;
- Assim, sempre todas as páginas são válidas;

* Paginação por demanda (*Demand Paging*):

- Apenas as páginas efetivamente acessadas pelo processo são carregadas na memória principal;
- Quais páginas virtuais foram carregadas → Bit de controle (bit de residência);
- Página inválida;

Gerenciamento de Memória

Busca de Página

- * Página inválida: MMU gera uma interrupção de proteção e aciona o sistema operacional;
 - Se a página está fora do espaço de endereçamento do processo, o processo é abortado;
 - Se a página ainda não foi carregada na memória principal, ocorre uma **falta de página** (*page fault*);

Gerenciamento de Memória

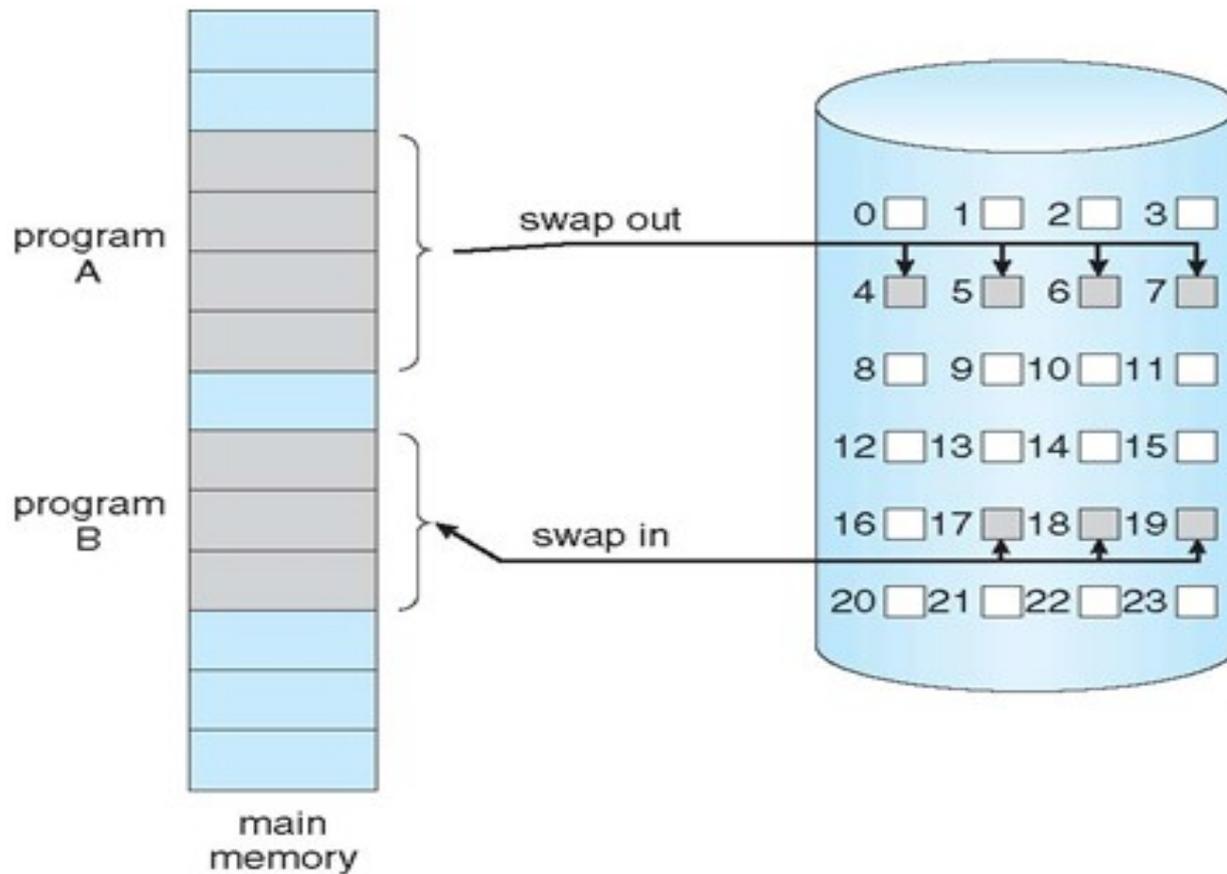
Busca de Página

* Falta de Página:

- Processo é suspenso e seu descritor é inserido em uma **fila especial** – fila dos processos esperando uma página virtual;
- Uma página real livre deve ser alocada;
- A página virtual acessada deve ser localizada no disco;
- Operação de leitura de disco, indicando o endereço da página virtual no disco e o endereço da página real alocada;

Gerenciamento de Memória

Busca de Página



Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

- ★ Política de Substituição Local: páginas dos próprios processos são utilizadas na troca;
 - Dificuldade: definir quantas páginas cada processo pode utilizar;
- ★ Política de Substituição Global: páginas de todos os processos são utilizadas na troca;
 - Problema: processos com menor prioridade podem ter um número muito reduzido de páginas, e com isso, acontecem muitas faltas de páginas;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

	Age
A0	10
A1	7
A2	5
A3	4
A4	6
A5	3
B0	9
B1	4
B2	6
B3	2
B4	5
B5	6
B6	12
C1	3
C2	5
C3	6

(a)

A0
A1
A2
A3
A4
A6
B0
B1
B2
B3
B4
B5
B6
C1
C2
C3

(b)

A0
A1
A2
A3
A4
A5
B0
B1
B2
A6
B4
B5
B6
C1
C2
C3

(c)

- * a) Configuração inicial;
- * b) Alocação local;
- * c) Alocação global;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

- * Algoritmos de substituição local alocam uma fração fixa de memória para cada processo;
- * Algoritmos de substituição global alocam molduras de páginas entre os processos em execução
 - Resultado: há a variação do # de quadros de páginas no tempo por processo

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

Memória Virtual

0	A
1	B
2	C
3	D
4	E
5	F
6	G
7	H

Tabela de Páginas Simplificada

0		i
1		i
2	10	v
3	3	v
4		i
5		i
6	4	v
7		i

Página Virtual

Página Real

Memória Principal

0	
1	
2	
3	D
4	G
5	
6	
7	
8	
9	
10	C
11	
12	
13	
14	
15	

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

- ★ Se todas as páginas estiverem ocupadas, uma página deve ser retirada: página vítima;
- ★ Exemplo:
 - Dois processos P1 e P2, cada um com 4 páginas virtuais;
 - Memória principal com 6 páginas;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas (8 pág. vs. 6 frames)

Memória Virtual P1 Tabela de Páginas P1

0	A
1	B
2	C
3	D

Simplificada

0	1	v
1	5	v
2		i
3	0	v

Memória Principal

0	D
1	A
2	F
3	E
4	G
5	B

3 páginas de cada processo

Memória Virtual P2 Tabela de Páginas P2

0	E
1	F
2	G
3	H

Simplificada

0	3	v
1	2	v
2	4	v
3		i

→ P2 tenta acessar página 3! Falta de Página!

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas

Memória Virtual P1

0	A
1	B
2	C
3	D

Tabela de Páginas P1

Simplificada

0	1	v
1	5	v
2		i
3	0	v

Memória Principal

0	D
1	A
2	F
3	E
4	H
5	B

3 páginas de cada processo
JUSTIÇA

Memória Virtual P2

0	E
1	F
2	G
3	H

Tabela de Páginas P2

Simplificada

0	3	v
1	2	v
2		i
3	4	v

→ Página 2 (virtual) é escolhida como vítima!

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

★ Algoritmos:

- Ótimo;
- NRU;
- FIFO;
- Segunda Chance;
- Relógio;
- LRU;
- *Working set*;
- *WSClock*;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo Ótimo:

- Retira da memória a página que tem menos chance de ser referenciada;
 - * Praticamente impossível de se saber;
 - * Impraticável;
 - * Usado em simulações para comparação com outros algoritmos;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

- ★ Algoritmo *Not Recently Used Page Replacement* (NRU) → troca as páginas não utilizadas recentemente:
 - 02 bits associados a cada página → R e M
 - Classe 0 → não referenciada, não modificada;
 - Classe 1 → não referenciada, modificada (do tipo 3 que não foi referenciada porque o clock limpa periodicamente);
 - Classe 2 → referenciada, não modificada;
 - Classe 3 → referenciada, modificada;
 - R e M são atualizados a cada referência à memória;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

* NRU:

- Periodicamente, o bit R é limpo para diferenciar as páginas que não foram referenciadas recentemente;
 - * A cada *tick* do relógio ou interrupção de relógio;
 - * Classe 3 → Classe 1;
- Vantagens: fácil de entender, eficiente para implementar e fornece bom desempenho;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *First-in First-out Page Replacement* (FIFO)

- SO mantém uma lista das páginas correntes na memória;
 - * A página no início da lista é a mais antiga e a página no final da lista é a mais nova;
- Simples, mas pode ser ineficiente, pois uma página que está em uso constante pode ser retirada;

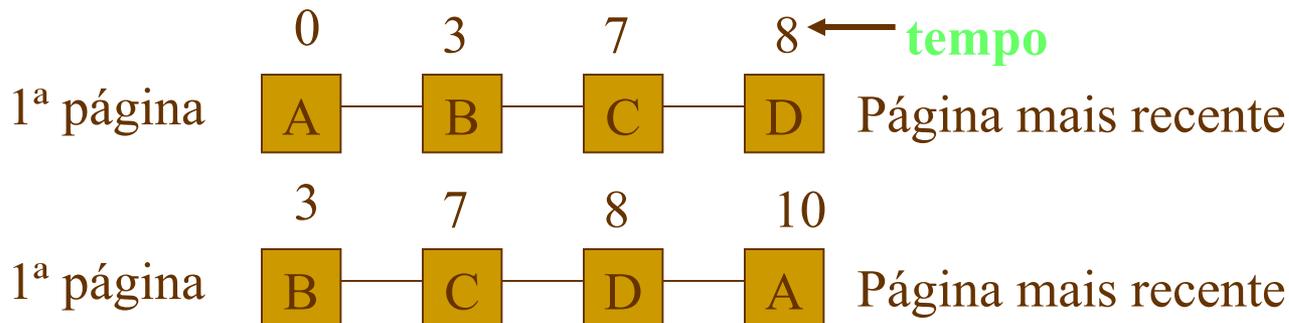
Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

★ Algoritmo da Segunda Chance

- FIFO + *bit* R;
- Página mais velha é candidata em potencial;

Se o bit $R=0$, então página é retirada da memória, senão, $R=1$

e se dá uma nova chance à página colocando-a no final da lista;



Se página A com $R=1$; e falta de página em tempo 10; Então $R=0$ e página A vai para final da lista;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

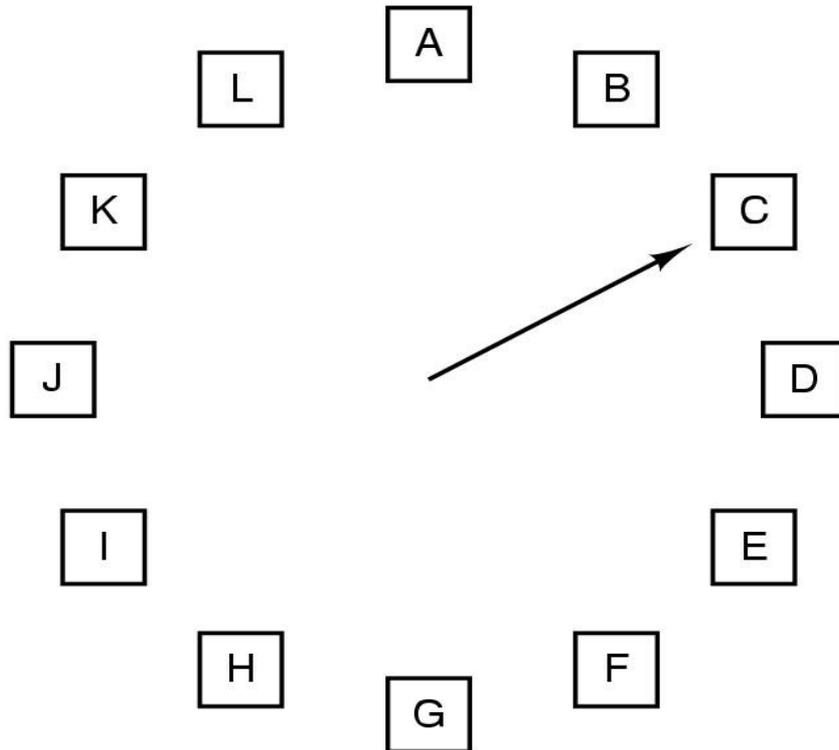
* Algoritmo do Relógio

- Lista circular com ponteiro apontando para a página mais antiga
- **Algoritmo se repete até encontrar $R=0$;**

Se $R=0$	Se $R=1$
<ul style="list-style-type: none">- troca de página- desloca o ponteiro	<ul style="list-style-type: none">- $R = 0$- desloca o ponteiro- continua busca

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo do Relógio



When a page fault occurs, the page the hand is pointing to is inspected. The action taken depends on the R bit:

R = 0: Evict the page

R = 1: Clear R and advance hand

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

- ★ Algoritmo *Least Recently Used Page Replacement* (LRU)
 - Troca a página menos referenciada/modificada recentemente;
 - Alto custo
 - ★ Lista encadeada com as páginas que estão na memória, com **as mais recentemente utilizadas no início e as menos utilizadas no final**;
 - ★ A lista deve ser atualizada a cada referência da memória;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

- ★ Algoritmo *Least Recently Used Page Replacement* (LRU)
 - Pode ser implementado tanto por hardware quanto por software:
 - ★ Hardware: MMU deve suportar a implementação LRU;
 - Contador em hardware (64 *bits*);
 - Tabela de páginas armazena o valor desse contador para **saber quantas vezes a página foi usada**;
 - ★ Software: duas maneiras
 - NFU (*Not frequently used*);
 - *Aging* (Envelhecimento);

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

★ Software: NFU

- Para cada página existe um contador iniciado com zero e incrementado a cada referência à página;
- Adiciona-se o valor do R (0 ou 1) ao contador
- Página com menor valor do contador é candidata a troca;
- O algoritmo jamais esquece nada
- Problema: pode retirar páginas que já foram referenciadas e que poderão ser mais referenciadas no futuro
- Compilador com vários passos:
 - Passo 1 pode levar a retirar aos dos passos seguintes cujos usos serão frequentes mais para frente

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

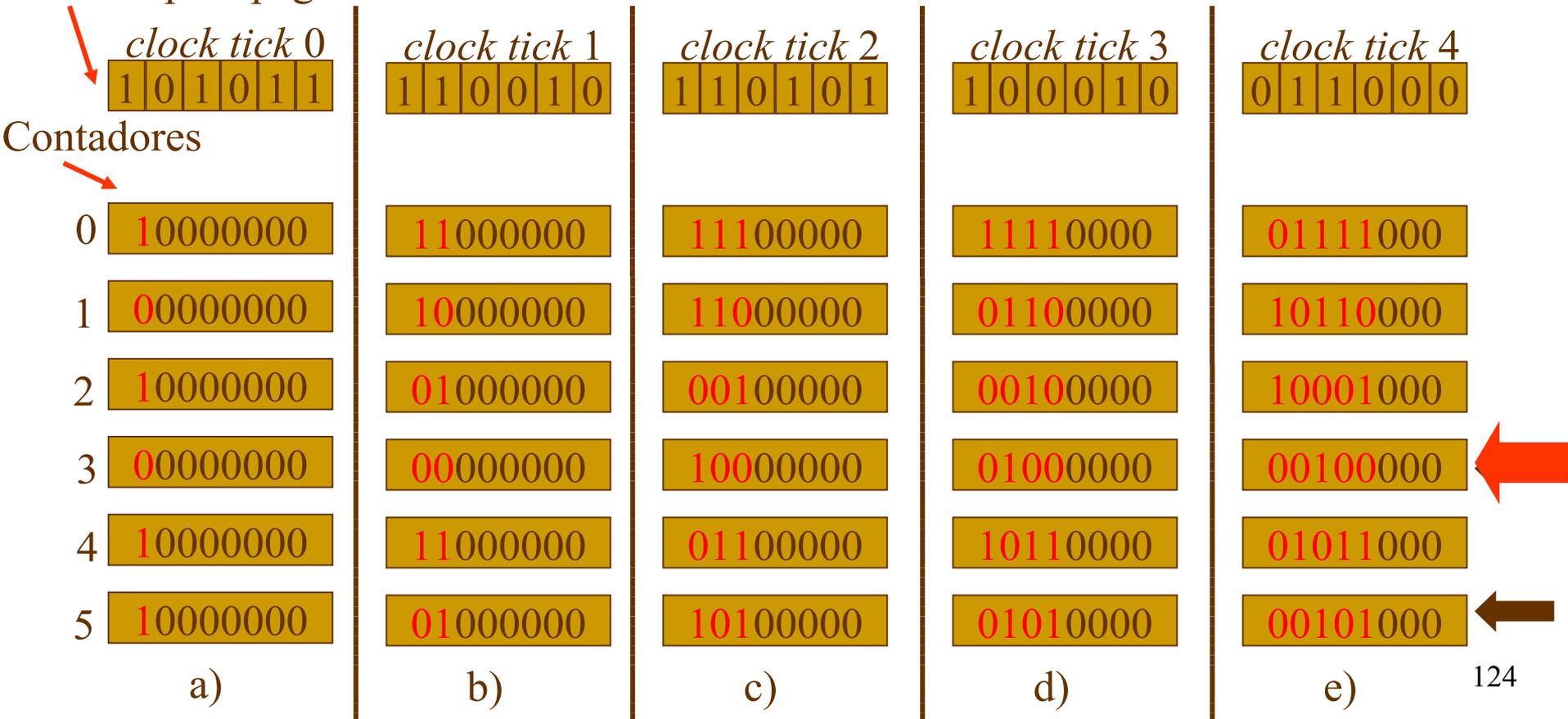
★ Software: Algoritmo *aging*

- Modificação do NFU, resolvendo o problema descrito anteriormente;
 - Além de saber **quantas vezes** a página foi referenciada, também controla **quando** ela foi referenciada;
 - Geralmente, 8 bits são suficientes para o controle se as interrupções de relógio (*clock ticks*) ocorrem a cada 20ms (10^{-3});

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *aging*

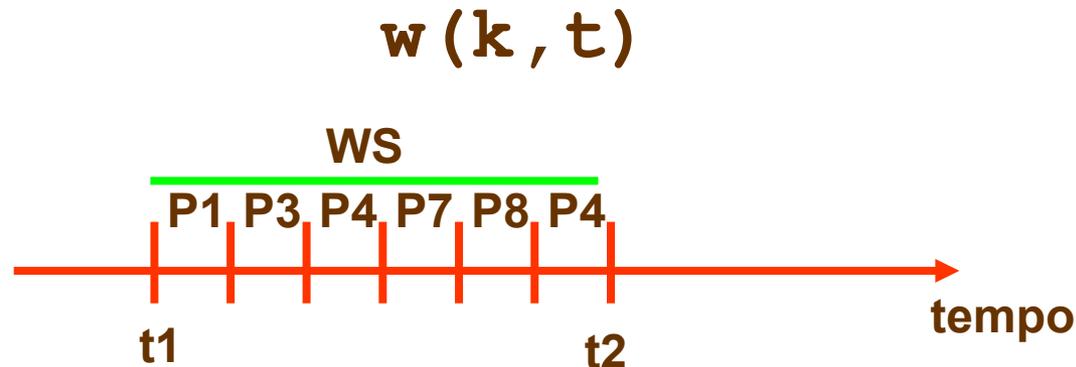
Bits R para páginas 0-5



Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *Working Set* (WS):

- Paginação por demanda → páginas são carregadas na memória somente quando são necessárias;
- Pré-paginação → *Working set*
 - * Conjunto de páginas que um processo está efetivamente utilizando (referenciando) em um determinado tempo t ;



Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *Working Set* (WS):

- Objetivo principal: reduzir a falta de páginas
 - Um processo só é executado quando todas as páginas necessárias no tempo t estão carregadas na memória;
 - SO gerencia quais páginas estão no *Working Set*;
- Para simplificar \rightarrow o *working set* pode ser visto como o conjunto de páginas que o processo referenciou durante os últimos τ segundos de tempo;
- Utiliza *bit* R e o tempo de relógio (tempo virtual) da última vez que a página foi referenciada;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

■ Algoritmo *Working Set*:

Tempo do último Uso (TLU)		Bit R
→ 2084		↓ 1
	2003	1
	1980	1
	1213	0
	2014	1
	2020	1
	2032	1
	1620	0

Tabela de Páginas

Tempo virtual atual (CVT): 2204
 $age = CVT - TLU$
 (Ex.: $2204 - 2084 = 120$)
 $\tau =$ múltiplos *clock ticks* (*window size*)

* Se todas as páginas estiverem com $R=1$, uma página é escolhida

Randomicamente;

** Se todas as páginas estiverem no WS, a página mais velha com $R=0$ é escolhida;

↑
 Percorrer as páginas examinando bit R;
 Se ($R==1$)*
 página foi referenciada;
 faz TLU da página igual ao CVT;
 Se ($R==0$ e $age > \tau$)
 página não está no *working set*;
 remove a página;
 Se ($R==0$ e $age \leq \tau$) **
 página está no *working set*;
 guarda página com maior *age*;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

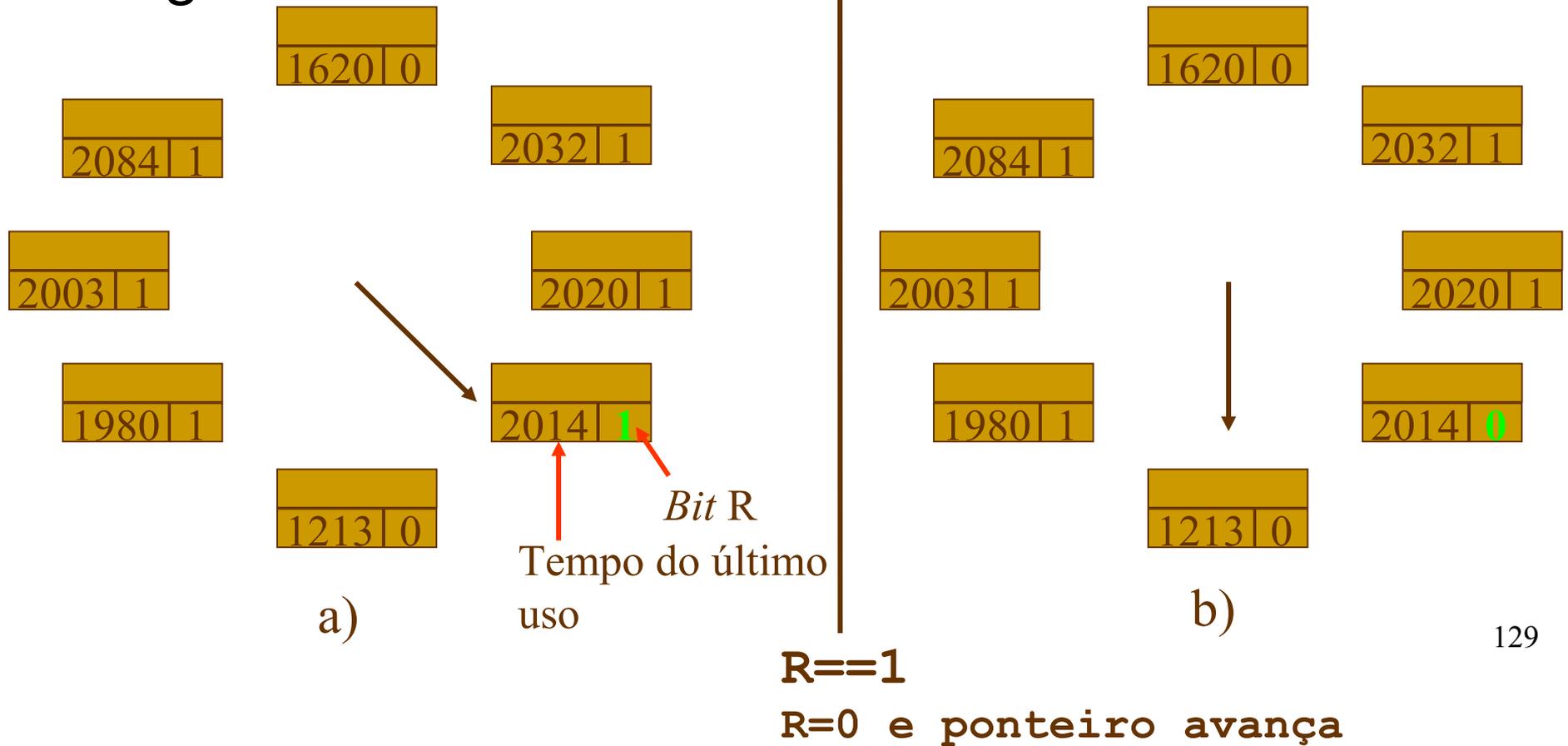
* Algoritmo *WSClock*:

- *Clock + Working Set*;
- Lista circular de páginas formando um anel a cada página carregada na memória;
- Utiliza *bit R* e o tempo da última vez que a página foi referenciada;
- *Bit M* utilizado para agendar escrita em disco;

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *WSClock*:

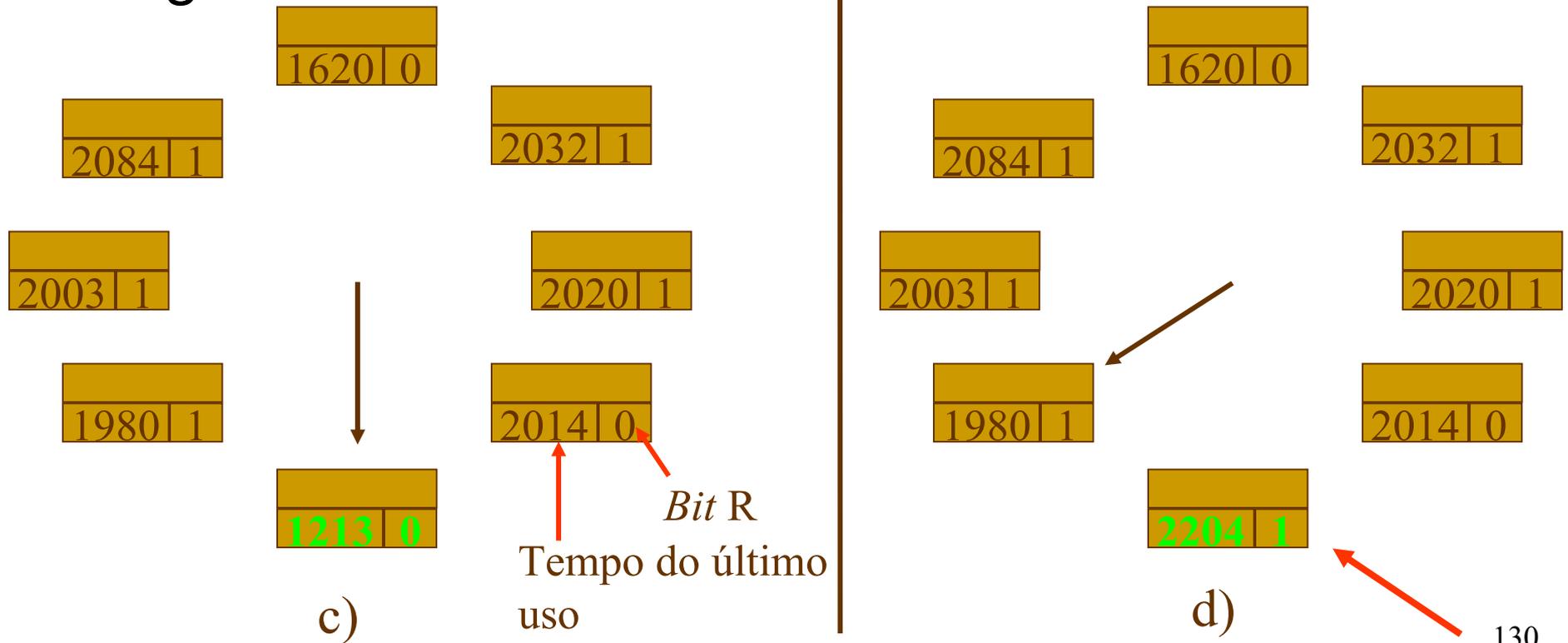
Tempo virtual atual: 2204



Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *WSClock*:

Tempo virtual atual: 2204



Bit R
Tempo do último uso

130
Nova página

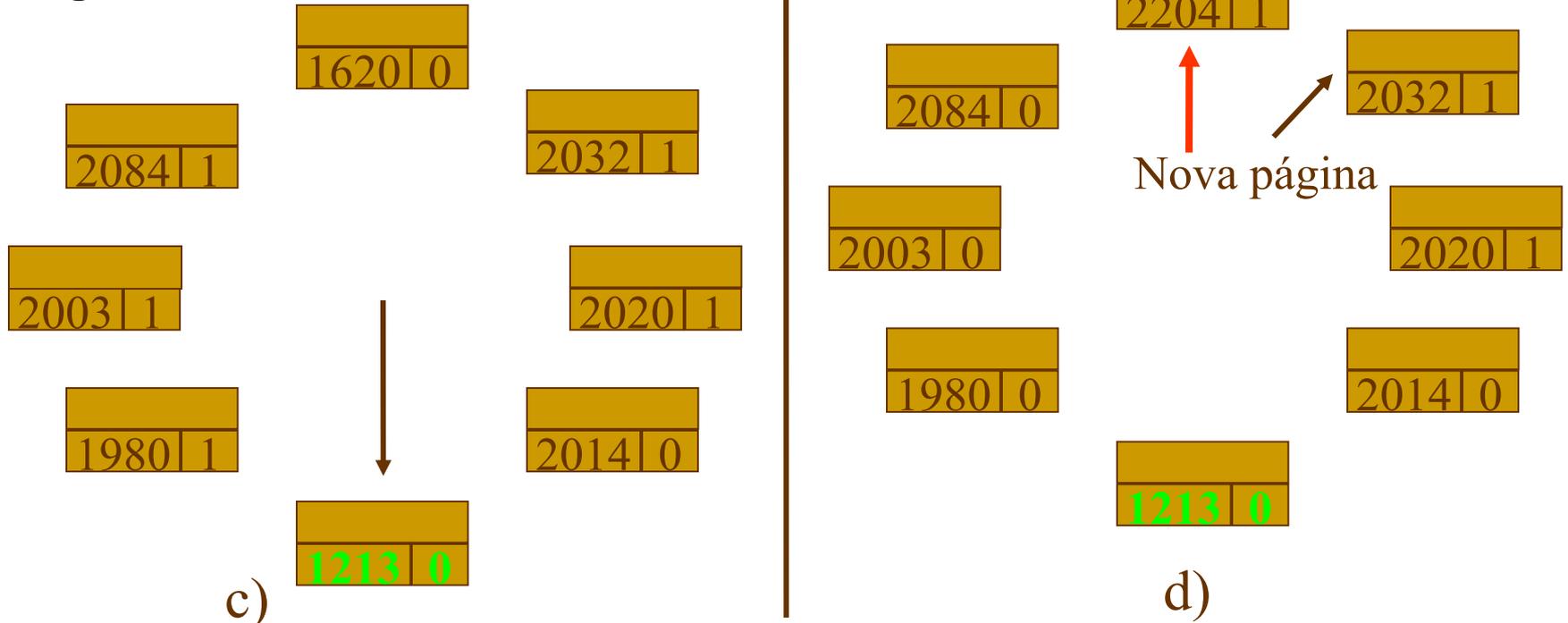
$R == 0$ e $age > t$

$M == 0$ (não agenda escrita) \rightarrow troca

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

Tempo virtual atual: 2204

- Algoritmo *WSClock*:



c)

$R==0$ e $age>t$

$M==1$ (agenda escrita e continua procura)

Gerenciamento de Memória Troca de Páginas - Paginação

* Algoritmo *WSClock*:

- Se todas estiverem com $M=1$; então escreve página atual no disco, e troca a página;
- Melhor desempenho → menos acessos ao disco;

Gerenciamento de Memória

Troca de Páginas - Paginação

- ★ Algoritmos de substituição local:
 - *Working Set*;
 - *WSClock*;
- ★ Algoritmos de substituição local/global:
 - Ótimo;
 - NRU;
 - FIFO;
 - Segunda Chance;
 - LRU;
 - Relógio;

Gerenciamento de Memória

Implementação da Paginação

* Memória Secundária – Disco

- A área de troca é gerenciada como uma lista de espaços disponíveis;
- O endereço da área de troca de cada processo é mantido na tabela de processos;
 - Cálculo do endereço: MMU;
- Possibilidade A - Assim que o processo é criado, ele é copiado todo para sua área de troca no disco, sendo carregado para memória quando necessário;
 - Área de troca diferente para dados, pilha e programa, pois a área de dados pode crescer e a área de pilha crescerá certamente;

Gerenciamento de Memória

Implementação da Paginação

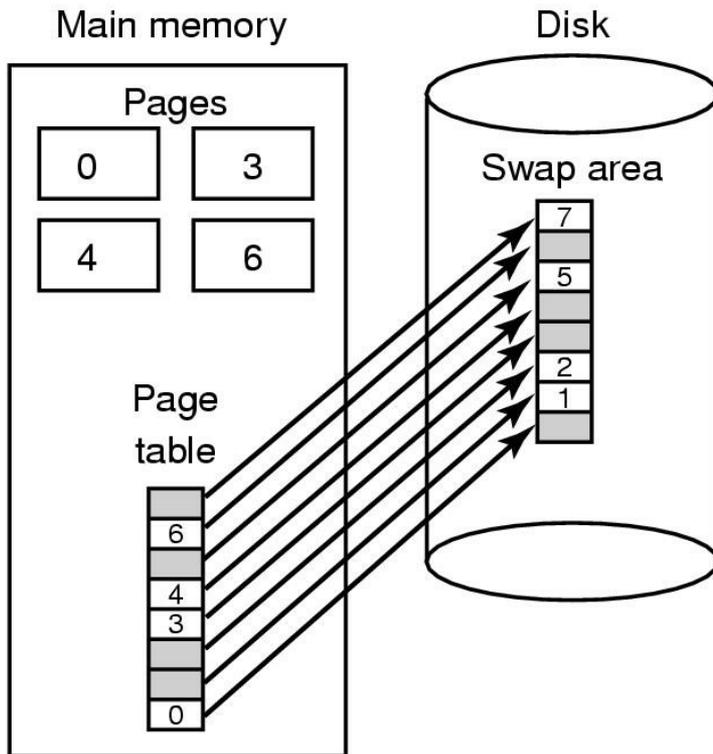
★ Memória Secundária – Disco

- Possibilidade B - Nada é alocado antecipadamente, espaço é alocado em disco quando a página for enviada para lá.
- Assim, processo na memória RAM não fica “amarrado” a uma área específica;

Gerenciamento de Memória

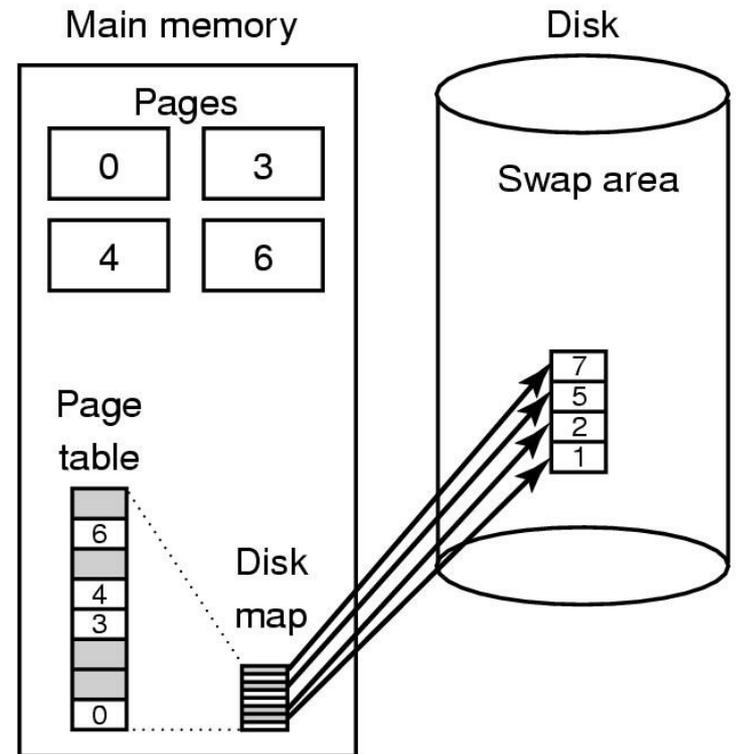
Implementação da Paginação

Como fica o disco – memória secundária



(a)

Área de troca estática



(b)

Área de troca dinâmica

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Segmentação

- ★ **Segmentação:** Visão do programador/compilador
 - Tabelas de segmentos com n linhas, cada qual apontando para um segmento de memória;
 - Vários espaços de endereçamento;
 - Endereço real \rightarrow base + deslocamento;
 - Alocação de segmentos segue os algoritmos já estudados:
 - *FIRST-FIT*;
 - *BEST-FIT*;
 - *NEXT-FIT*;
 - *WORST-FIT*;
 - *QUICK-FIT*;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Segmentação

* Segmentação:

- Facilita proteção dos dados;
- Facilita compartilhamento de procedimentos e dados entre processos;
- MMU também é utilizada para mapeamento entre os endereços lógicos e físicos;
 - Tabela de segmentos informa qual o endereço da memória física do segmento e seu tamanho;

Gerenciamento de Memória

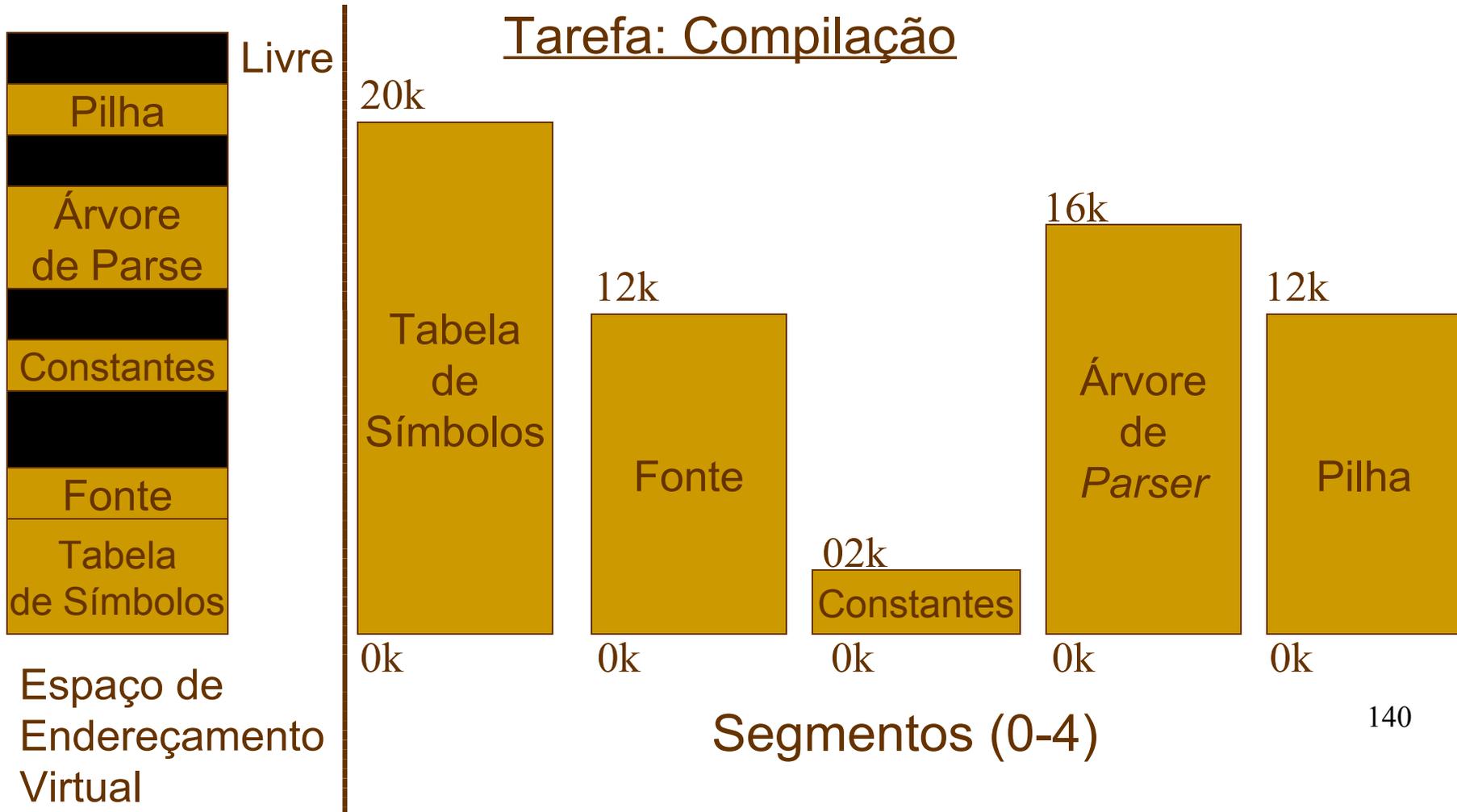
Memória Virtual - Segmentação

* Segmentação:

- Problemas encontrados → embora haja espaço na memória, **não há espaço contínuo**:
 - Política de realocação: um ou mais segmentos são realocados para abrir espaço contínuo;
 - Política de compactação: todos os espaços são compactados;
 - Política de bloqueio: fila de espera;
 - Política de troca: substituição de segmentos;
- Sem fragmentação interna, com fragmentação externa;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual - Segmentação



Gerenciamento de Memória Memória Virtual - Segmentação

Memória Lógica P1

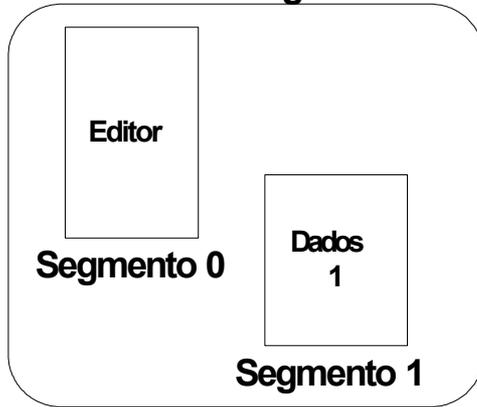


Tabela de Segmentos P1

	Limite	Base
0	25286	43062
1	4425	68348

Memória Lógica P2

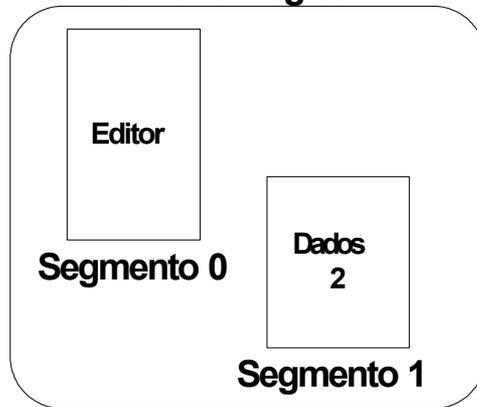
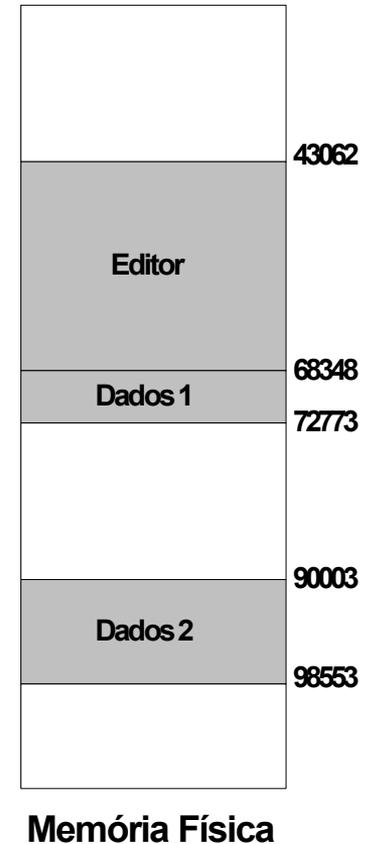


Tabela de Segmentos P2

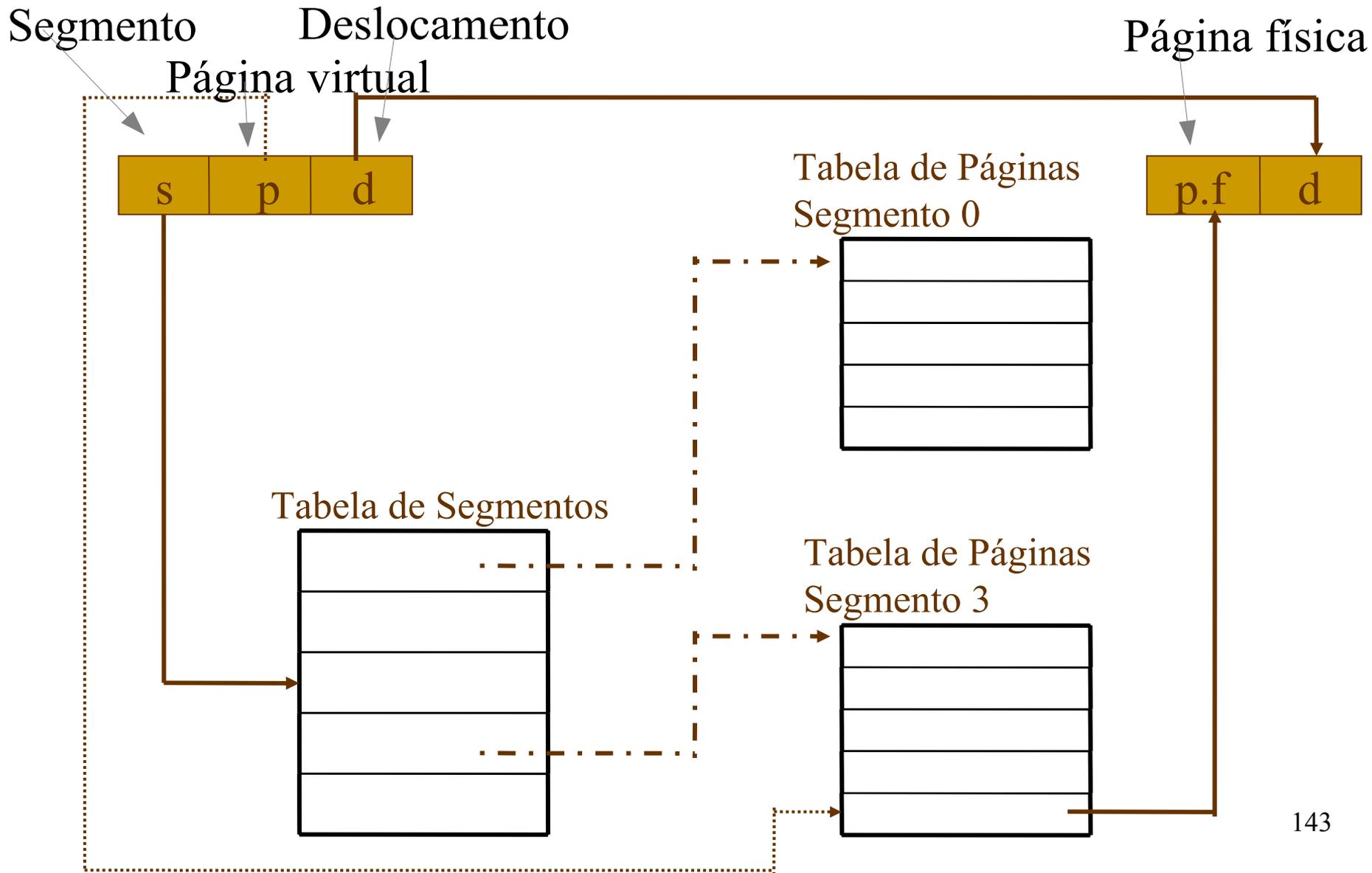
	Limite	Base
0	25286	43062
1	8850	90003



Gerenciamento de Memória

Segmentação-Paginada

- ★ Espaço lógico é formado por segmentos
 - Cada segmento é dividido em páginas lógicas;
 - Cada segmento possui uma tabela de páginas →
 - mapear o endereço de página lógica do segmento em endereço de página física;
 - No endereçamento, a tabela de segmentos indica, para cada segmento, onde sua respectiva tabela de páginas está.



Gerenciamento de Memória - *Thrashing*

★ *Thrashing* (paginação excessiva)

– Associado com o problema de definição do número de páginas/segmentos →

troca de páginas/segmentos é uma tarefa cara e lenta;

– Se o processo tiver um número de páginas muito reduzido, ele pode ficar muito tempo esperando pelo atendimento de uma falta de página →

- muitos processos bloqueados;

Gerenciamento de Memória - *Thrashing*

* Evitar o problema (paginação):

- Taxa máxima aceitável de troca de páginas;
 - Suspende alguns processos, liberando páginas físicas (*swapping*);
 - Risco de aumentar o tempo de resposta dos processos;
- Determinar periodicamente o número de processos em execução e alocar para cada um, mesmo número de páginas;
 - Problema: processos grandes teriam o mesmo número de páginas de processos pequenos, causando paginação excessiva;

Gerenciamento de Memória - *Thrashing*

- ★ Possível solução: Número de páginas proporcional ao tamanho do processo →
 - alocação dinâmica durante a execução dos processos
- ★ PFF (*Page Fault Frequency*):
 - algoritmo informa quando aumentar ou diminuir a alocação de páginas de um processo
 - Controla também o tamanho do conjunto de alocação;

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

Consideração

Paginação

Segmentação

Programador deve saber da técnica?	Não	Sim
Espaços de endereçamento existentes	1	Vários
Espaço total de endereço pode exceder memória física?	Sim	Sim
É possível distinguir procedimento de dados e protegê-los?	Não	Sim

Gerenciamento de Memória

Memória Virtual

Consideração

Paginação

Segmentação

Tabelas de tamanho variável podem ser acomodadas sem problemas?	Não	Sim
Compartilhamento de procedimentos entre usuário é facilitado?	Não	Sim
Por que?	Para obter espaço de endereçamento maior sem aumentar memória física	Para permitir que programas e dados possam ser divididos em espaços de endereçamento logicamente independentes; compartilhamento e proteção ¹⁴⁸

Perguntas?

- * Ler o capítulo sobre a gerência de memória