

FUNDAMENTOS DE ARQUITETURAS DE COMPUTADORES

MEMÓRIA PRINCIPAL CAPÍTULO 4

Cristina Boeres

Memória

- É um dos componentes de um sistema de computação
- Sua função é armazenar informações que são ou serão manipuladas pelo sistema para que elas possam ser recuperadas quando necessário

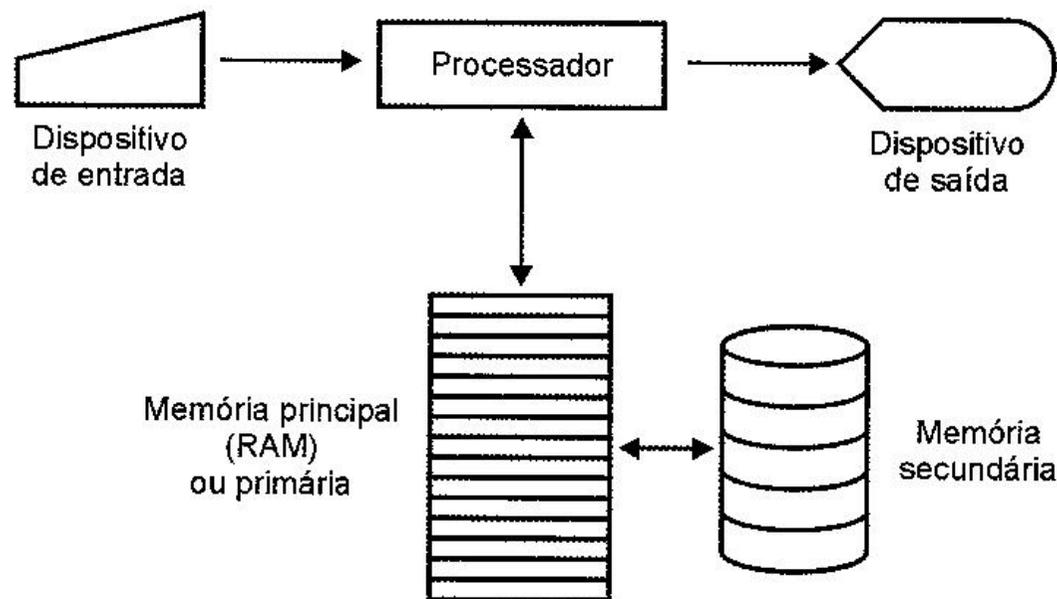
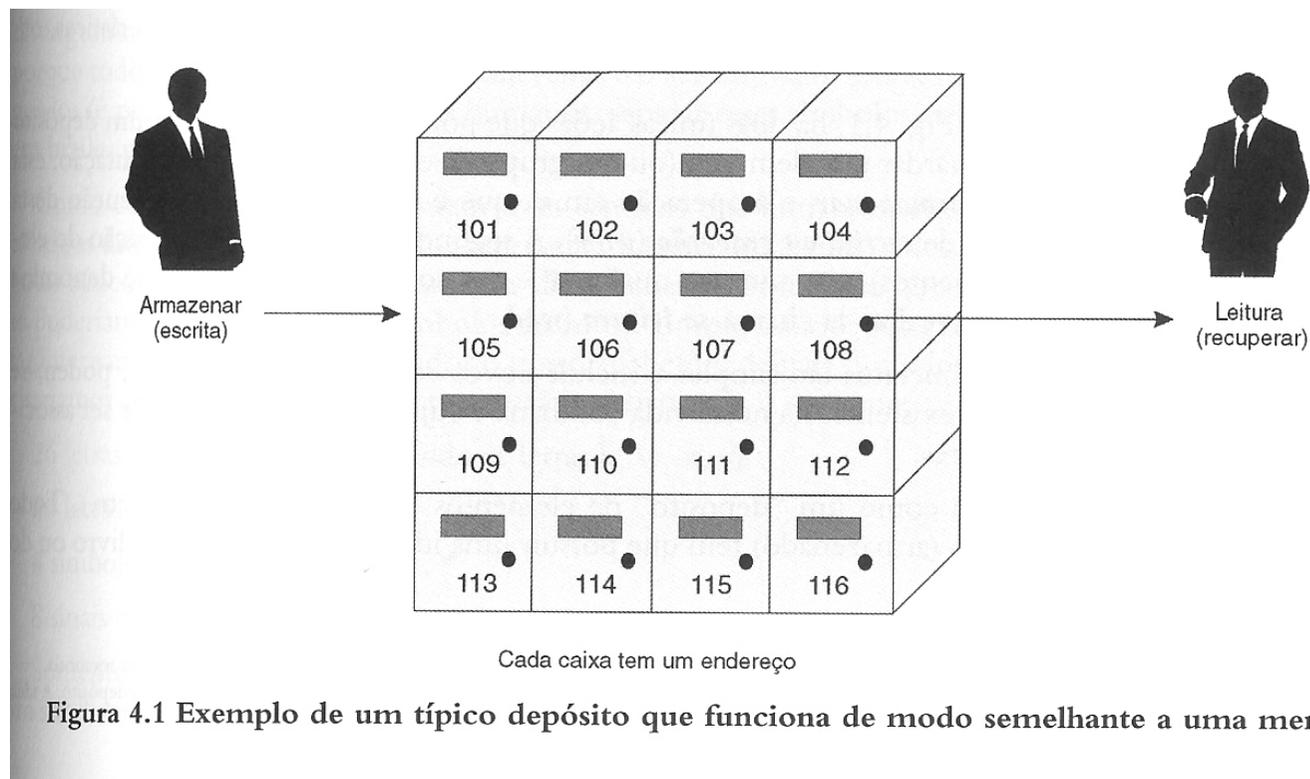


Figura 2.1 Componentes básicos de um computador.

Memória

- Conceitualmente a memória é um componente muito simples → Depósito



Memória

- Na prática, a memória não é um único componente, mas um subsistema constituído de vários componentes de diferentes tipos e interligados
- Vários tipos de memória integrados → *Hierarquia de memória*
 - Registradores: dispositivos de armazenamento no interior dos processadores
 - Memória cache
 - Memória principal (RAM – Random Access Memory)
 - Memória secundária: HDs, CDs, DVDs, etc. (dispositivos de armazenamento)

Subsistema de Memória

- Razões para existência de diferentes tipos de memória
 - Tempo de acesso
 - Velocidade do processador é muito maior que o tempo de acesso da memória
 - Capacidade de armazenamento
 - A necessidade de se armazenar cada vez mais informações
 - A necessidade de armazenamento permanente do dados, mesmo na falta de energia
 - Custo

Tempo de Acesso X Tamanho X Custo

Memória

- Existem duas únicas operações possíveis que podem ser realizadas em uma memória
 - Armazenar – Guardar o elemento na Memória
 - Operação de escrita ou gravação (*write*)
 - Recuperar – Buscar o elemento guardado na Memória
 - Operação de leitura (*read*)

- A unidade de armazenamento na Memória Principal é denominada célula
 - A célula é um agrupamento de bits tratado em conjunto pelo sistema
 - É usada para efeitos de armazenamento e transferência

Memória

- Para ter acesso a uma informação armazenada na memória, deve ser especificado o endereço da célula correspondente
- Cada célula é identificada por um endereço
 - N endereços – memória organizada sequencialmente a partir do endereço (0) até o endereço (N-1)
- Os endereços não são fisicamente gravados na memória, somente as informações são armazenadas em cada célula
 - Os endereços são enviados pelo processador para a memória pelo BE – barramento de endereços

Memória

- Processadores com:

- Endereços de 32 bits
- Células de 1 byte cada

→ Endereçam até 4G células de 1 byte

$$\rightarrow 2^{32} = 4\text{GB}$$

- Processadores com:

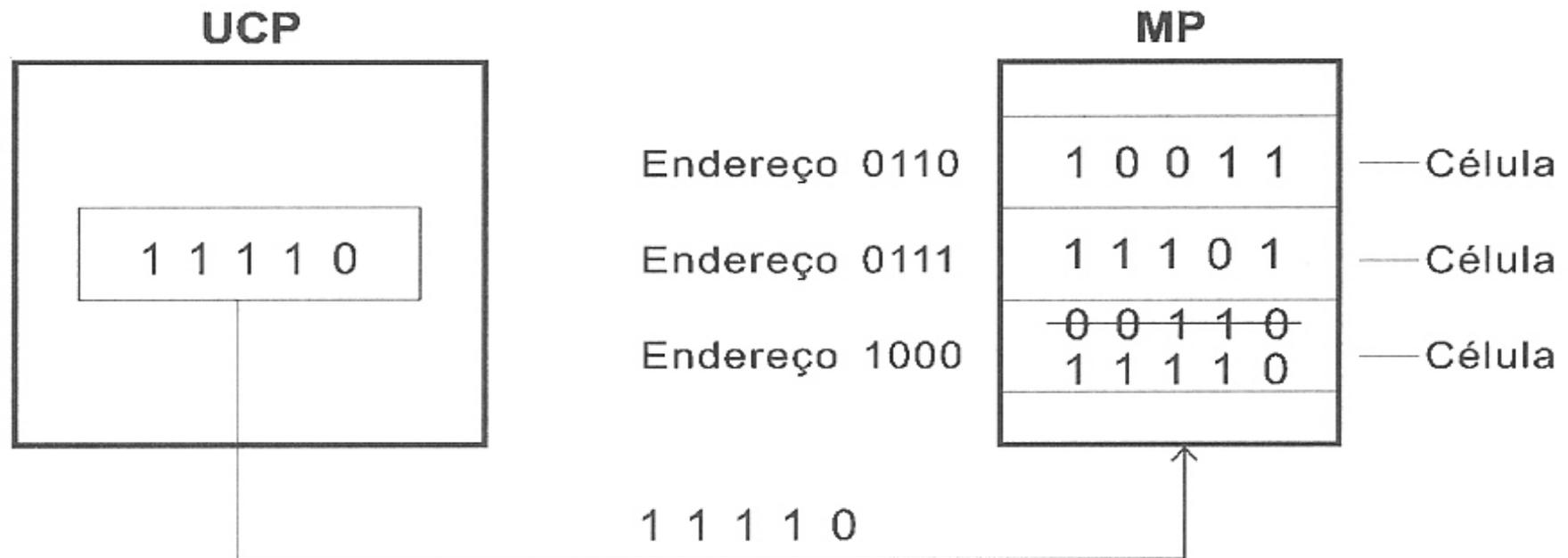
- Endereços de 64 bits
- Células de 1 byte cada

→ Endereçam até ?? células de um byte

$$\rightarrow 2^{64} = 16\text{ExB}$$

Operações de Leitura e Escrita

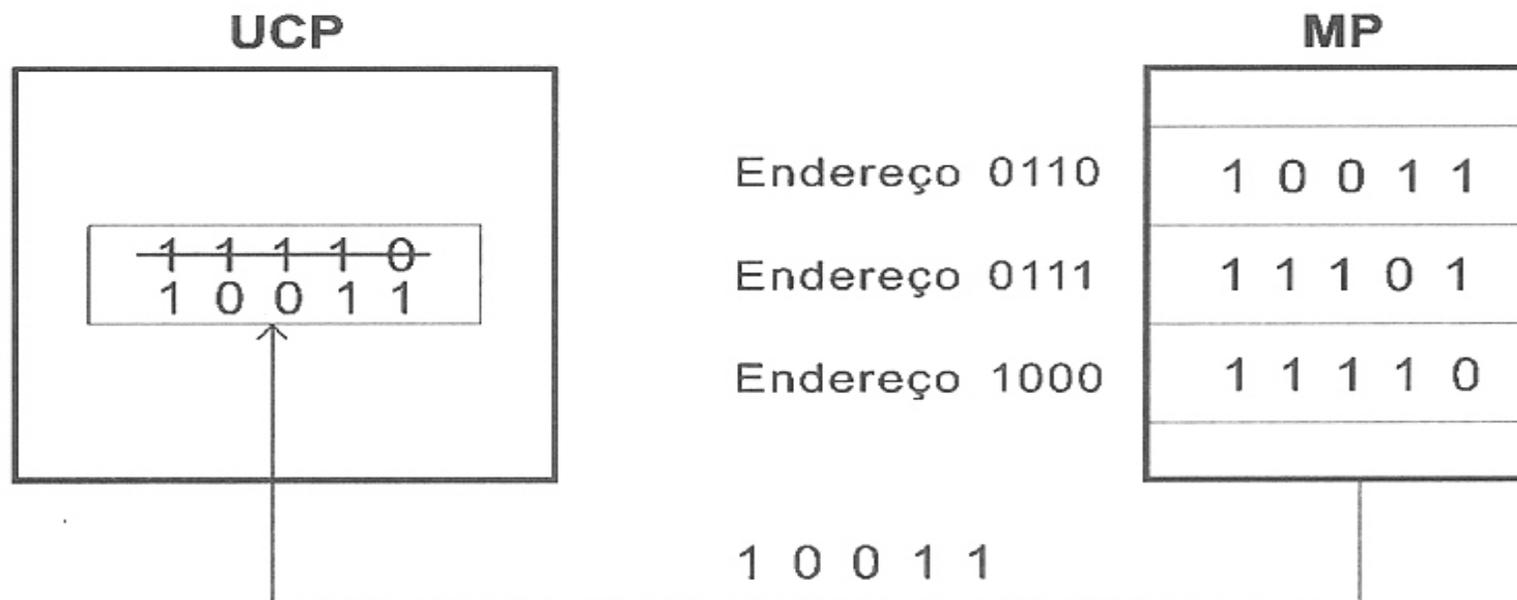
- Operação de escrita é naturalmente destrutiva
 - Armazena o novo conteúdo sobre o conteúdo anterior



(a) Operação de escrita — O valor 11110 é transferido (uma cópia) da UCP—para a MP e armazenado na célula de endereço 1000, apagando o conteúdo anterior (00110).

Operações de Leitura e Escrita

- Operação de leitura não é destrutiva
 - Copia o valor do local de origem, sem modificá-lo

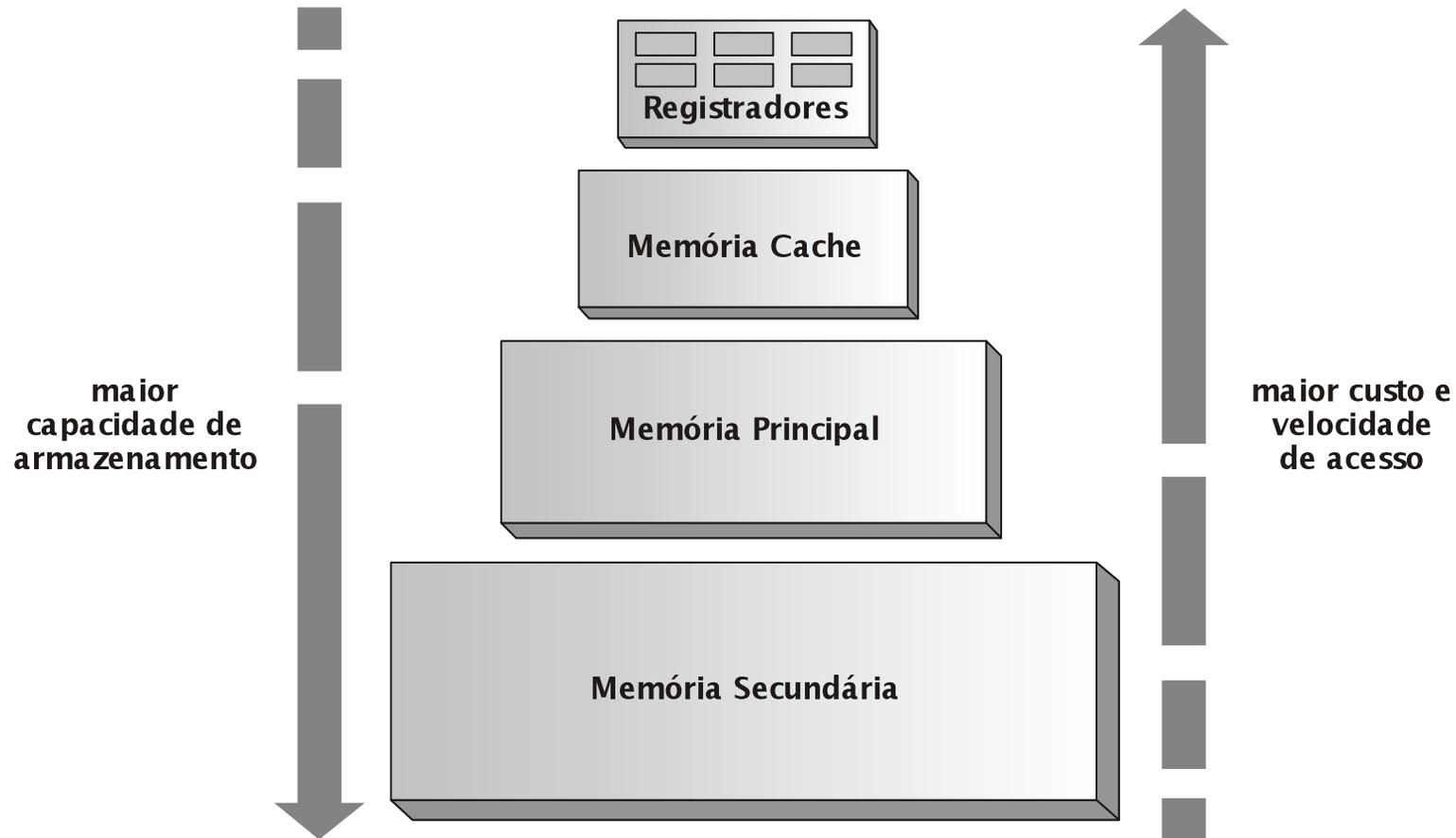


(b) Operação de leitura — O valor 10011, armazenado no endereço da MP 0110, é transferido (cópia) para a UCP, apagando o valor anterior (11110) e armazenando no mesmo local.

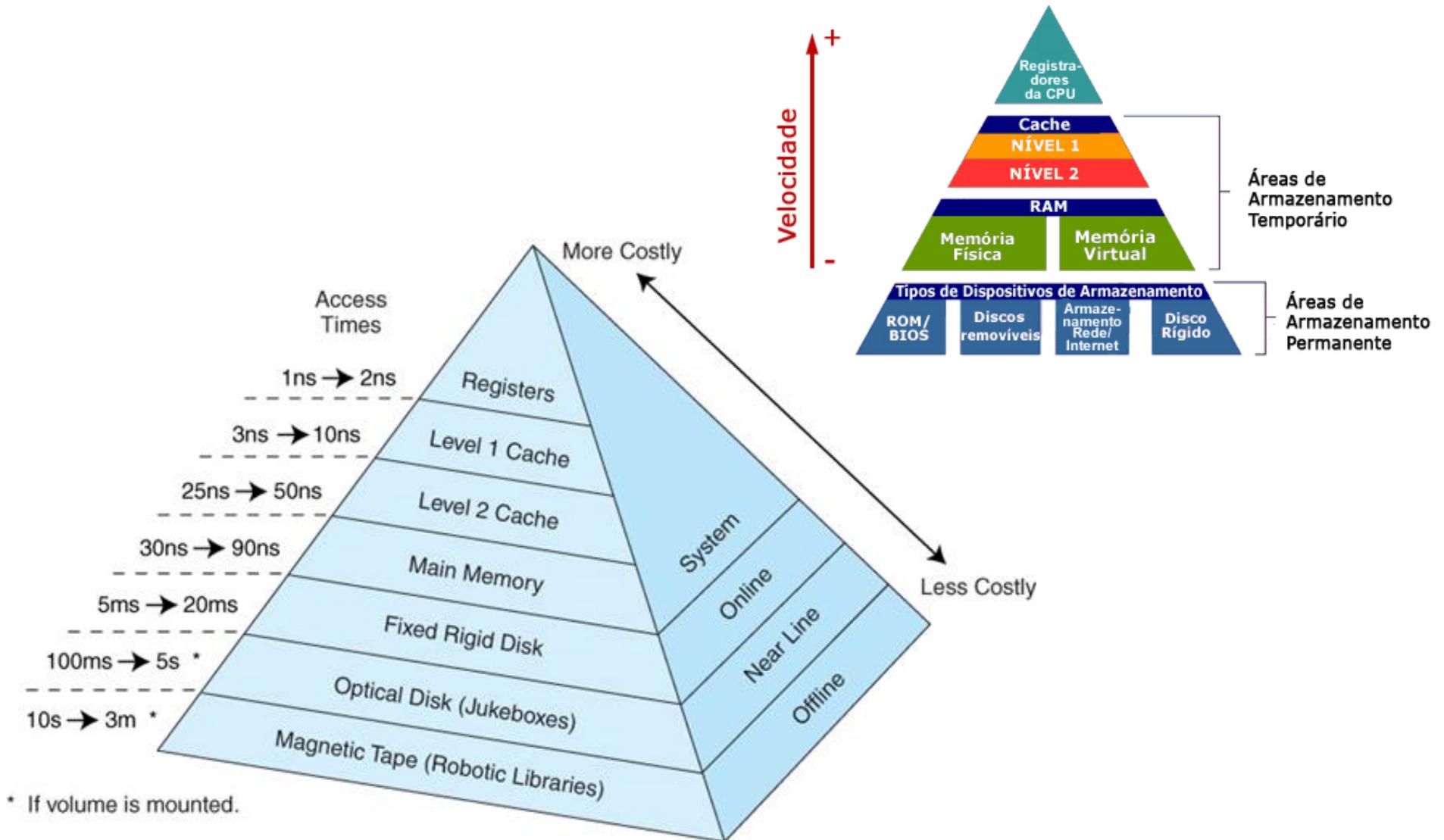
Hierarquia de Memória

Hierarquia de Memória

- Um subsistema de Memória é composto de vários tipos de componentes de memória



Hierarquia de Memória



Hierarquia de Memória

- Cada componente possui características próprias
- Para definir a função e as diferenças de cada componente, as seguintes características são analisadas:
 - Tempo de acesso
 - Capacidade
 - Volatilidade
 - Tecnologia de Fabricação
 - Custo

Tempo de Acesso

- Indica o tempo que leva para a memória colocar a informação no barramento de dados depois da posição ter sido endereçada
 - Tempo de acesso para leitura
- Aumenta em direção à base da hierarquia
 - Depende da tecnologia de construção e da velocidade de seus circuitos
 - Varia bastante entre os diferentes tipos de memória

Tempo de Acesso

- Poucos nanossegundos para memória tipo RAM (dispositivos eletrônicos)
 - o tempo de acesso independe da distância física entre o local de um acesso e o local do próximo acesso
- Dezenas de milissegundos para memória secundária (dispositivos eletromecânicos)
 - o tempo de acesso depende da distância física entre locais de acesso consecutivos
- Em algumas memórias eletrônicas, consideramos ainda o tempo decorrido entre duas operações consecutivas a memória
 - Ciclo de memória = tempo de acesso + tempo para atividades internas do sistema

Capacidade



- Quantidade de informação que pode ser armazenada em uma memória
 - É o tamanho da memória
- A unidade de medida mais comum é o byte
- Aumenta em direção à base da hierarquia de memória

Volatilidade

- Capacidade de reter ou não a informação quando a energia elétrica é desligada
 - Memória volátil – não retém a informação
 - Por exemplo, registradores, memórias cache e principal (tipo RAM)
 - Memória não-volátil – retém a informação
 - Por exemplo, memória tipo ROM (read only memory) e memória secundária

Tecnologia de Fabricação

- Memórias de semicondutores (memórias eletrônicas)
 - Registradores, memória cache, memória principal, ROM, e hoje, até memória secundária
 - Mais caras
- Memórias de meio magnético
 - Usadas em discos rígidos (hard disks – HDs)
 - Não-volátil e mais baratas
- Memória de meio ótico
 - CDs, DVDs
 - Usa-se um feixe de luz para marcar o valor de cada bit

Custo

- O preço varia principalmente em função da tecnologia de fabricação
- Uma boa unidade de medida de custo é o preço por byte armazenado
 - Memória secundária é bem mais barata que memória principal, por isso sua capacidade de armazenamento é bem maior
 - HD interno 1TB – ~ R\$ 250,00
 - Custo de 1 byte – $250 / 2^{40}$
 - 4GB RAM – ~ R\$ 200,00
 - Custo de 1 byte – $200 / 2^{32}$

Registradores

- São internos ao processador
 - Guardam instruções e dados que estão sendo manipulados em cada operação executada pelo processador

- Tempo de Acesso
 - Por serem construídos com a mesma tecnologia do processador tem o menor tempo de acesso do sistema
 - Tempo de acesso = um ciclo de memória (1 a 2 ns)

- Capacidade
 - São fabricados para armazenar um dado, uma instrução ou um único endereço

Registradores

□ Capacidade

- Ex.: Intel Core i7

- registradores de dados e de endereços de 64 bits

- Ex.: Pentium

- registradores de dados (inteiros) e de endereços de 32 bits

- registradores para ponto flutuante de 64 bits

□ Voláteis

□ Memória de semicondutores

Memória Cache

- Criada para acelerar a velocidade de transferência das informações entre Memória Principal e processador
- Podem ser internas ou externas ao processador
 - cache L1 (nível 1) na pastilha
 - cache L2 (L2 interna)
 - Encapsulada no mesmo chip (“on chip”)
 - cache L3 (ou L2 externa)
 - Chip separado instalado na placa-mãe

Memória Cache

□ Características

- Tempo de acesso
 - um ciclo de memória (5 a 20 ns)
- Capacidade
 - Deve ter um tamanho considerável, para evitar que a informação buscada não esteja presente e que assim o sistema sofra um atraso para transferir a informação da MP para a cache
 - Valores típicos: cache L1 (32 a 256KB) e cache L2 (4MB)
- Voláteis e alto custo
- Memória de semicondutores, chamadas estáticas (SRAM)

Memória Principal (MP)

- É a memória básica de um sistema de computação
- É o dispositivo onde o programa que vai ser executado é armazenado para que o processador vá buscando instrução por instrução.
- Tempo de acesso
 - um ciclo de memória (50 a 80 ns)
- Capacidade
 - superior à memória cache, sendo limitada por dois fatores:
 - arquitetura do processador e pelo dispositivo de controle da memória (chipset da placa-mãe)
 - endereços de 32 bits permitem até 4GB de RAM

Memória Principal (MP)

- Volátil

- Existe porém uma pequena parte da Memória Principal que é constituída de memória não-volátil (ROM) – instruções que são executadas quando computador é ligado

- Memória de semicondutores

- Na maioria dos sistemas atuais produz memória com elementos dinâmicos (DRAM)

- Custo mais baixo que o da memória cache

Memória Secundária

- Tempo de acesso
 - HDs – 8 a 30 ms;
 - CDs – 120 a 300 ms
- Alta capacidade (até TB)
- Não-voláteis
- Memória de semicondutores, meio magnético ou ótico
- Custo bem mais baixo que o da memória principal
- Alternativas modernas
 - DropBox, Amazon S3, Google Drive, ...

Memória Principal

Memória Principal (MP)

- Programas são armazenados sequencialmente em memória principal aonde o processador busca instruções

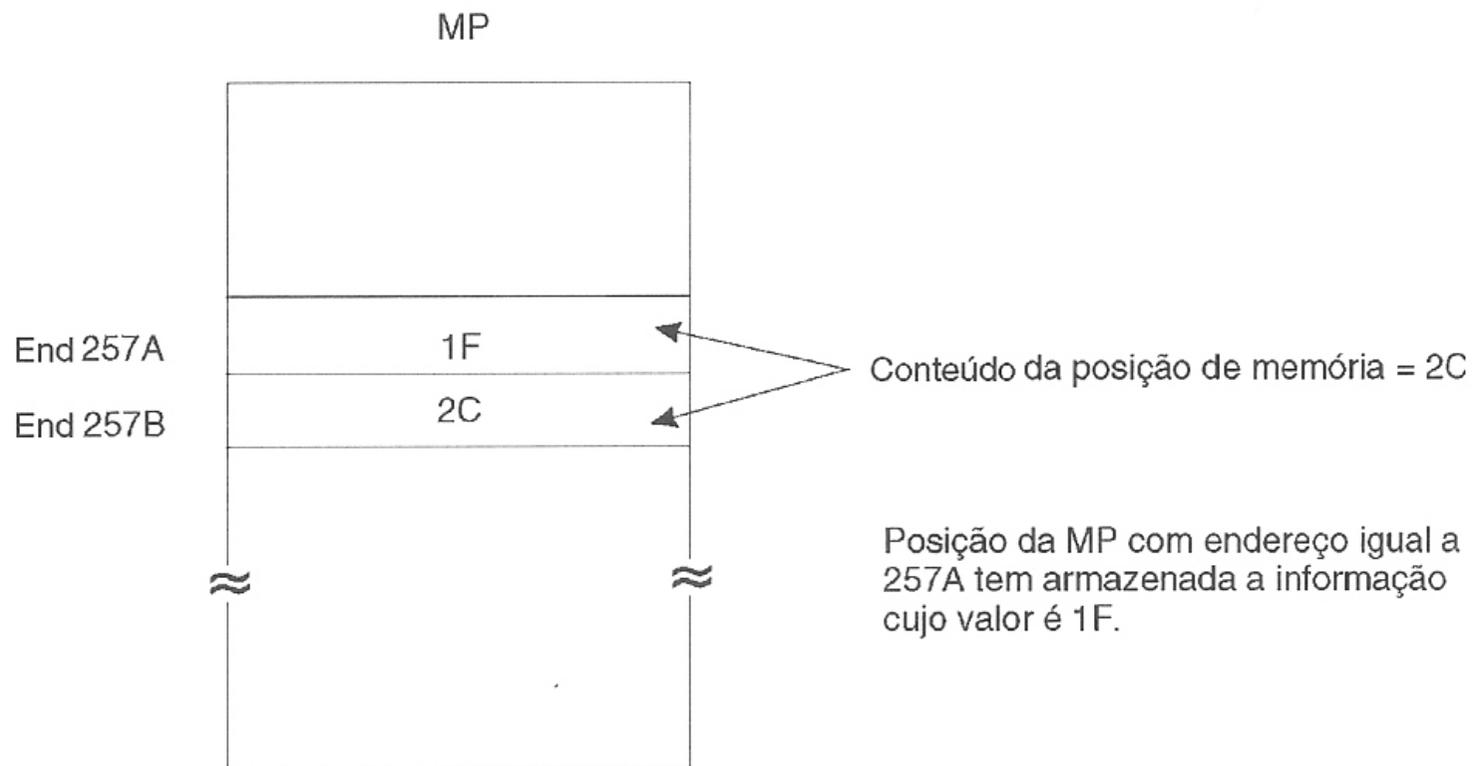


Figura 4.7 Significado dos valores de endereço e conteúdo na MP.

Organização da Memória Principal

- Organizada como conjunto de N células sequencialmente dispostas
- Cada célula armazena M bits

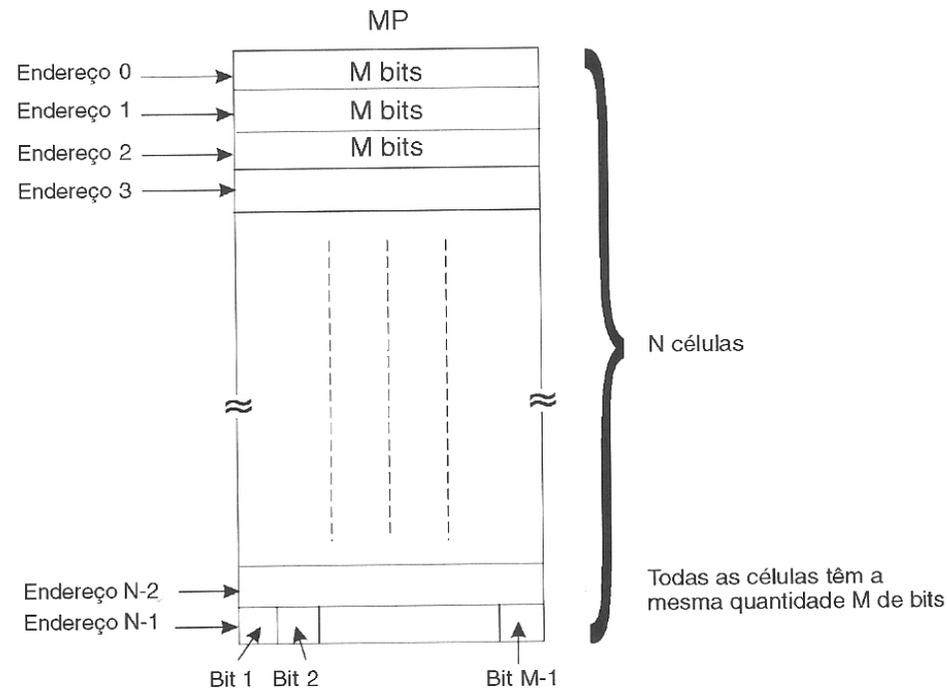
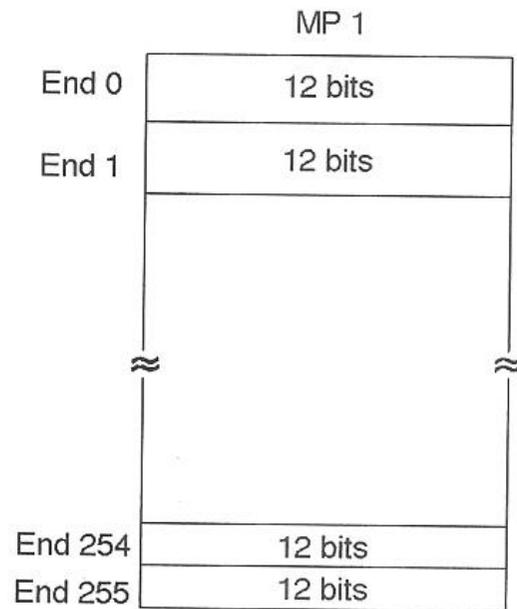


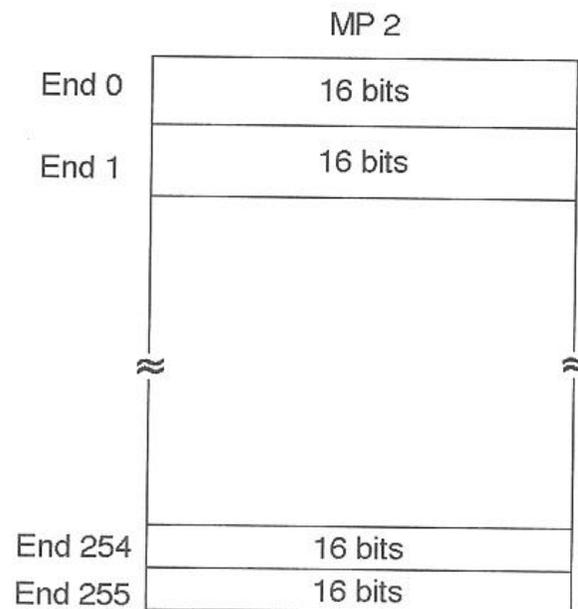
Figura 4.8 Organização básica da MP.

Organização da Memória Principal

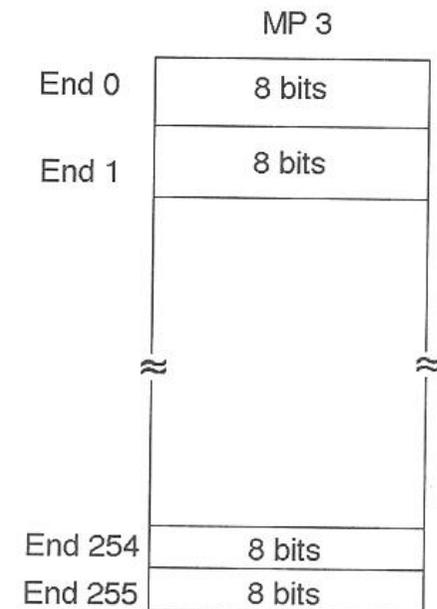
- Quantidade de bits de uma célula
 - É um requisito definido pelo fabricante
 - Atualmente a largura padrão é 8 bits (1 byte)



(a)



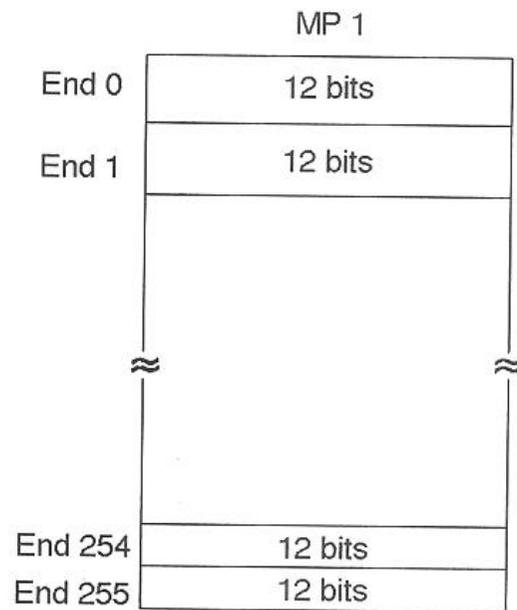
(b)



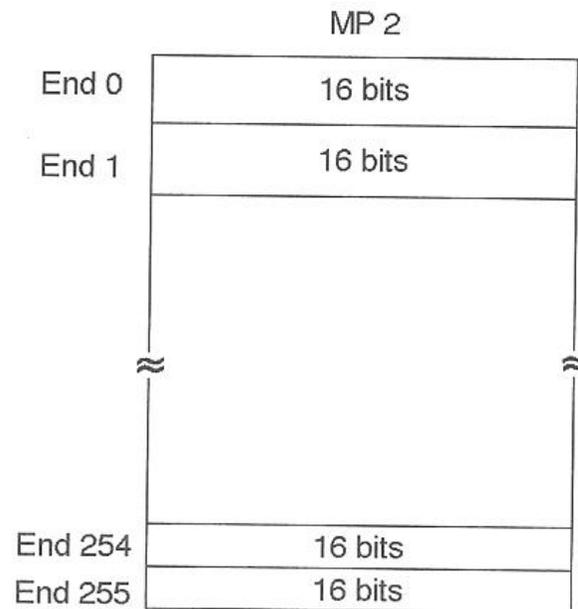
(c)

Organização da Memória Principal

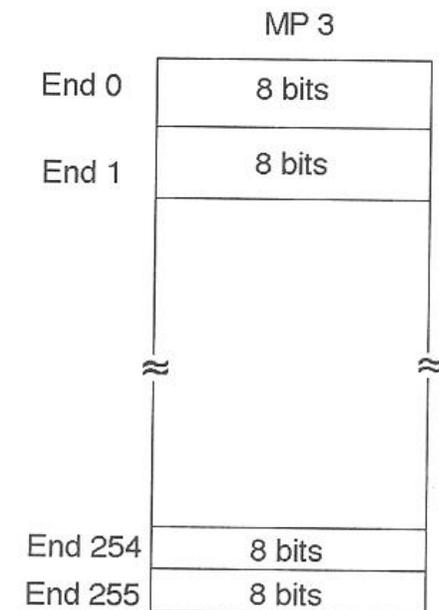
- Relação endereço × conteúdo de um célula
 - MPs com mesma quantidade de células (256), porém de larguras diferentes



(a)



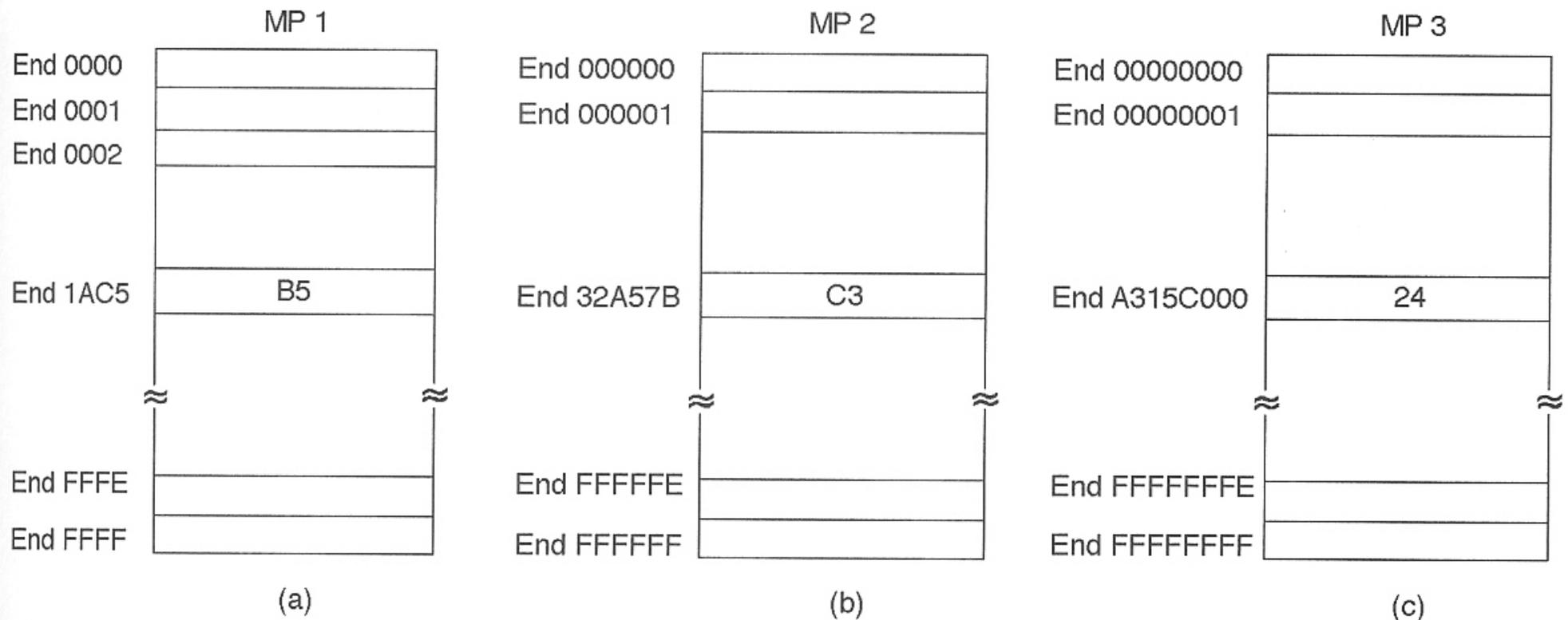
(b)



(c)

Organização da Memória Principal

- Relação endereço × conteúdo de um célula
 - MPs com diferentes quantidades de células de mesma largura (1 byte)



Operações do Processador com a MP

- Operações de leitura (read)
- Operações de escrita (write)
- Elementos que são utilizados nas operações do processador com a MP
 - Barramentos
 - Registradores de dados e endereços de memória
 - Controlador da memória

Operações do Processador com a MP



- Barramentos do sistema
 - de dados – BD
 - de endereços – BE
 - de controle – BC
- Registradores de dados e endereços de memória
 - RDM – registrador de dados de memória (MBR – memory buffer register)
 - REM – registrador de endereços da memória (MAR – memory address register)
- Controlador da memória

Operações do Processador com a MP

100 / *Memória Principal*

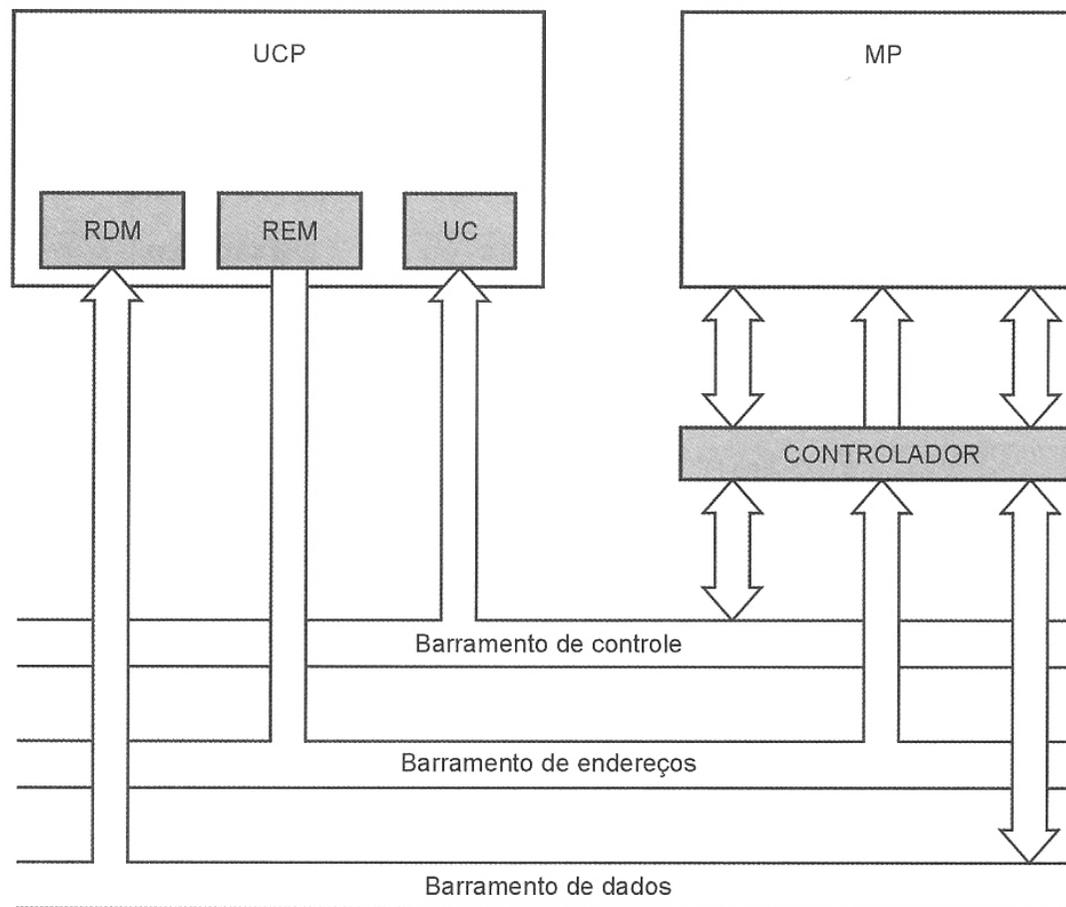


Figura 4.11 Estrutura UCP/MP e a utilização de barramento para comunicação entre eles.

Operações do Processador com a MP

- RDM – Registrador de Dados da Memória
 - Armazena temporariamente a informação que é transferida
 - Armazena a mesma quantidade de bits do barramento de dados
- REM – Registrador de Endereços da Memória
 - Armazena temporariamente o endereço de acesso a uma posição de memória
 - Armazena a mesma quantidade de bits do barramento de endereços
- Controlador de Memória
 - Detém a lógica requerida para receber e interpretar os sinais de controle do processador e responder as operações de Leitura e Escrita
 - Decodifica o endereço do barramento de endereços

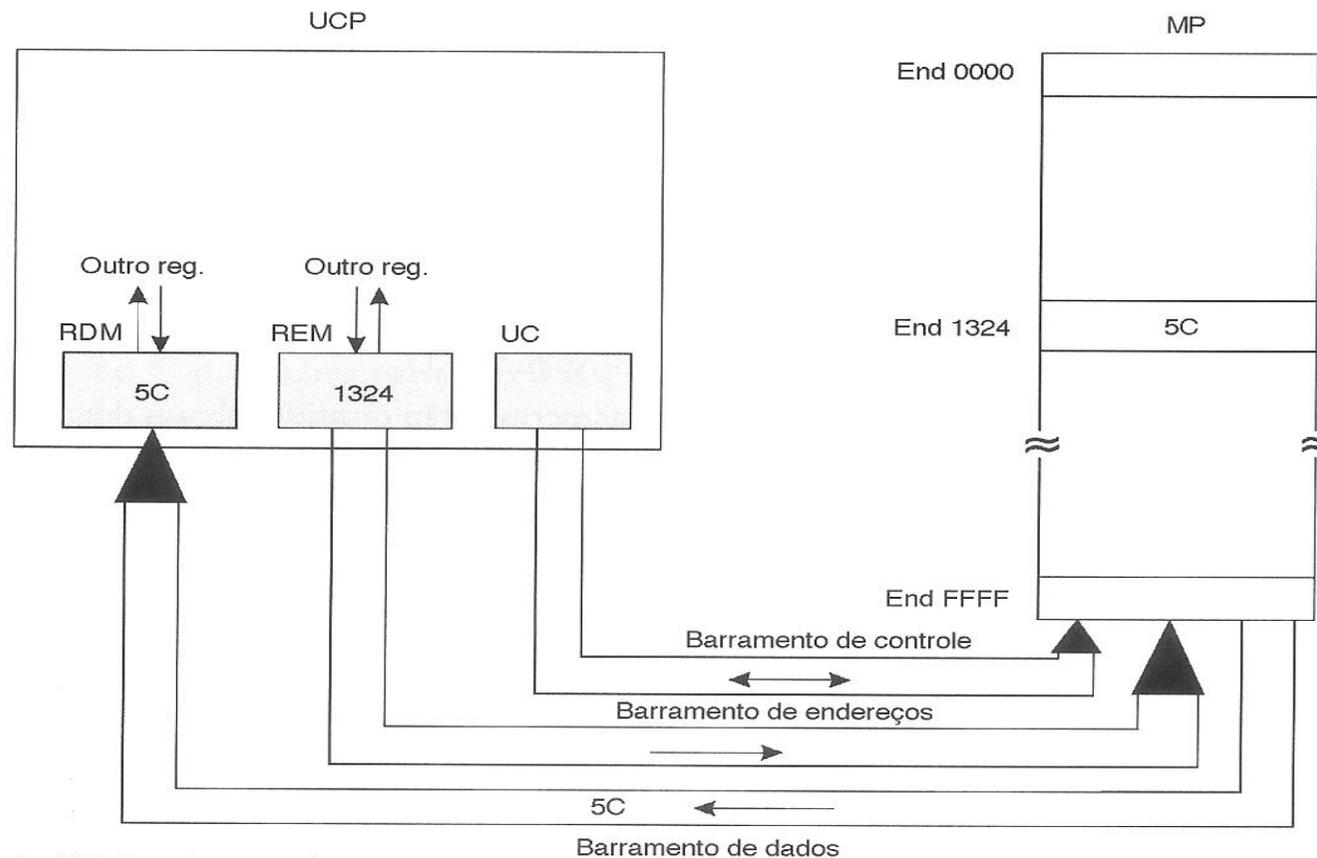
Operações do Processador com a MP

- Barramento de Dados
 - Interliga o Registrador de Dados da Memória (RDM) à MP, para transferência de informações entre o processador e a MP
 - Bidirecional (escrita/leitura)
- Barramento de Endereços
 - Interliga o Registrador de Endereços da Memória (REM) à MP para transferência de bits que representam um determinado endereço
 - Unidirecional (somente o processador aciona a MP)
- Barramento de Controle
 - Conjunto de fios condutores que interliga o processador e a MP
 - Bidirecional (Processador envia sinais de controle como READ ou WRITE e a MP envia sinais como WAIT)

Operações do Processador com a MP

- Para simplificar a descrição dos procedimentos realizados internamente, será adotada a convenção da LTR
 - Linguagem de Transferência entre Registradores - LTR
 - Princípios básicos da LTR:
 - Parênteses indicam conteúdo
 - Seta indica transferência de conteúdo entre registradores ou entre registrador e MP
 - $(REM) \leftarrow (CI)$: conteúdo do registrador CI é copiado para registrador REM
 - $(RDM) \leftarrow (MP(REM))$: conteúdo da célula da MP cujo endereço está em REM é copiado para RDM

Operação de Leitura



- 1 - (REM) ← (outro reg.)
- 1a - O endereço é colocado no barramento de endereços
- 2 - Sinal de leitura no barramento de controle (decodificação)
- 3 - (RDM) ← (MP (REM))
- 4 - (outro reg.) ← (RDM)

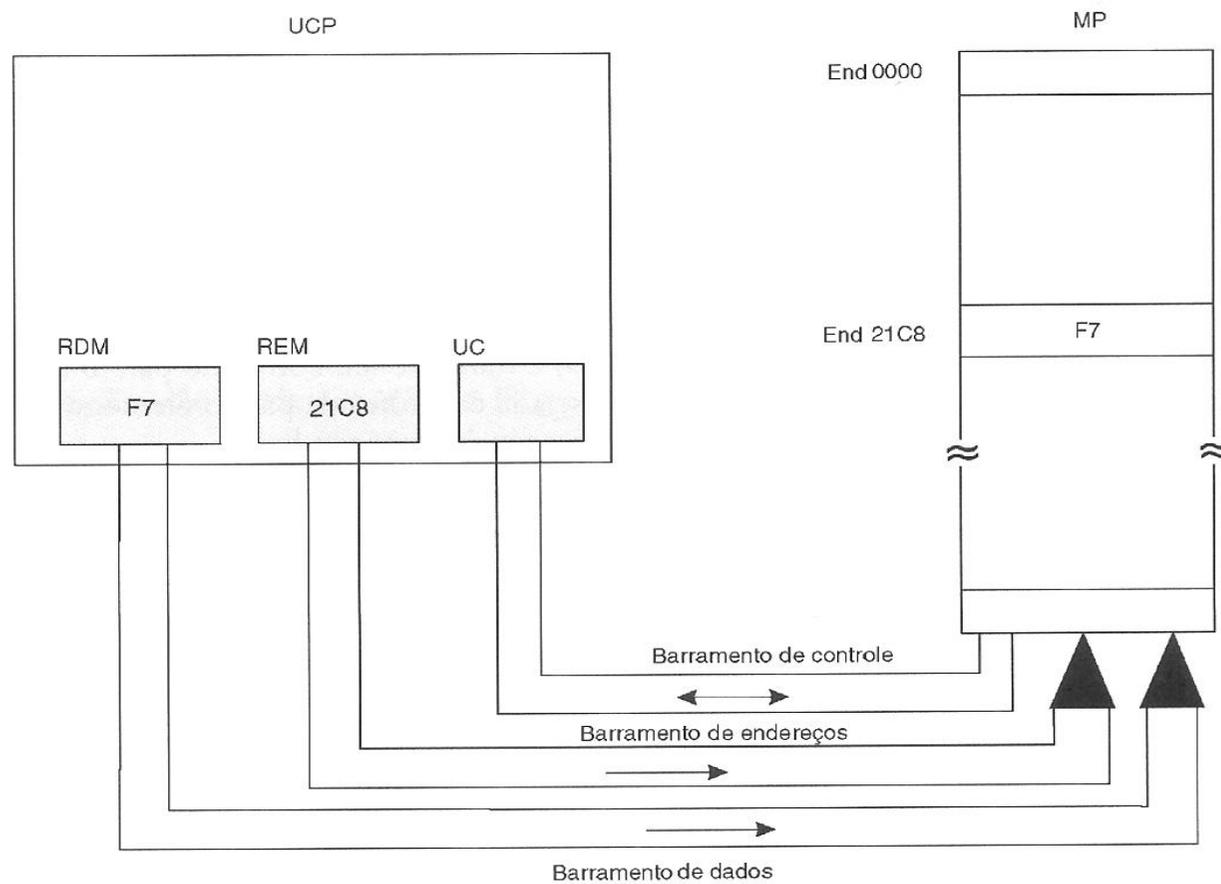
Figura 4.13 Exemplo de operação de leitura.

Operação de Leitura

- Passos simplificados para uma operação de leitura
 1. (REM) \leftarrow (outro registrador do processador)
 - Endereço é colocado no BE
 2. Sinal de leitura no BC
 - Controlador de memória decodifica endereço e localização da célula
 3. (RDM) \leftarrow (MP(REM)) através do BD
 4. (Outro registrador do processador) \leftarrow (RDM)

Operação de Escrita

104 / Memória Principal



O valor F7 é escrito no endereço 21C8 (valor antigo = 3A)

Figura 4.14 Exemplo de operação de escrita.

Operação de Escrita

- Passos simplificados para uma operação de escrita
 1. (REM) \leftarrow (outro registrador do processador)
 - Endereço é colocado no BE
 2. (RDM) \leftarrow (outro registrador do processador)
 - Dado é colocado no BD
 3. Sinal de escrita no BC
 - Controlador de memória decodifica endereço e localização da célula
 4. (MP(REM)) \leftarrow (RDM) através do BD

Capacidade da Memória Principal

- A memória principal é um conjunto de N células
- Cada célula armazena M bits
- O total de bits que pode ser armazenado na memória é dado por:

$$T = N \times M$$

- N células = N endereços
- Cada endereço possui E bits, tal que

$$N = 2^E$$

Capacidade da Memória Principal

Exemplo:

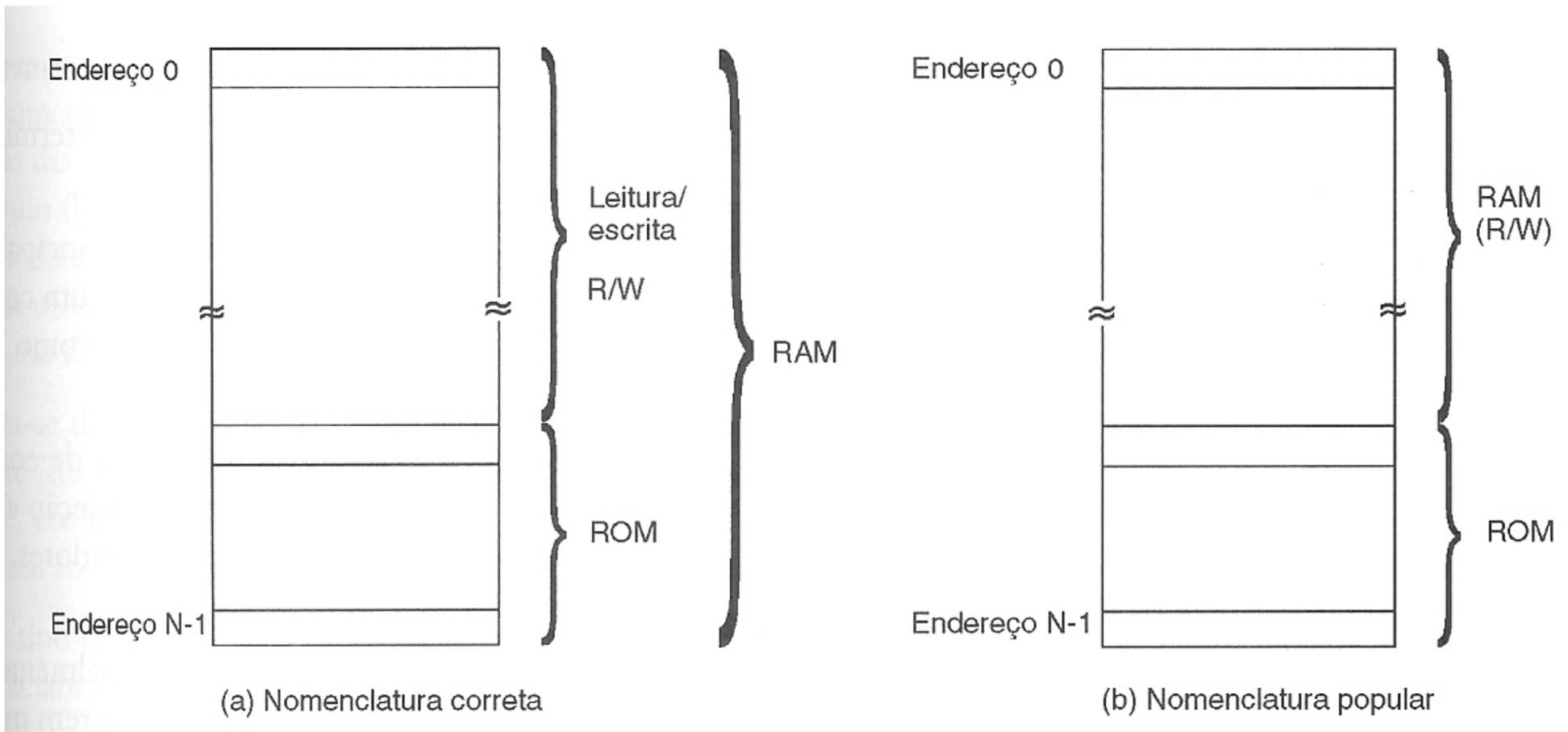
- MP tem espaço de endereçamento de 2K
- Cada célula armazena 16 bits.
- Qual a capacidade da MP e o tamanho de cada endereço?
 - $2K = 2 \times 2^{10} = 2^{11} \rightarrow$ endereços de 11 bits
 - $2^{11} \times 16 = 2^{11} \times 2^4 = 2^{15} = 32K$ bits
 - Capacidade de 4KB

Tipos e Nomenclatura da MP

- Random Access Memory (RAM)
 - O acesso ao dado é aleatório e constante independentemente da localização da célula
 - A tecnologia RAM pode ser usada para a construção de dois tipos de memória:
 - Memória para ler e escrever (R/W memory)
 - Memória volátil
 - Memória somente de leitura (ROM - Read Only Memory)
 - Memória não-volátil usada para armazenar operações para inicialização do sistema (boot)

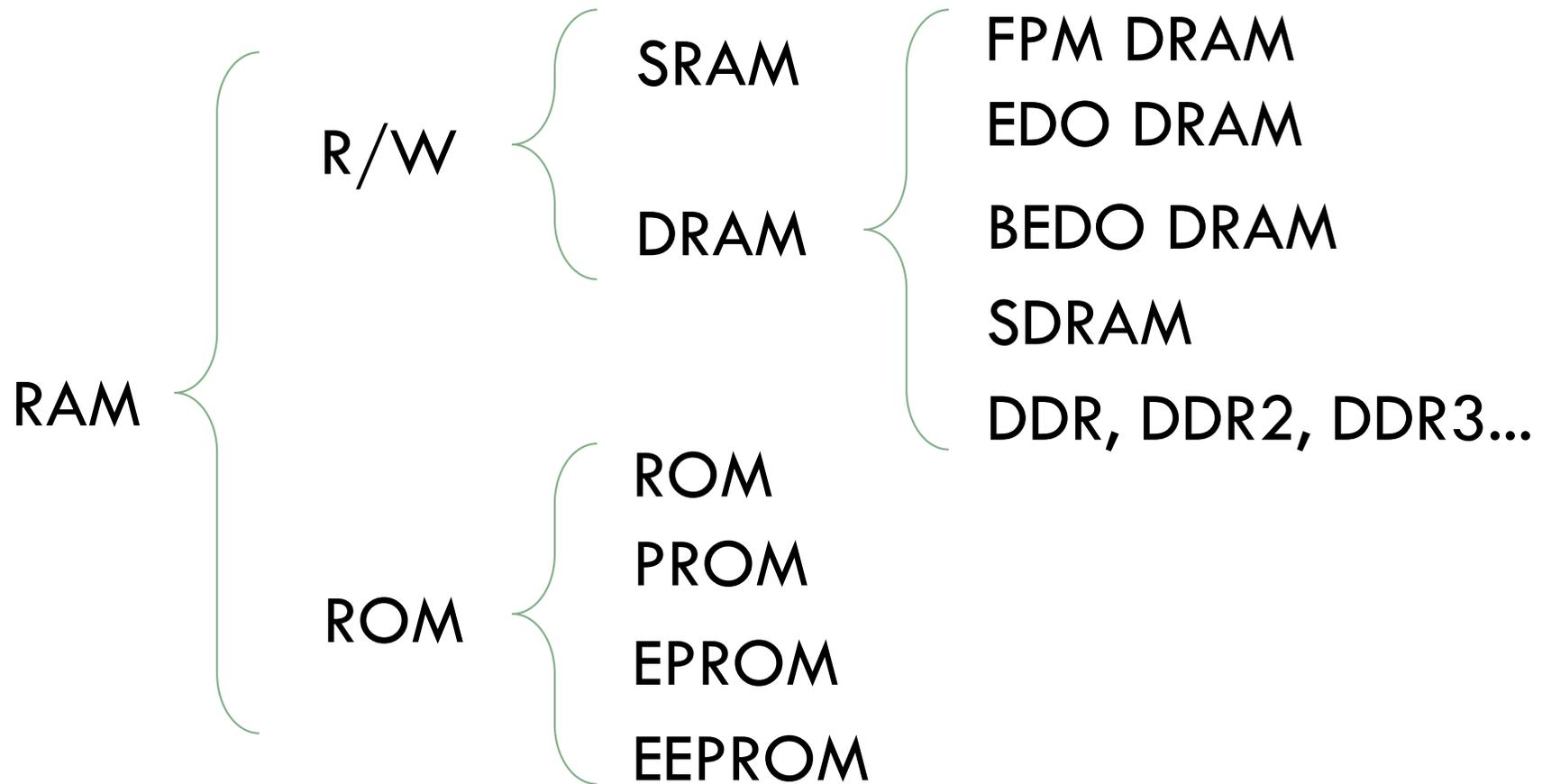
Tipos e Nomenclatura da MP

- Memória principal de um microcomputador PC



Tipos e Nomenclatura da MP

- Pode se classificar as memórias RAM do seguinte modo:



Tipos e Nomenclatura da MP

- Tipos de RAM (Random Access Memory) – R/W
- Podem ser agrupadas em duas grandes vertentes:
 - SRAM (Static RAM)
 - Mais rápida e de custo mais elevado
 - Usado na construção de memória cache
 - DRAM (Dynamic RAM)
 - Usado na construção da MP, memória mais compacta
 - Mais barata, mas leva mais tempo para acessar dados
 - Maior densidade de bits, podendo em um mesmo espaço armazenar um maior número de bits

Tipos e Nomenclatura da MP

- Tipos de ROM – Read Only Memory
 - ROM
 - Programa é gravado e não há possibilidade de recuperação de qualquer erro eventual no programa
 - PROM – Programmable ROM
 - A gravação de bits é posterior a fase de fabricação das pastilhas
 - EPROM – Erasable PROM
 - EEPROM – Electronically EPROM
 - Podem ser apagadas através de um processo especial e serem reutilizadas