Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - EESC-USP

SEL-0415 Introdução à Organização dos Computadores

Memórias

Aula 4

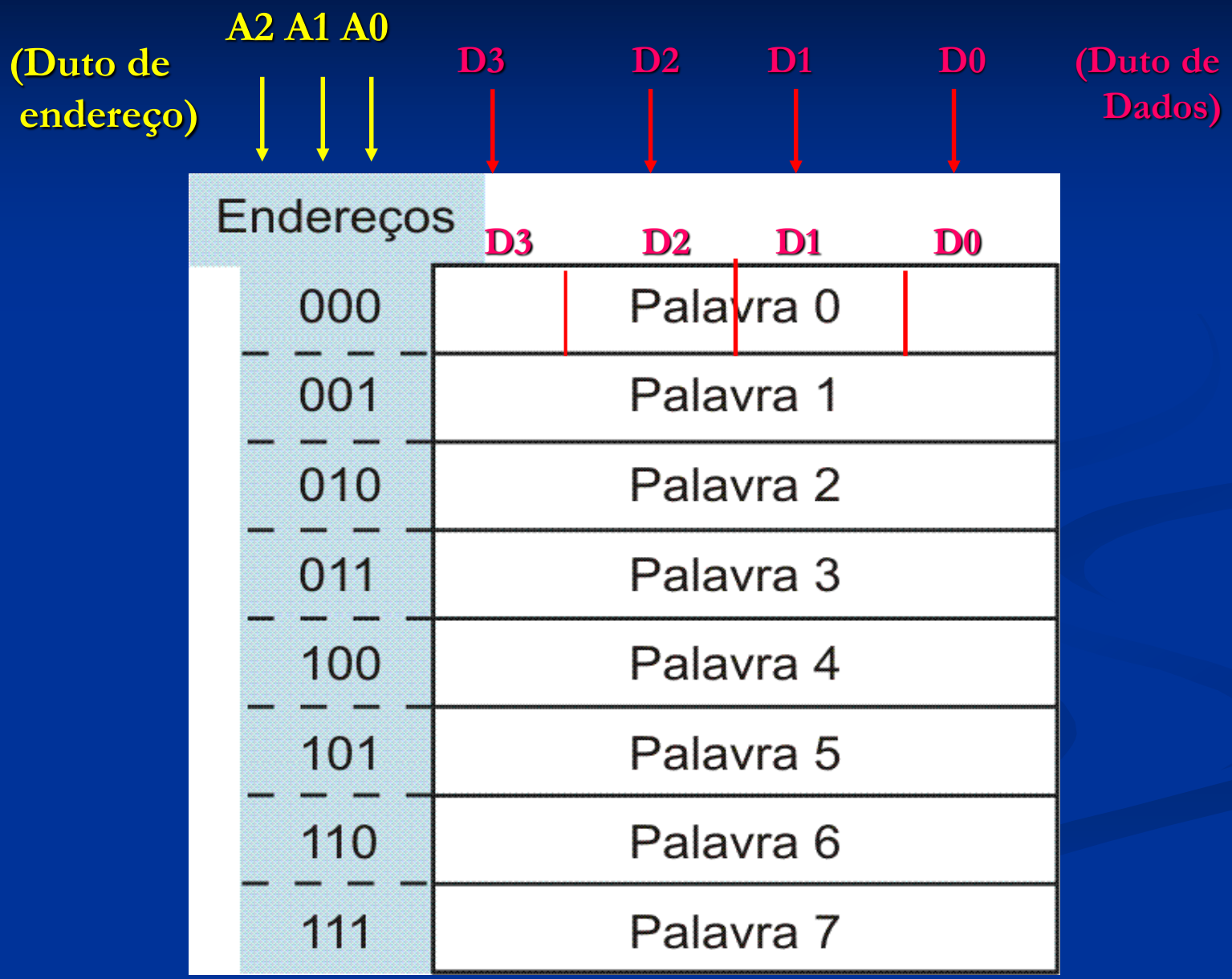
Prof. Luiza Maria Romeiro Codá

Memórias em um Microcomputador

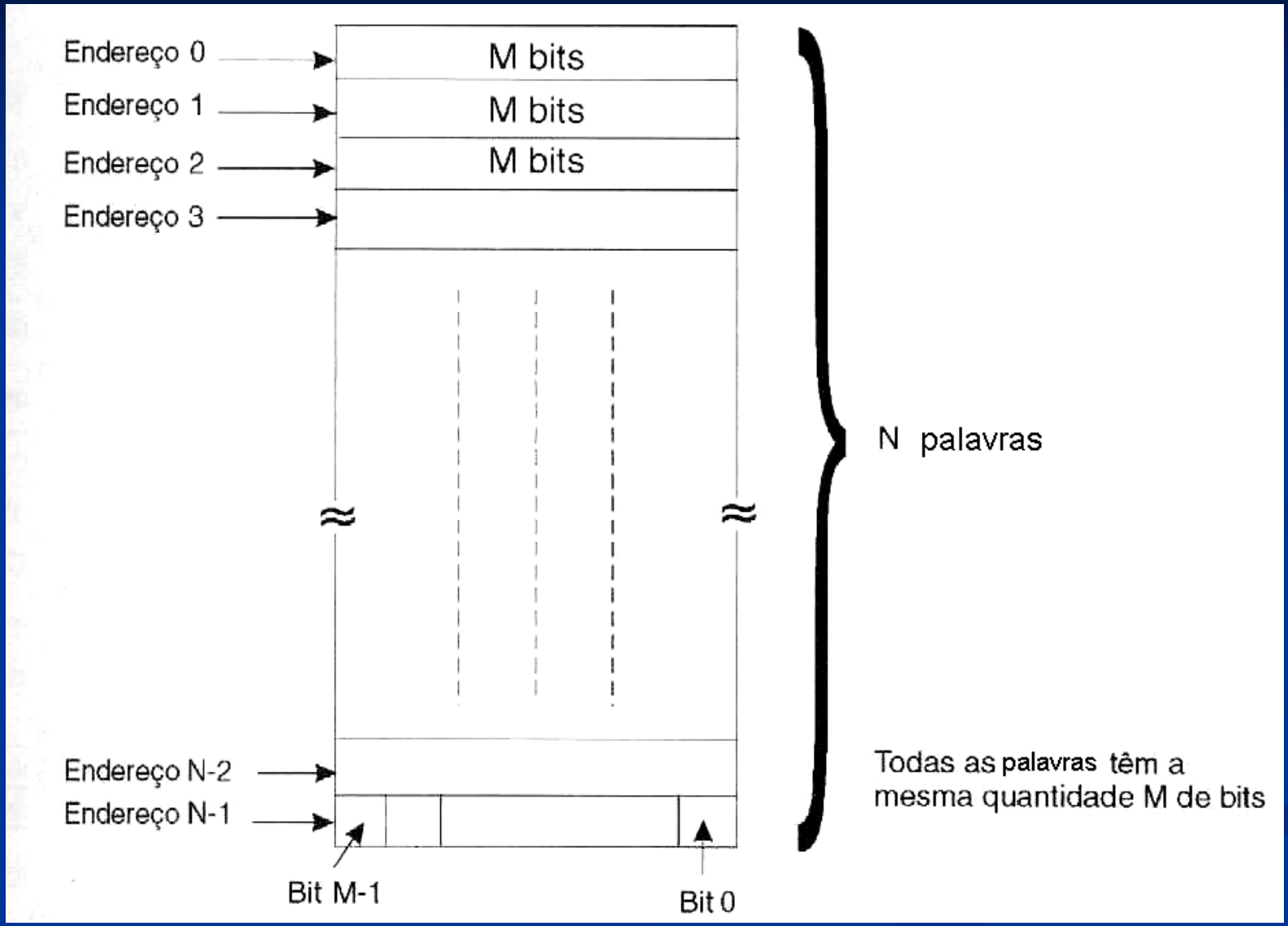
Memória

- é a parte do computador onde programas e dados são armazenados;
- é formada por um conjunto de células (ou posições), cada uma das quais podendo guardar uma informação;
- Todas as células de uma dada memória têm o mesmo número de bits;
- Os números que identificam (referenciam) a posição da célula na memória são chamados de Endereços.
- Endereços são indexadores pelos quais os programas podem referenciar dados na memória.
- Os computadores modernos agrupam as células (conjunto de bits) em Palavras (word)
- a Palavra é a parte mínima de dados que podem ser transferidos de/para a memória (MP)
- A informação na palavra pode ser um dado ou uma instrução

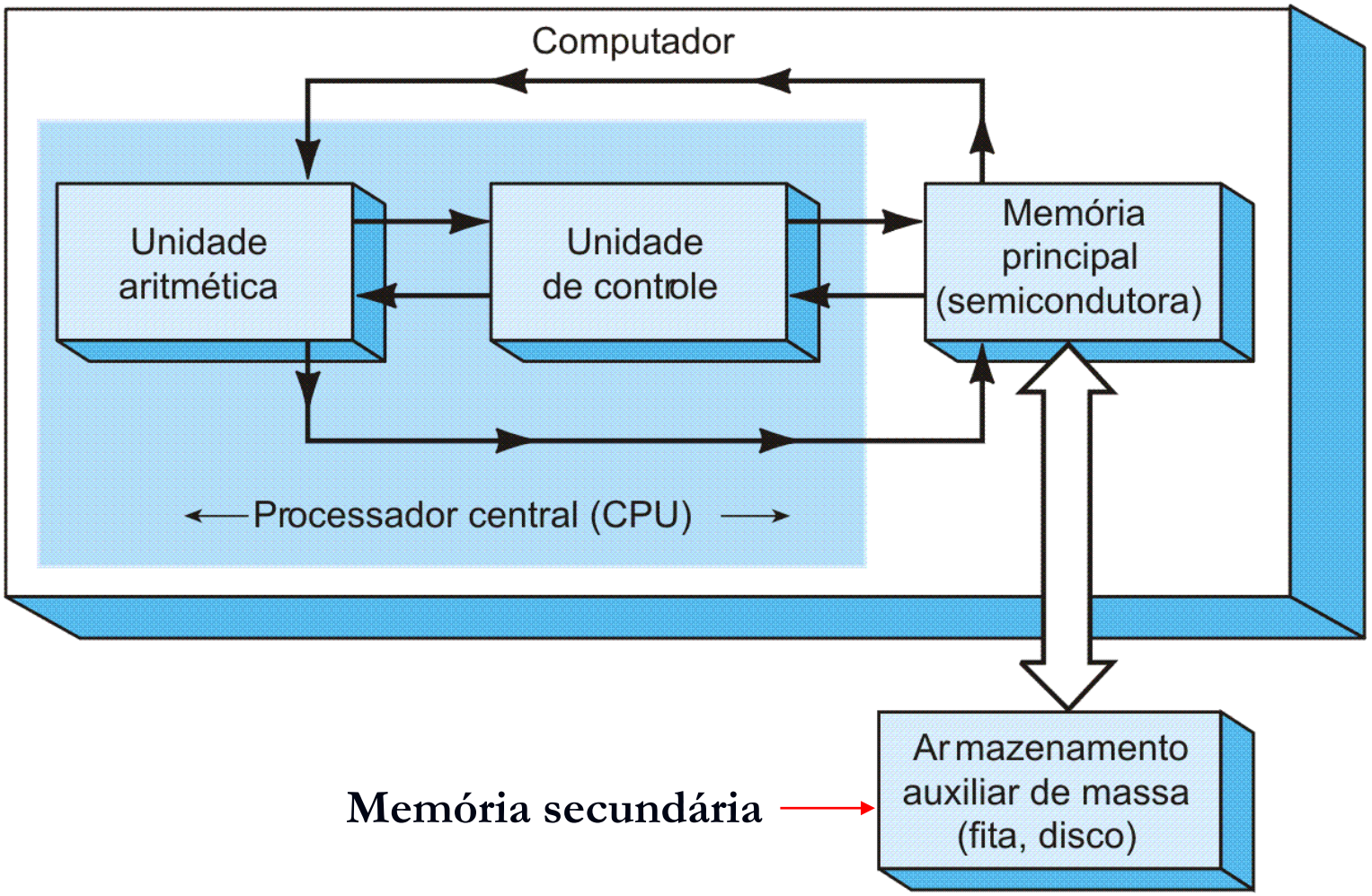
Memória


A2 A1 A0
(Duto de endereço)
D3
D2
D1
D0
(Duto de Dados)
Endereços
D3
D2
D1
D0
000
Palavra 0
001
Palavra 1
010
Palavra 2
011
Palavra 3
100
Palavra 4
101
Palavra 5
110
Palavra 6
111
Palavra 7

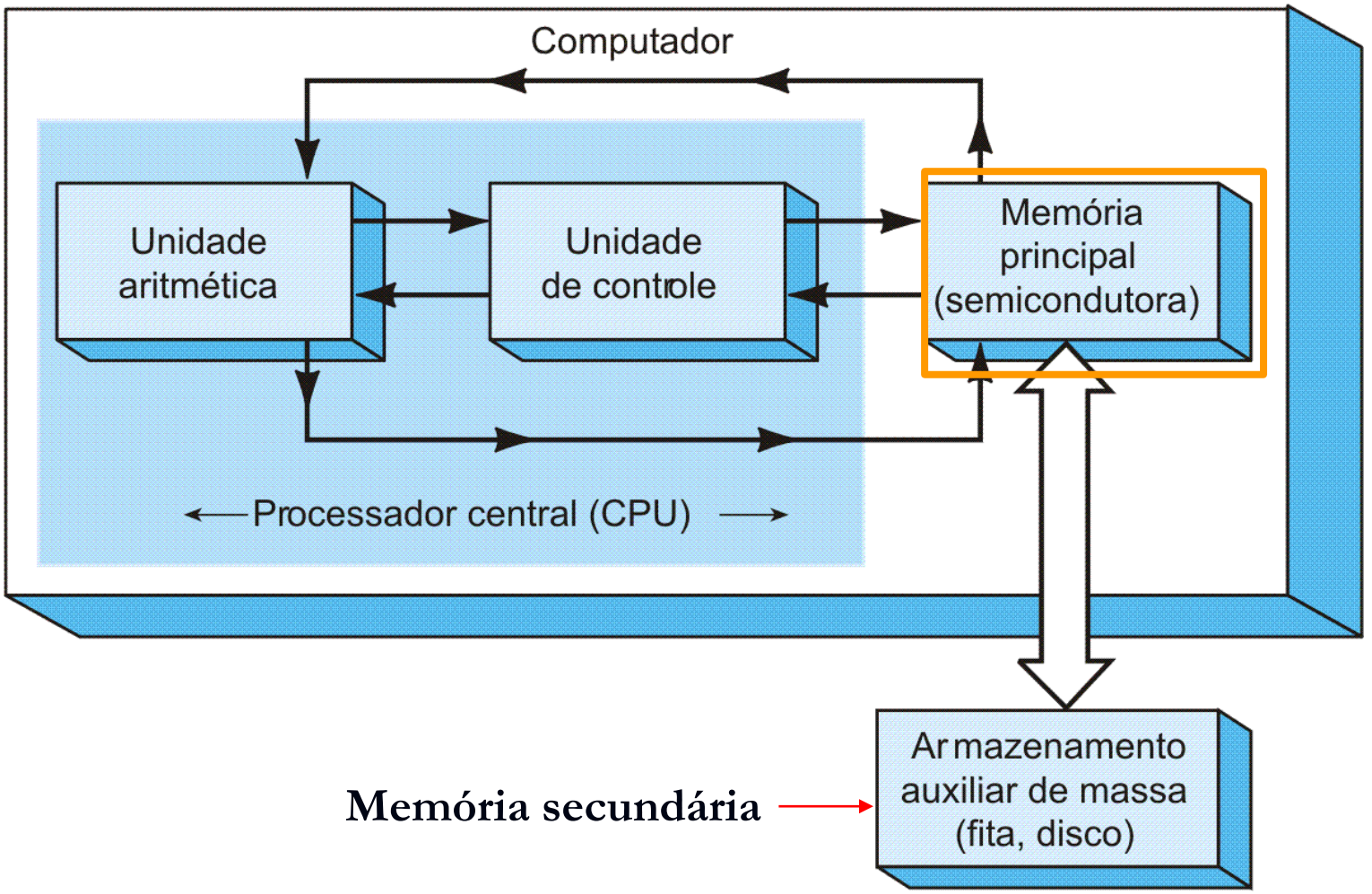
Memória de NxM



Memórias em um Microcomputador

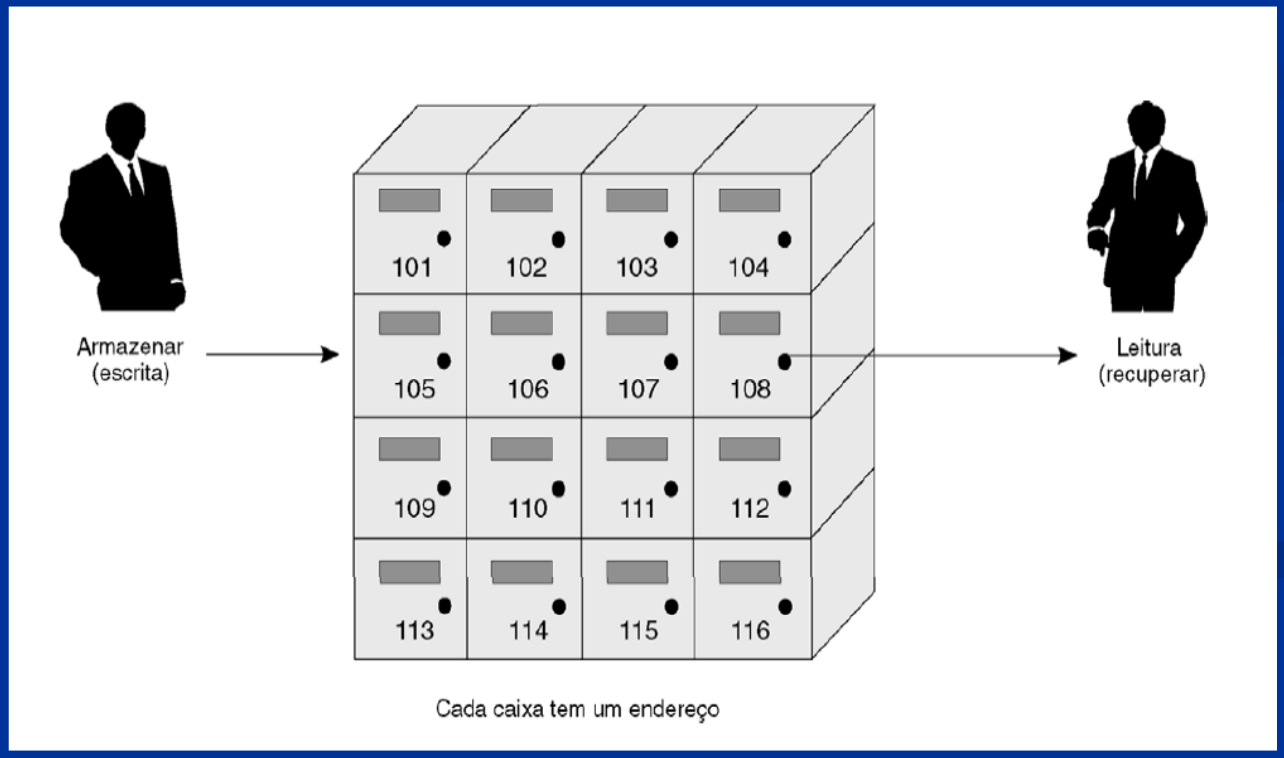


Memórias em um Microcomputador



Memória Principal: Memória Semicondutora

- Elemento Básico – FF tipo D (armazenamento de um bit)
- Registrador – Tipo mais simples
- Pode ser de escrita e leitura (RAM) ou apenas leitura(ROM)
- Deve ter um endereço específico para cada dado (célula)

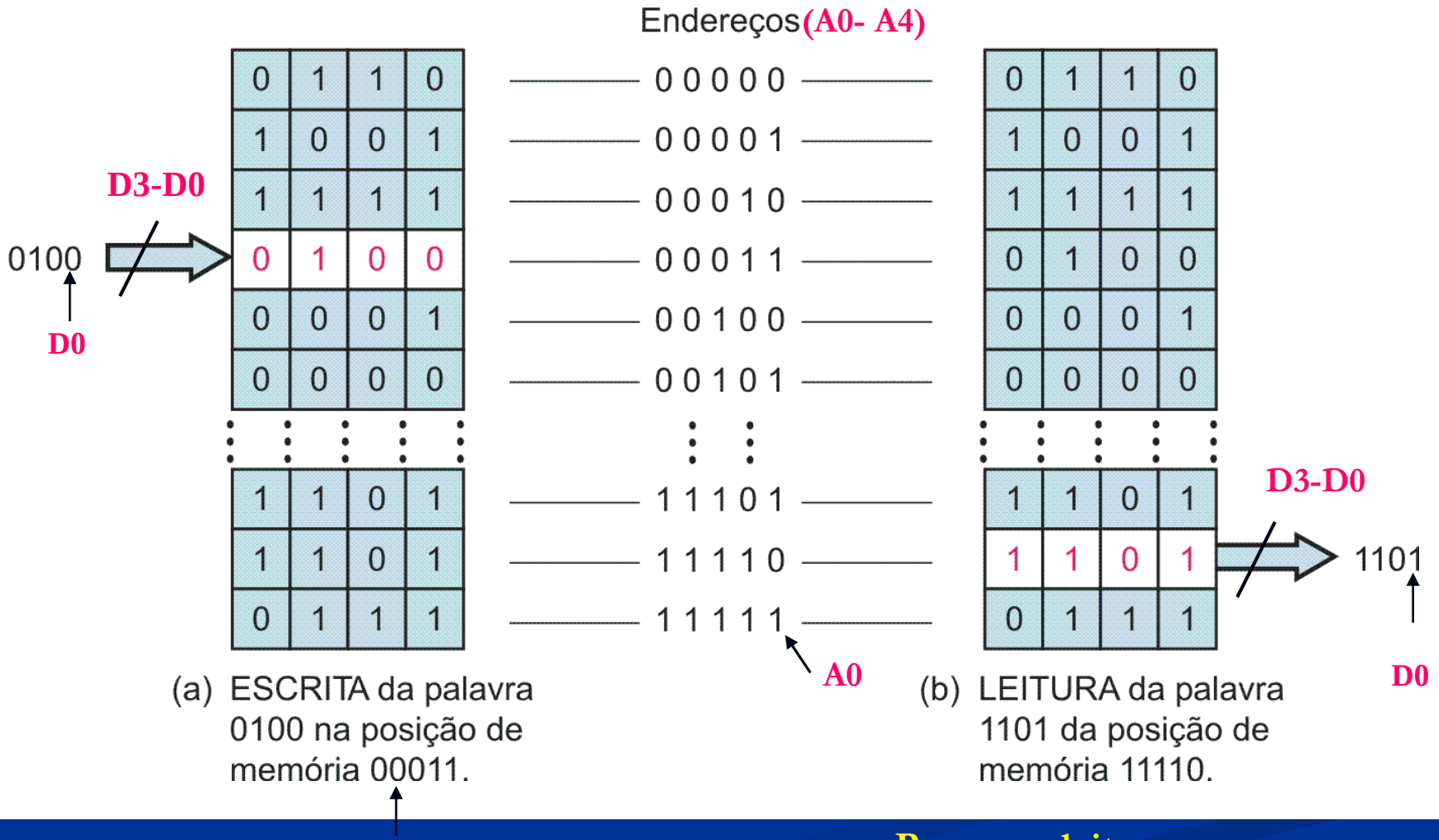


Memória: Escrita e Leitura

Leitura: Quando um valor é recuperado da memória, o conteúdo da palavra não é alterado. Apenas uma cópia será enviada pela memória para a CPU.

Escrita: A gravação de um novo conteúdo em uma palavra se dá com a destruição do conteúdo anterior. O valor é enviado pela CPU para a memória

Escrita e Leitura



Para essa escrita:

O microprocessador coloca no duto de endereços o valor 00011

Para essa leitura:

O microprocessador coloca no duto de endereços o valor 11110

Memórias

- **Organização:** $2^{ne} \times n_d$

ne = n.o de bits de endereço
n_d = número de bits de dados

Exemplo:

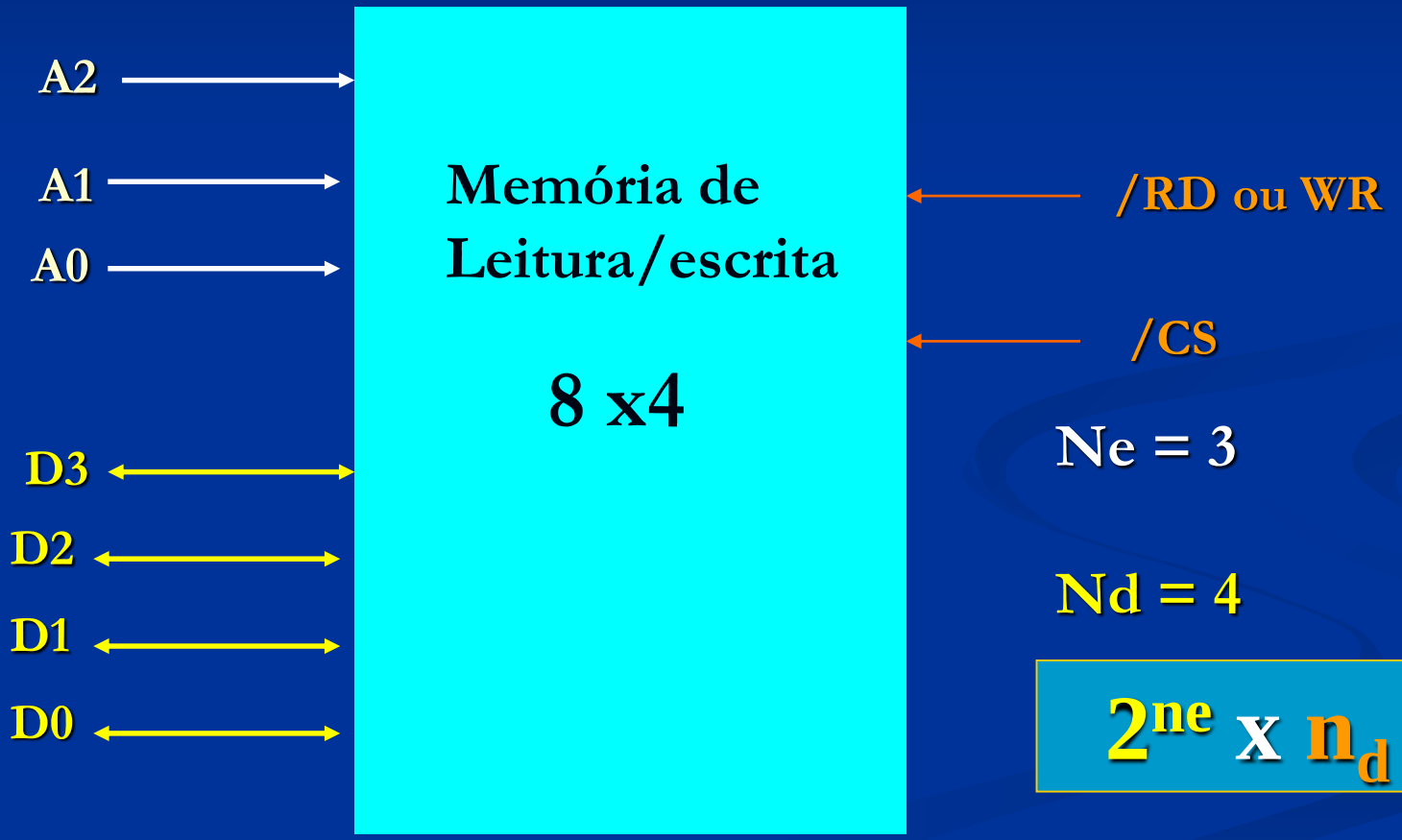
$n_e = 4$
$n_d = 4$

→ 16 x 4
(16 palavras de 4 bits)

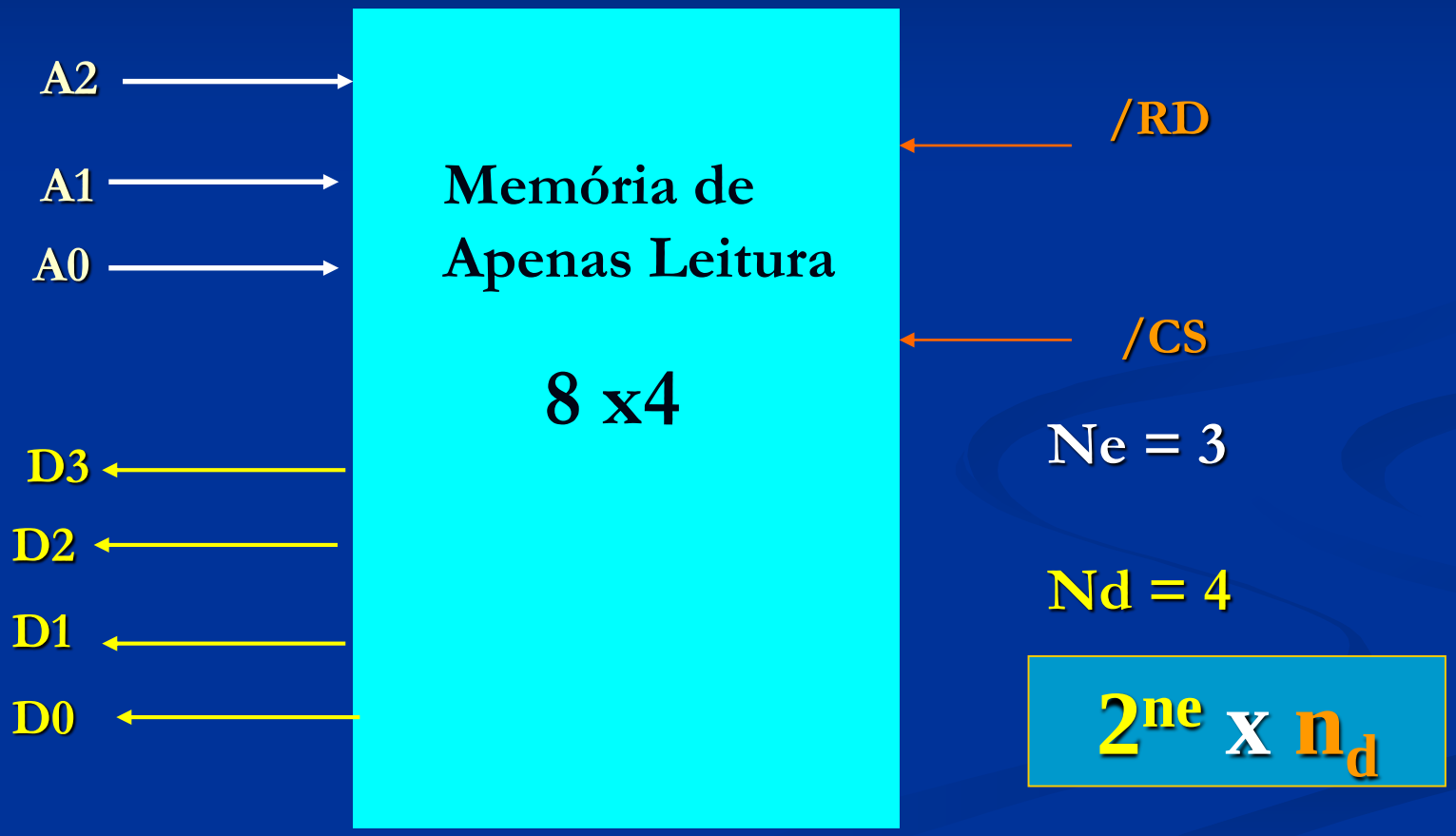
* 1K x 1 : 1024 palavras de 1 bit
* 16K x 8: 16K palavras de 8 bits
* 64K x 8: 64K palavras de 8 bits

Representação de Memórias de leitura/escrita(RAM) de 8x4

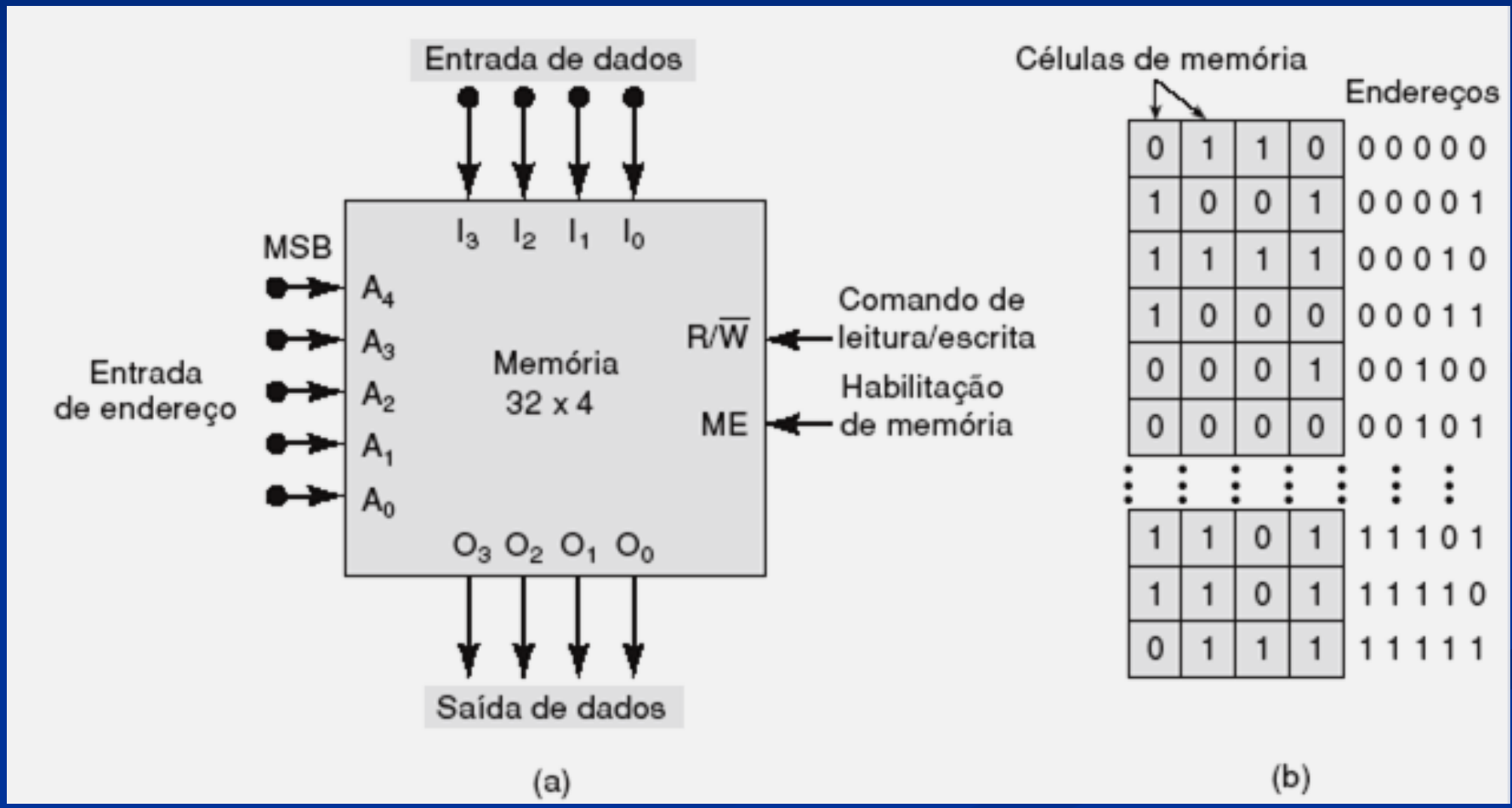
Outra maneira:Representação de Memórias de leitura/escrita(RAM) de 8x4



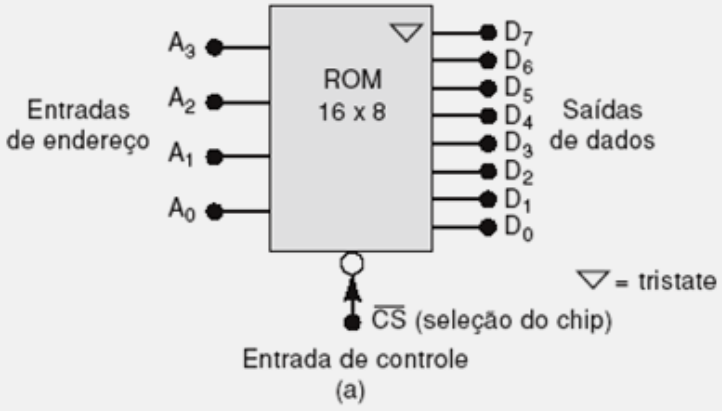
Representação de Memórias de leitura (ROM) de 8x4



CI de Memória Semicondutora de escrita e leitura (RAM)



CI de Memória Semicondutora somente de leitura (ROM)



(a)

	Endereço				Dados							
Palavra	A_3	A_2	A_1	A_0	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
9	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0
11	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
13	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
14	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
15	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1

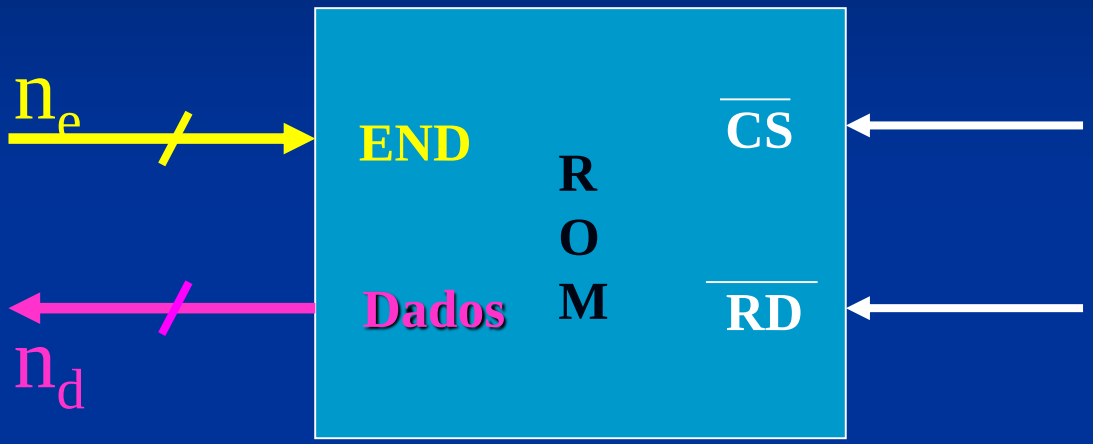
(b)

	Endereço	Dados
Palavra	A_3 A_2 A_1 A_0	D_7–D_0
0	0	DE
1	1	3A
2	2	85
3	3	AF
4	4	19
5	5	7B
6	6	00
7	7	ED
8	8	3C
9	9	FF
10	A	B8
11	B	C7
12	C	27
13	D	6A
14	E	D2
15	F	5B

(c)

Memórias Semicondutoras

- **Representação - Conjunto de Sinais:**



n_e: numero de linhas de endereço

n_d: número de linhas de dados

Memórias Semicondutoras

Descrição dos Sinais :

- **END**: duto de endereço
  - ✓ Especifica uma posição de memória.
  - ✓ Através do número de linhas de endereço, n_e, pode-se determinar o número de palavras da memória.

Exemplo: ne = 10 ⟶

nº de palavras = 2^{10} = 1024 = 1K palavras

Memórias Semicondutoras

Descrição dos Sinais :

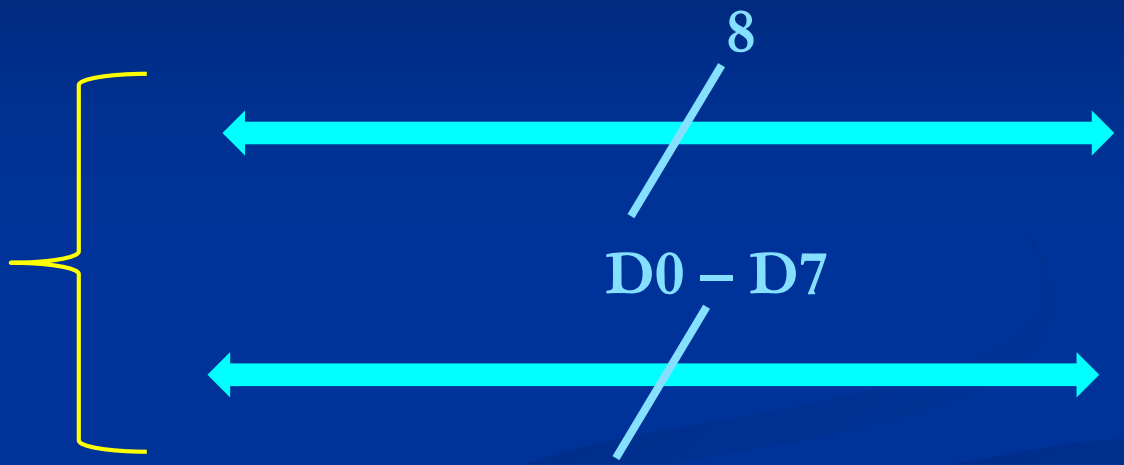
- **DADOS:** duto de dados
  - ✓ Contém o valor que foi lido ou que será gravado em uma determinada posição.
  - ✓ O número de bits desse duto, n_d, especifica o tamanho da palavra da memória.

Exemplo: $n_d = 8$ ⟶

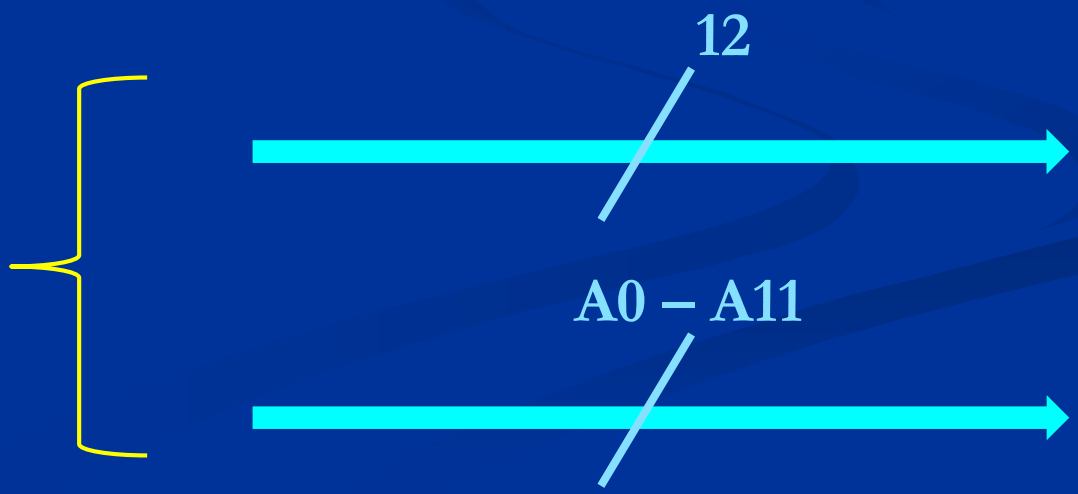
Tamanho da palavra = 8

Barramentos (dutos) para conexão de uma memória em um microprocessador

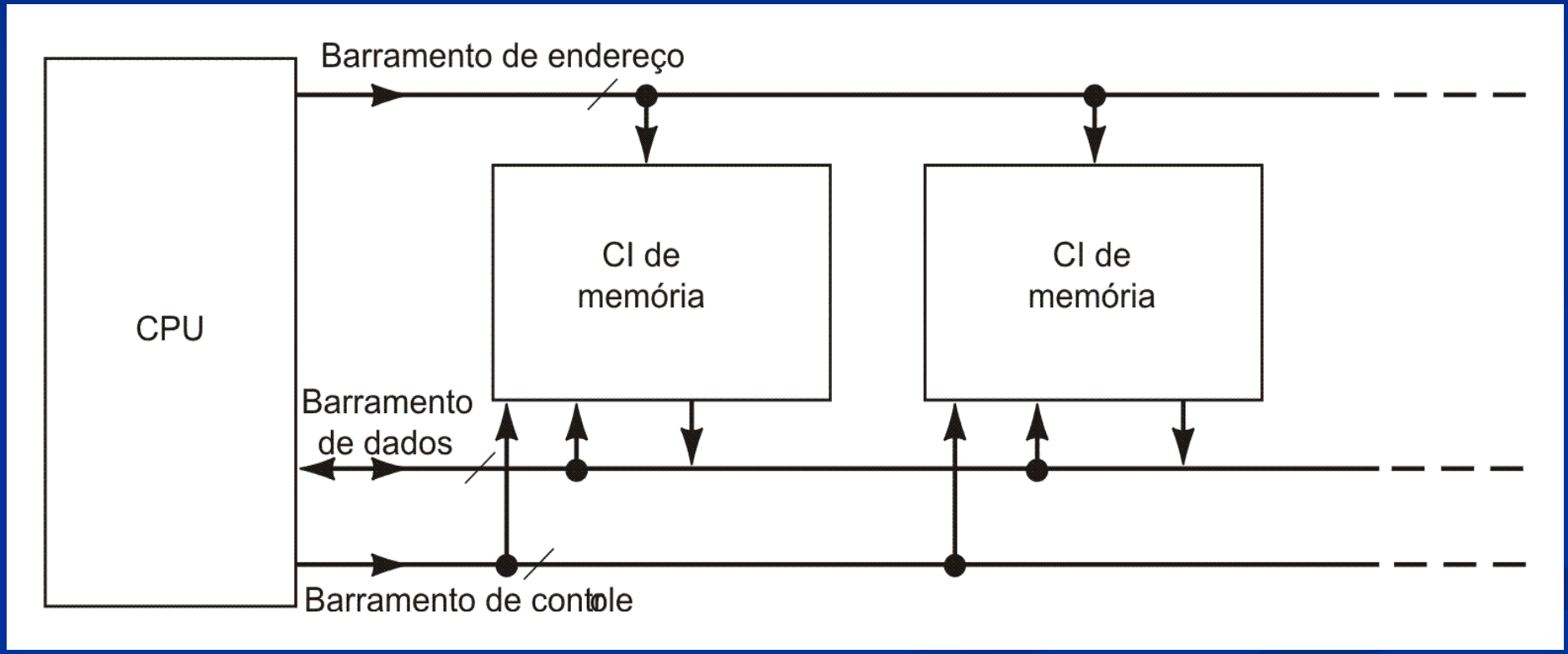
- **Duto de dados**
  - Bidirecional



- **Duto de endereços**
  - Unidirecional

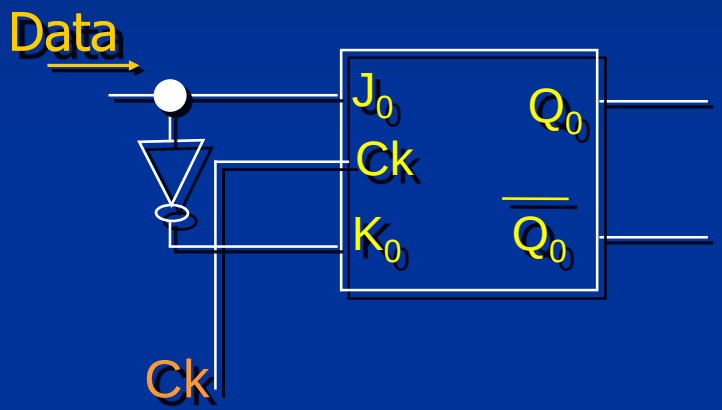


Barramentos para conexão de uma memória em um microprocessador



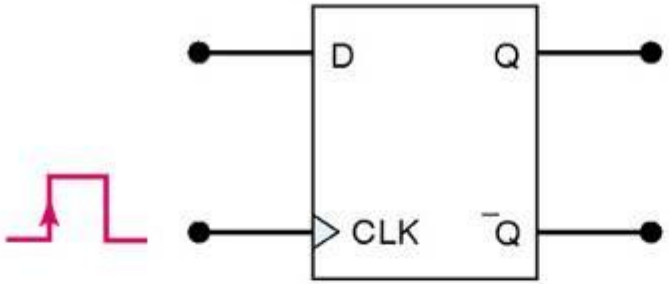
Memórias Semicondutoras

Elemento Básico de 1 bit



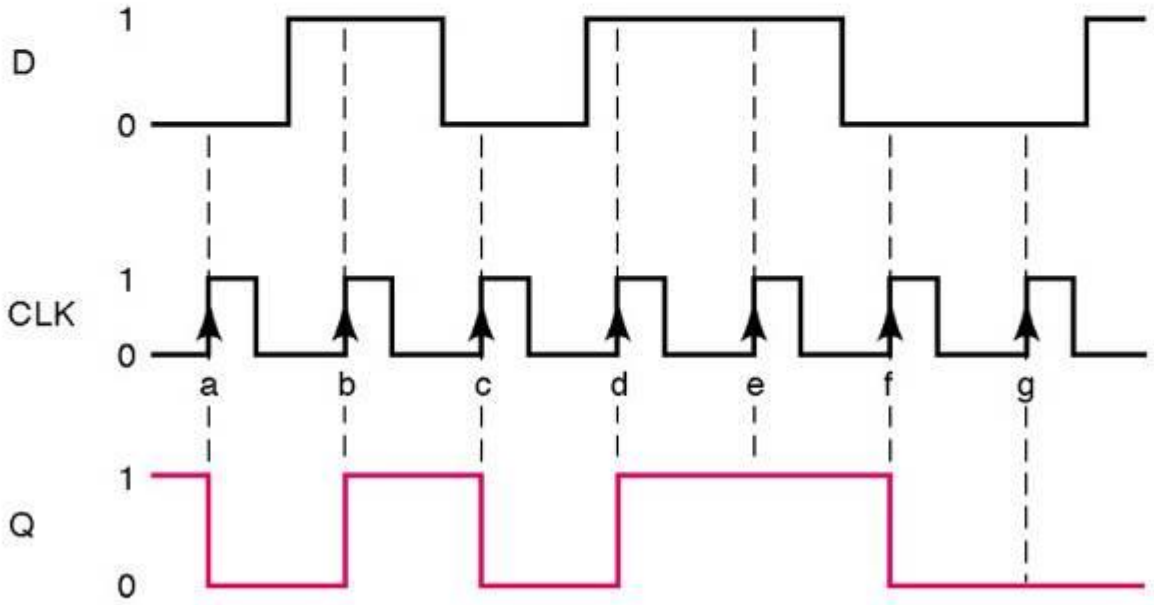
J	K	Q
0	0	Q_0
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_0}$

Flip-Flop Tipo D



D	CLK	Q
0	↑	0
1	↑	1

(a)

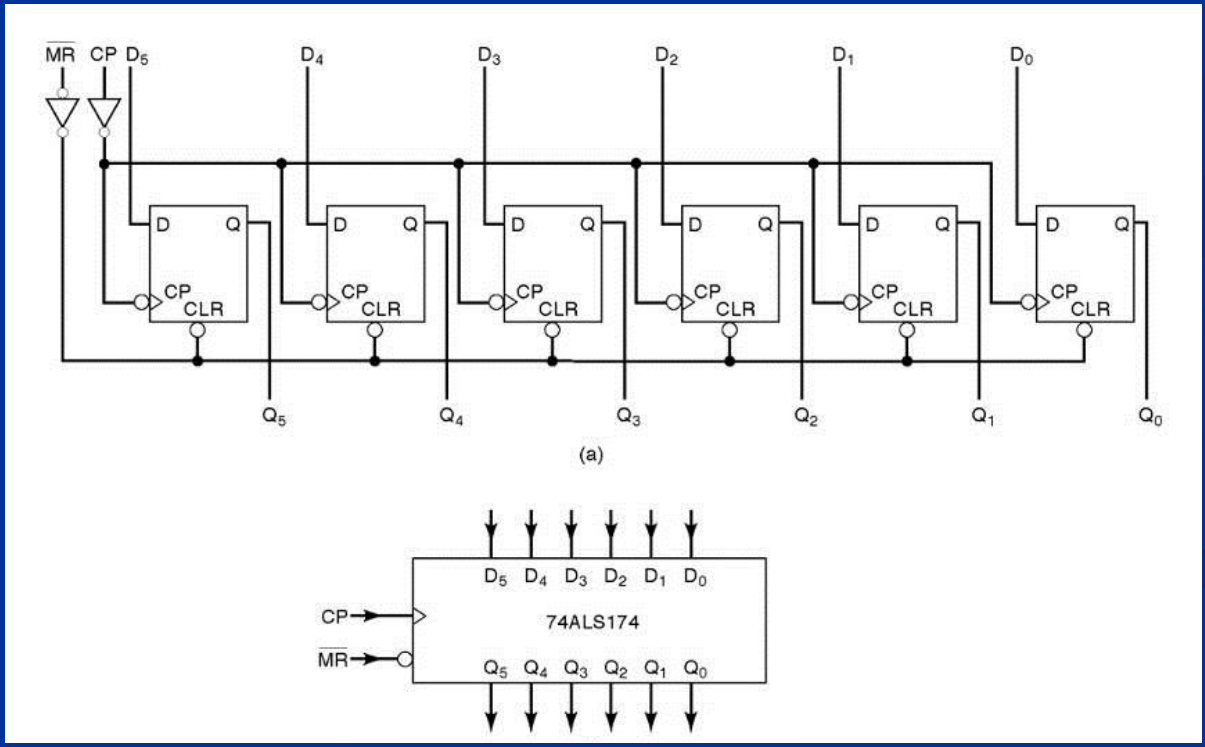


(b)

Registrador

elemento simples de memória com mais de 1 bit: ex: uma palavra

- Conjunto de células de memória utilizado para armazenamento de dados
- Armazenamento de informações com mais de 1 bit (tipo mais simples de MEMÓRIA)



Arquitetura Interna da memória semicondutora

elemento de memória com mais de uma palavra

- Célula básica

- Circuito para endereçamento (Decodificadores)

- Portas de I/0 de dados

- Circuito de controle

Célula Básica R/W

Endereçamento

Entrada de Dados

Saída de Dados

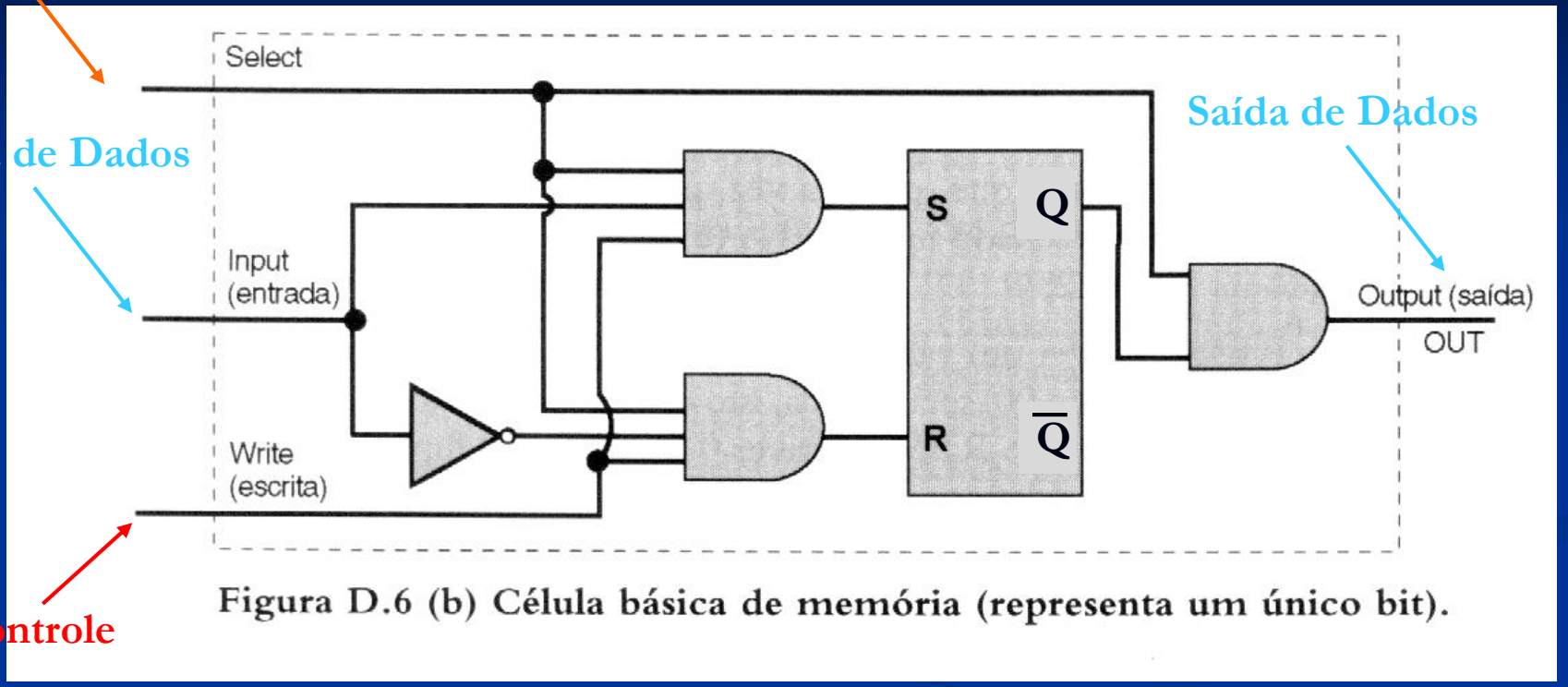


Figura D.6 (b) Célula básica de memória (representa um único bit).

Controle

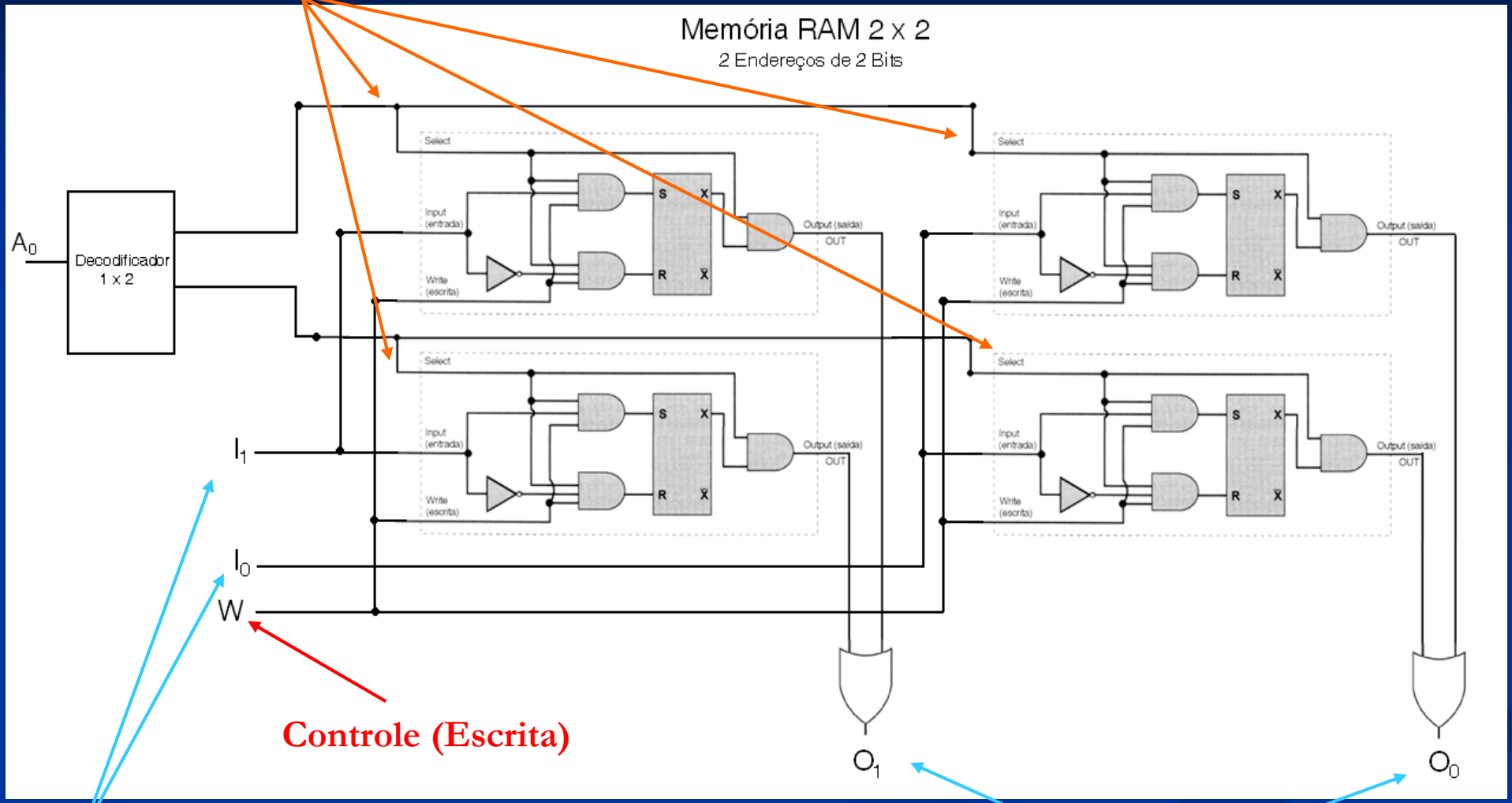
Select	Write	Input	Output
1	1	0	0
1	1	1	1
0	x	x	0
1	0	x	Q

Modo escrita

→ Desabilitado

→ Modo leitura

Endereçamento



Controle (Escrita)

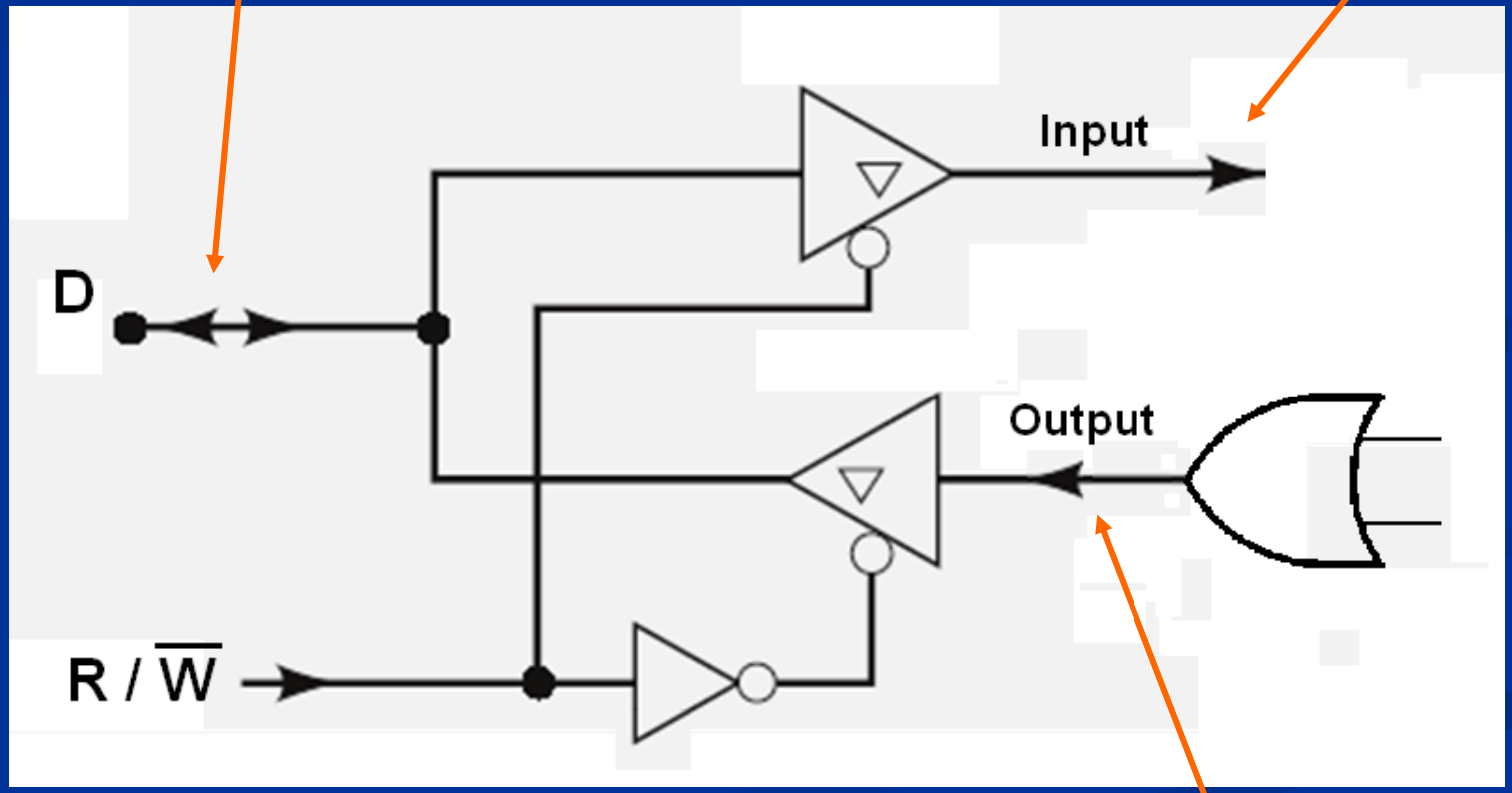
Entrada de Dados

Saída de Dados

Duto de Dados Bidirecional (Memórias RAM)

Entrada e saída de dados (bidirecional: escrita e leitura)

Entrada de dados (escrita)



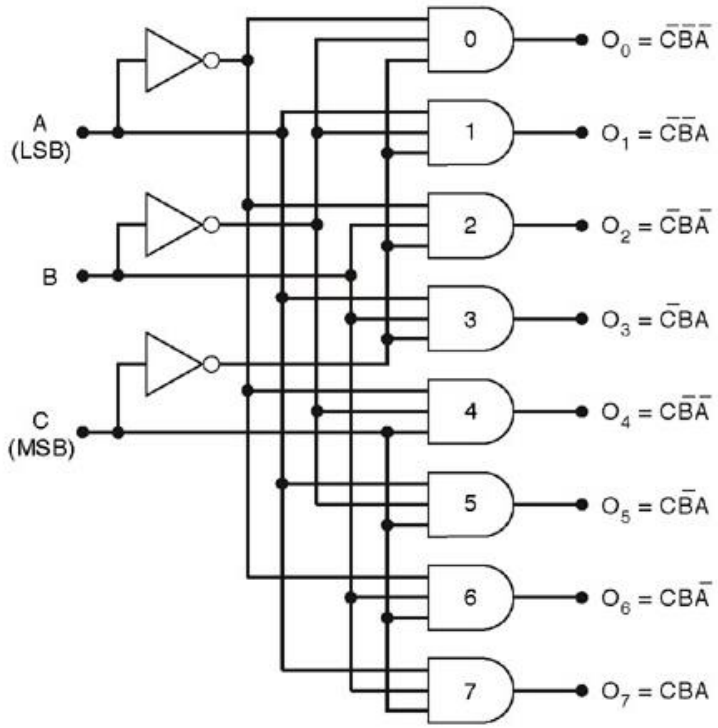
Saída de dados (leitura)

DECODIFICADORES (Endereçamento da posição da memória no chip)

- Circuito digital que faz a conversão de um código para outro;
- Na maioria das vezes recebe um número binário na entrada e ativa apenas 1 saída, correspondente ao número decodificado;
- São utilizados para o endereçamento de memórias (geração de produtos canônicos)
- Em geral estão integrados junto aos FF nas memórias semicondutoras

DECODIFICADORES

3. Binário → Decimal



C	B	A	O_7	O_6	O_5	O_4	O_3	O_2	O_1	O_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

TIPOS DE ENDEREÇAMENTO

a) Linear :

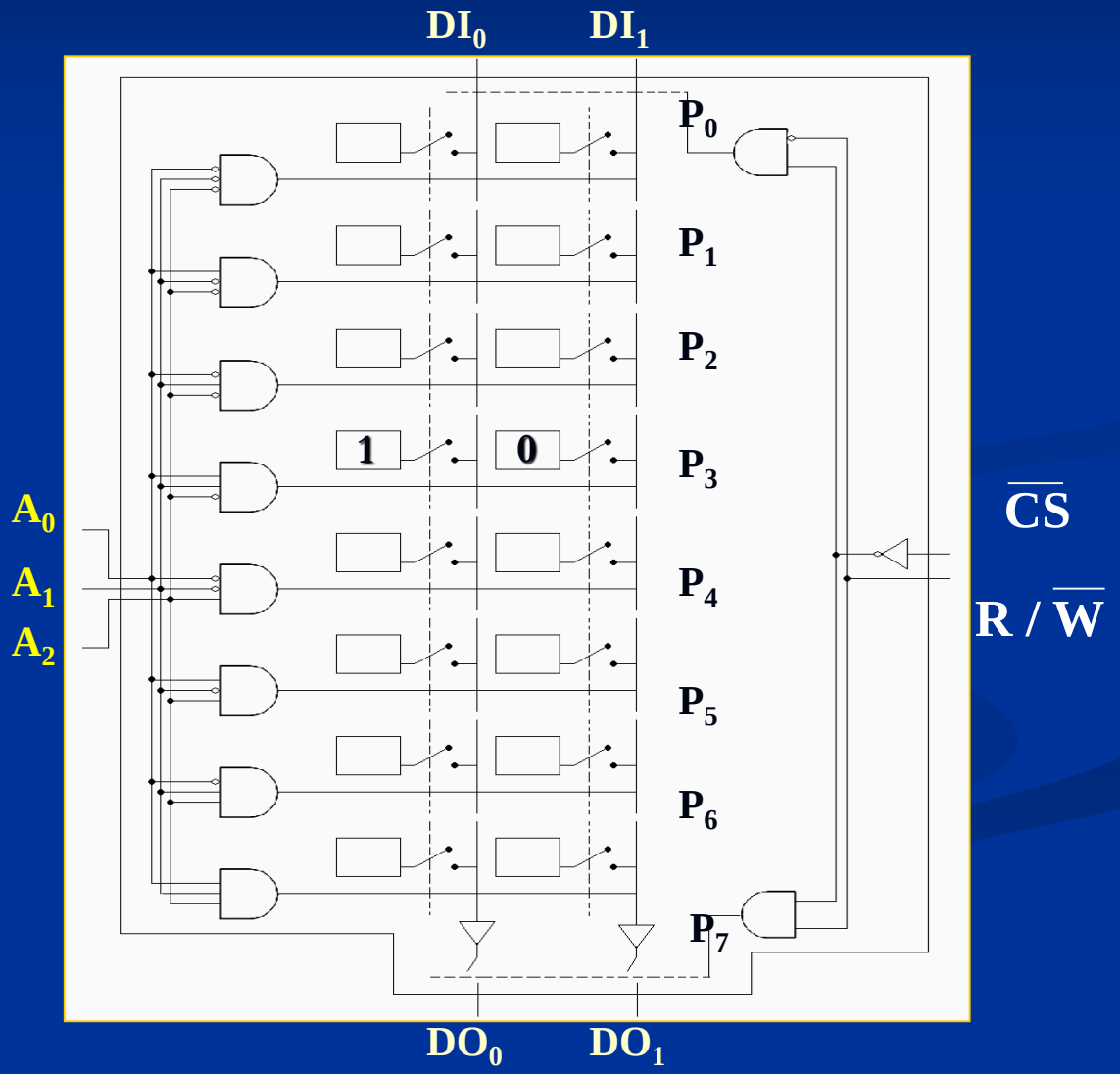
* Exemplo:
memória 8 x 2

$n_e = 3 : A_2A_1A_0$

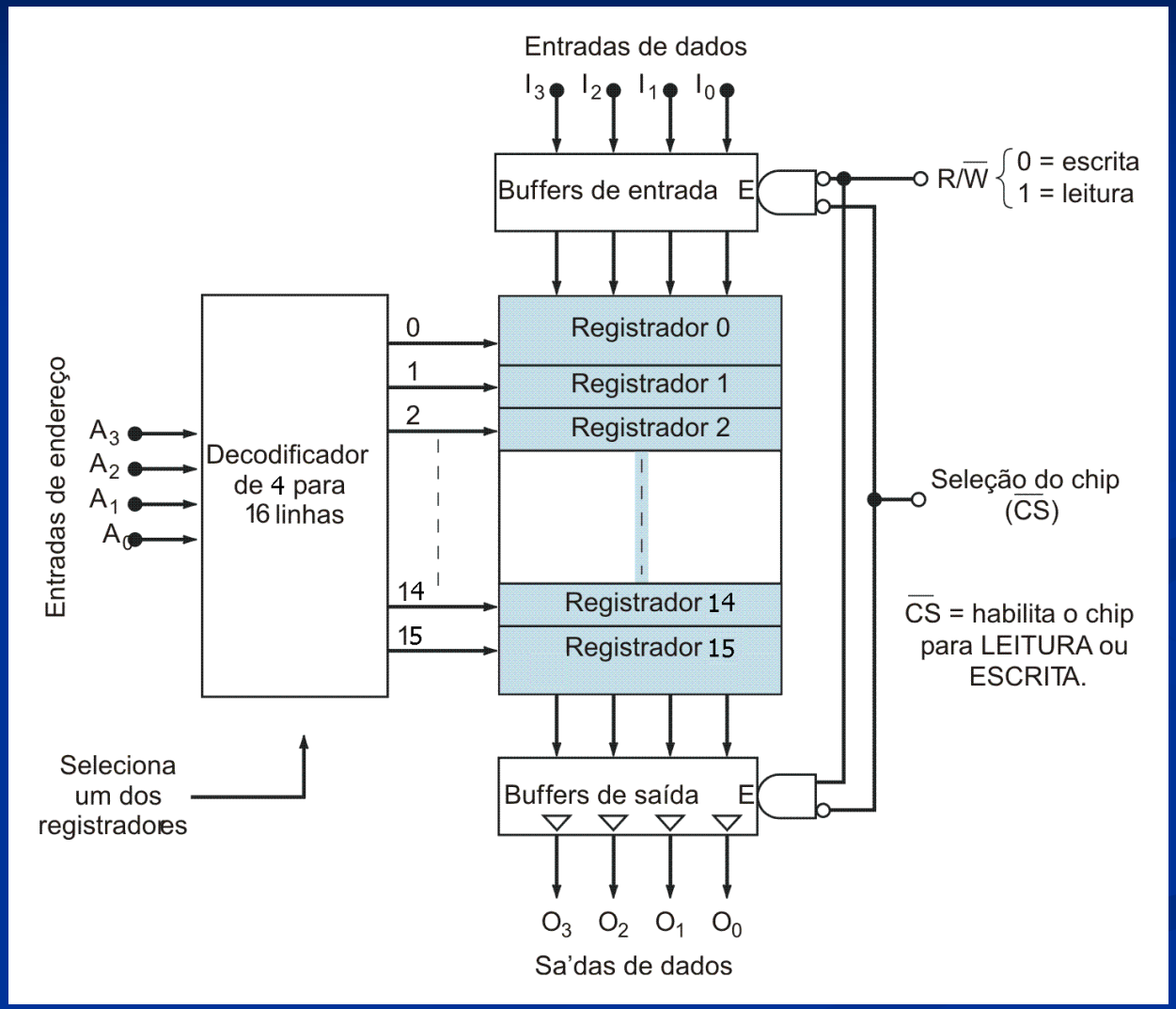
MSB

$n_d = 2 : D_1\ D_0$

MSB



Arquitetura de uma RAM 16× 4 (decodificação linear)



TIPOS DE ENDEREÇAMENTO DAS CÉLULAS DAS MEMÓRIAS

b) Matricial (ou bidimensional): decodificadores de linhas e colunas

- Este arranjo requer menor número de linhas e colunas, e decodificadores menores.

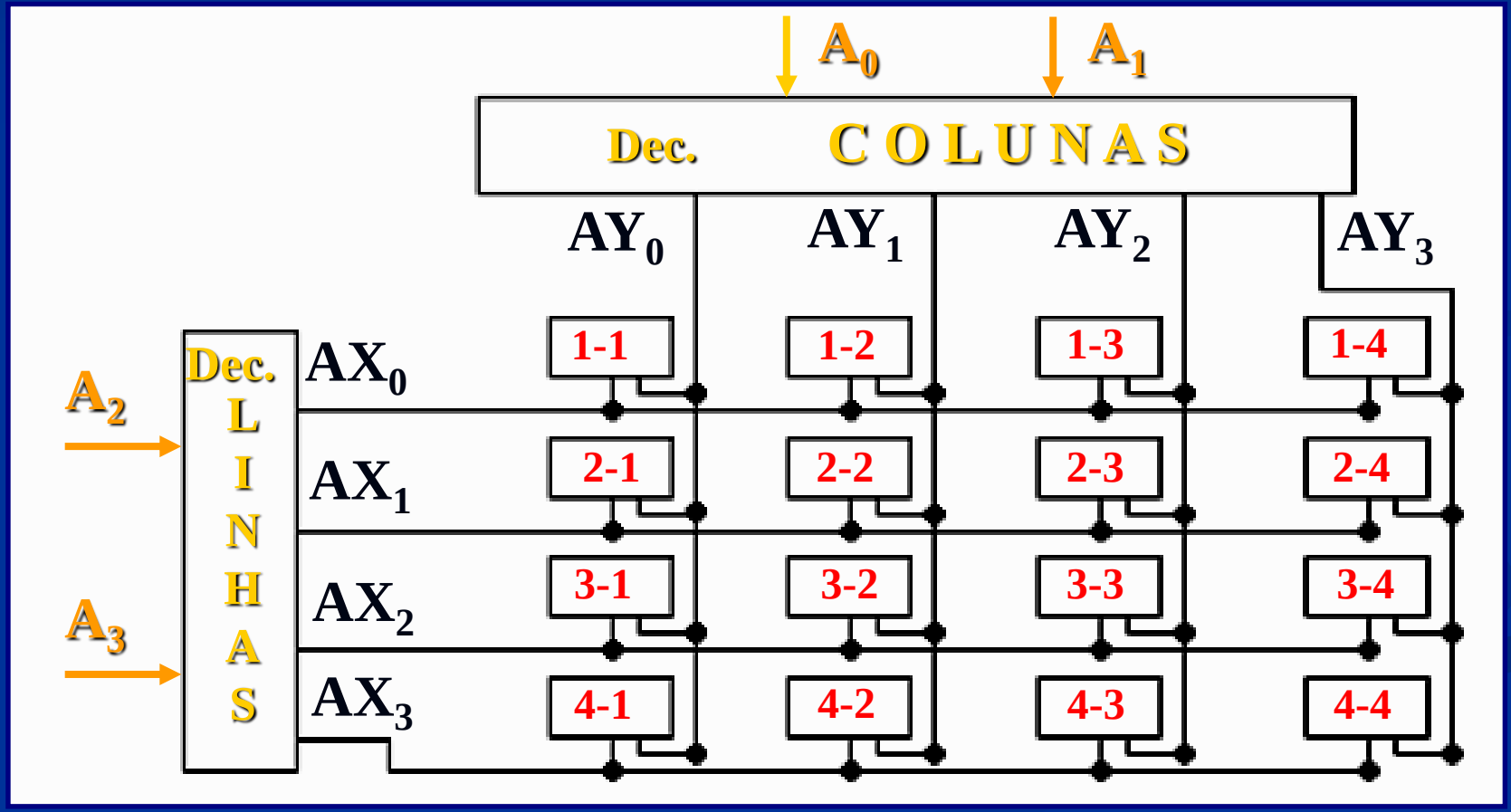
- Ex. memória de 64KB tem 65.536 células.

  - **Arranjo Linear**: 1 decodificador de 16 Bits de entrada com 65.536 saídas (65.536 fios de ligação entre mem. e decod.)

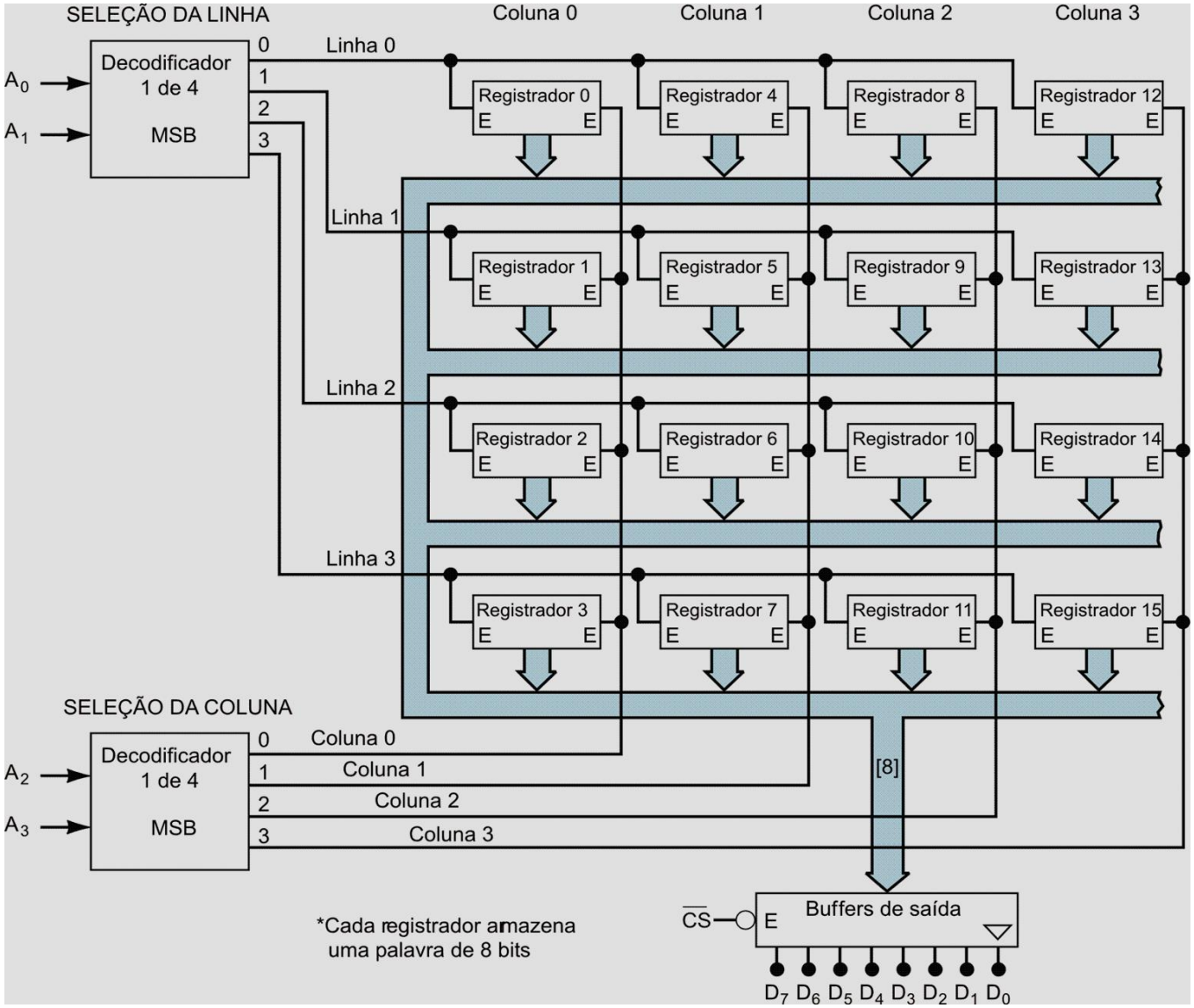
  - **Arranjo Matricial**: 2 decodificadores de 8 Bits de entrada com 256 saídas cada (2^8 x 2= 256 x 2 = 512 saídas). 512 fios de ligação entre memória. e decodificador.

TIPOS DE ENDEREÇAMENTO

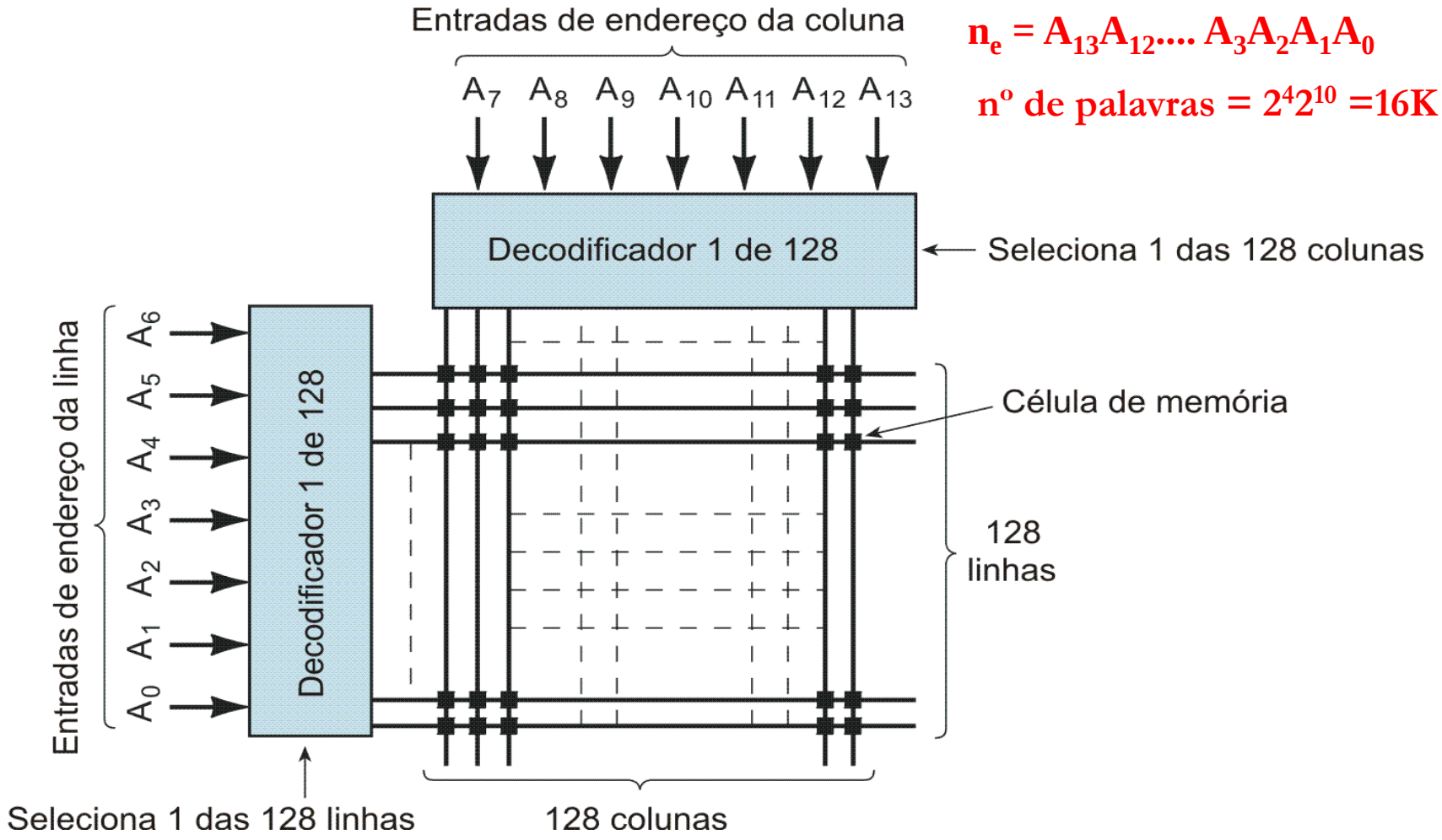
b) Matricial (ou bidimensional): exemplos



Arquitetura de uma ROM 16 × 8



Arquitetura de uma ROM 16K × 1



$n_e = A_{13}A_{12}\ldots A_3A_2A_1A_0$

nº de palavras = $2^4 2^{10}$ =16K

Memórias Semicondutoras

- **Características Gerais:**

* **Densidade:** número de bits armazenados / área física.

* **Tempo de Acesso**: intervalo de tempo entre o endereçamento da memória e a apresentação de dados válidos no duto de dados(medido em nanossegundos)

* **Capacidade:** é a quantidade de informação que pode ser armazenada em uma memória(medida unidades de Bytes)

* **Velocidade:** taxa em que os dados podem ser lidos ou gravados (quantidade de blocos de dados, ou Bytes, que podem ser transferidos durante um segundo): medida em unidade de Hz

* **Potência:** consumida ou dissipada pela memória (depende da tecnologia e organização)

* **Custo:** valor do semicondutor dividido pelo número de bits que pode armazenar.

Classificação de memórias

- **ACESSO**

Seqüencial ➡ as palavras são gravadas e lidas em seqüência

Vantagens: eficientes e de baixo custo

Desvantagens: muito lentas

Ex.: fita magnética, fita de papel

Aleatório (Direto) ➡ tempo de acesso igual para qualquer posição da memória

Ex.: Memórias semicondutoras

*** CD, DVD, HD (não são seqüenciais, mas o tempo de acesso pode diferir de acordo com o endereço do dado)**

Classificação de memórias

1. **ACESSO**
2. **VOLATILIDADE**

Voláteis ➡ dado permanece gravado enquanto houver tensão de alimentação

Ex.: Memórias baseadas em FF

Não Voláteis ➡ mantêm a informação mesmo sem alimentação

Ex.: Memórias Magnéticas, Memórias Ópticas, CD-ROMs, semicondutora ROM, EPROM

Classificação de memórias

1. ACESSO
2. VOLATILIDADE
3. ESCRITA/LEITURA

De Escrita e Leitura ➡ RWM (RAM)

Somente de Leitura ➡ ROM

Classificação de memórias

1. ACESSO
2. VOLATILIDADE
3. ESCRITA/LEITURA
4. ARMAZENAMENTO

Estáticas ➡ o dado inserido fica armazenado indefinidamente enquanto houver alimentação

Ex. Armazenamento em FF (SRAM)

Dinâmicas ➡ é necessária um "refresh" para manter o dado armazenado (DRAM)

Ex. Armazenamento em Capacitores

Tipos Básicos de Memórias Semicondutoras

- **ROM** (*Read Only Memory*)
  - Somente Leitura
  - Não-Voláteis
- **RAM** (*Random Access Memory*)
  - Escrita e Leitura
  - Voláteis

Memórias Semicondutoras : ROM

Memórias tipo ROM – Características

- Permitem apenas Leitura
- Constituídas de Circuitos Combinacionais
- Gerador de Produtos Canônicos para Seleção
- Não Voláteis
- Acesso aleatório (ram!!!) – tempo de acesso igual para qualquer endereço.
- Memória Estática
- Usada para armazenar programas estáticos (que não alteram) ⇨ armazenar o BIOS, na placa-mãe de um computador ou o programa de um microcontrolador

Memórias ROM

- Tipos
  - ROM: Read Only Memory (MROM)
  - PROM: Programmable ROM
  - EPROM: Erasable PROM
  - EEPROM: Eletrically EPROM
  - FLASH

Tipos de Memórias ROM

ROM: 1º tipo de memória da família ROM que surgiu;
Apenas de leitura, não volátil e acesso aleatório;
Conteúdo estabelecido pelo usuário, porém a gravação feita pelo fabricante;
componentes (diodos, fusíveis ou transistores bipolar**es).**

PROM: Apenas de leitura, não volátil e acesso aleatório;
programada uma única vez pelo usuário através de um programador de PROMs;
componente transistor (ou diodo) + fusível.

EPROM: É apagável por luz ultravioleta;
Pode ser reprogramada centenas de vezes por programador de EPROM;
Retenção do conteúdo : 10 anos, mas é susceptível à radiação e ruído (a janela de quartzo deve ser coberta).
Componente mos

(a) (b)
(a) EPROM, onde pode-se ver a janela para irradiação ultravioleta. (b) Apagador de EPROM.

Tipos de Memórias ROM
(continuação)

EEPROM:

- Conteúdo pode ser modificado eletricamente;

- Pode ser lida um número ilimitado de vezes, mas só pode ser apagada e programada um número limitado de vezes (entre 100.000 e 1 milhão);
- Tipo usado para armazenar BIOS ;

Obs: permite leitura e escrita, mas não substitui uma memória do tipo que lê e escreve (RAM) pois a EPROM tem tempo de escrita muito superior, aceita um número limitado.

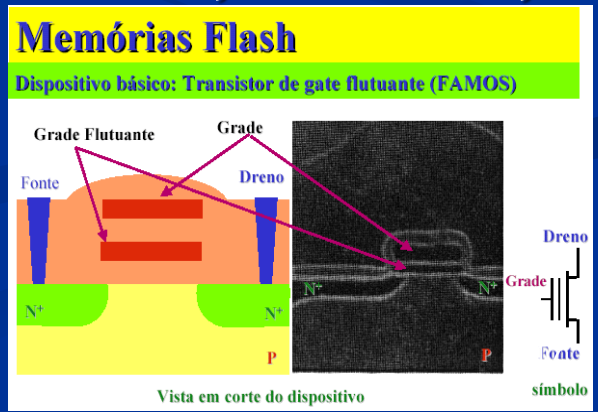
Tipos de Memórias ROM (continuação)

FLASH: é uma EEPROMs mais simples (e moderna), com maior poder de integração (ocupação mínima), menor custo, baixo consumo de energia , alta resistência, durabilidade e segurança.

desvantagem da memória FLASH: deve ser apagada por blocos

Aplicação:

- Usadas no lugar de disquetes ou discos rígidos de pequenas capacidade (HDs de estado sólido-SSD),
- Bastante utilizada em dispositivos móveis como pendrives e players, cartões de memória, memória de câmeras, celulares , palmtops ,HDs de estado sólido (SSDs),



Célula básica da ROM (EEPROM)

Gerador de produto canônico

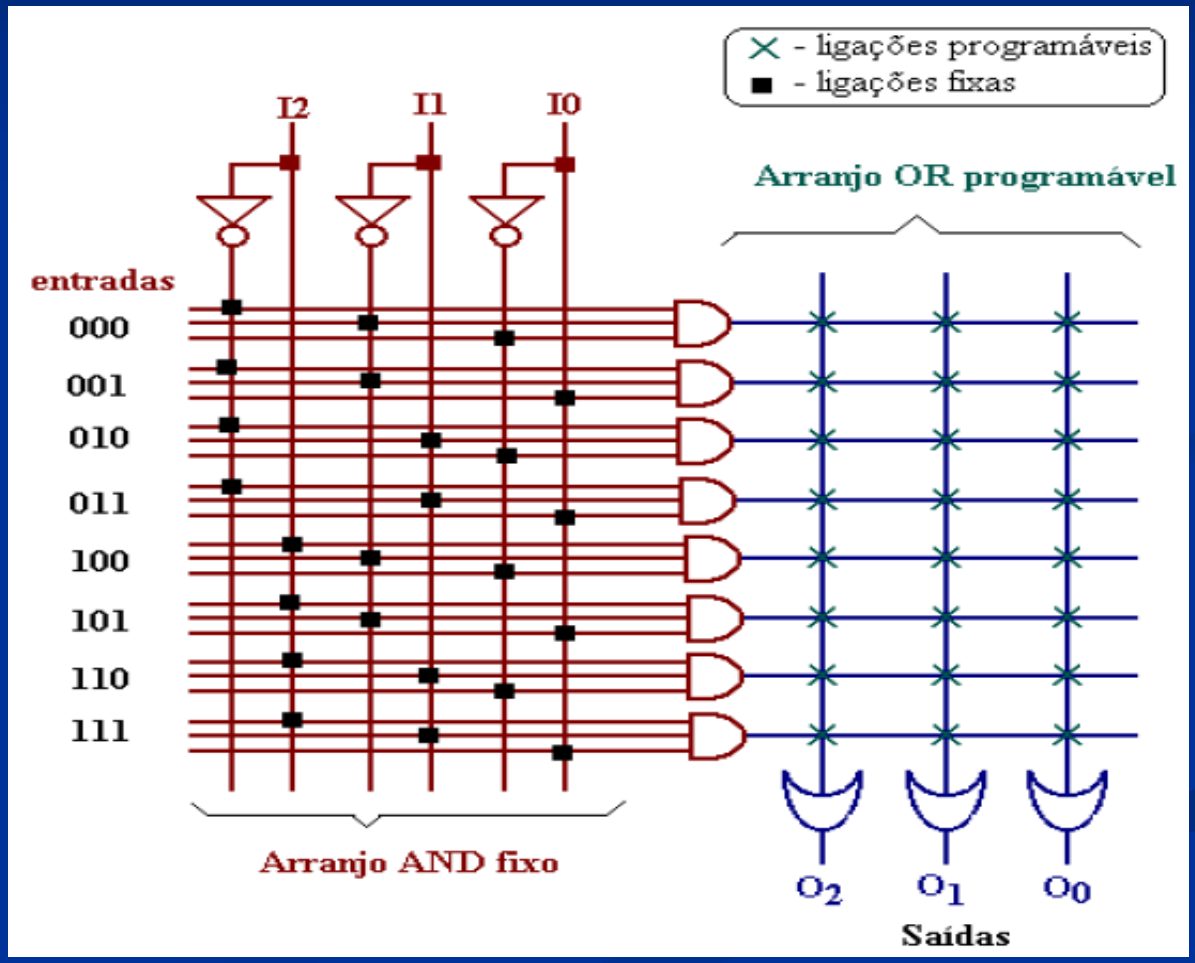
EEPROM 8 x 4

	END				DADOS			
	A_2	A_1	A_0	.....	D_3	D_2	D_1	D_0
M_0	0	0	0	.....	0	1	0	0
M_1	0	0	1	.....	0	1	1	1
M_2	0	1	0	.....	1	0	1	0
M_3	0	1	1	.....	1	1	0	1
M_4	1	0	0	.....	0	0	1	0
M_5	1	0	1	.....	1	0	1	1
M_6	1	1	0	.....	0	1	1	1
M_7	1	1	1	.....	0	1	0	0

Célula básica da ROM (EEPROM)

Gerador de produto canônico

- Na memória EE*PROM* o arranjo *AND* é pré-definido em fábrica (arranjo fixo) e somente o arranjo *OR* é programável.



Circuito para programação da ROM

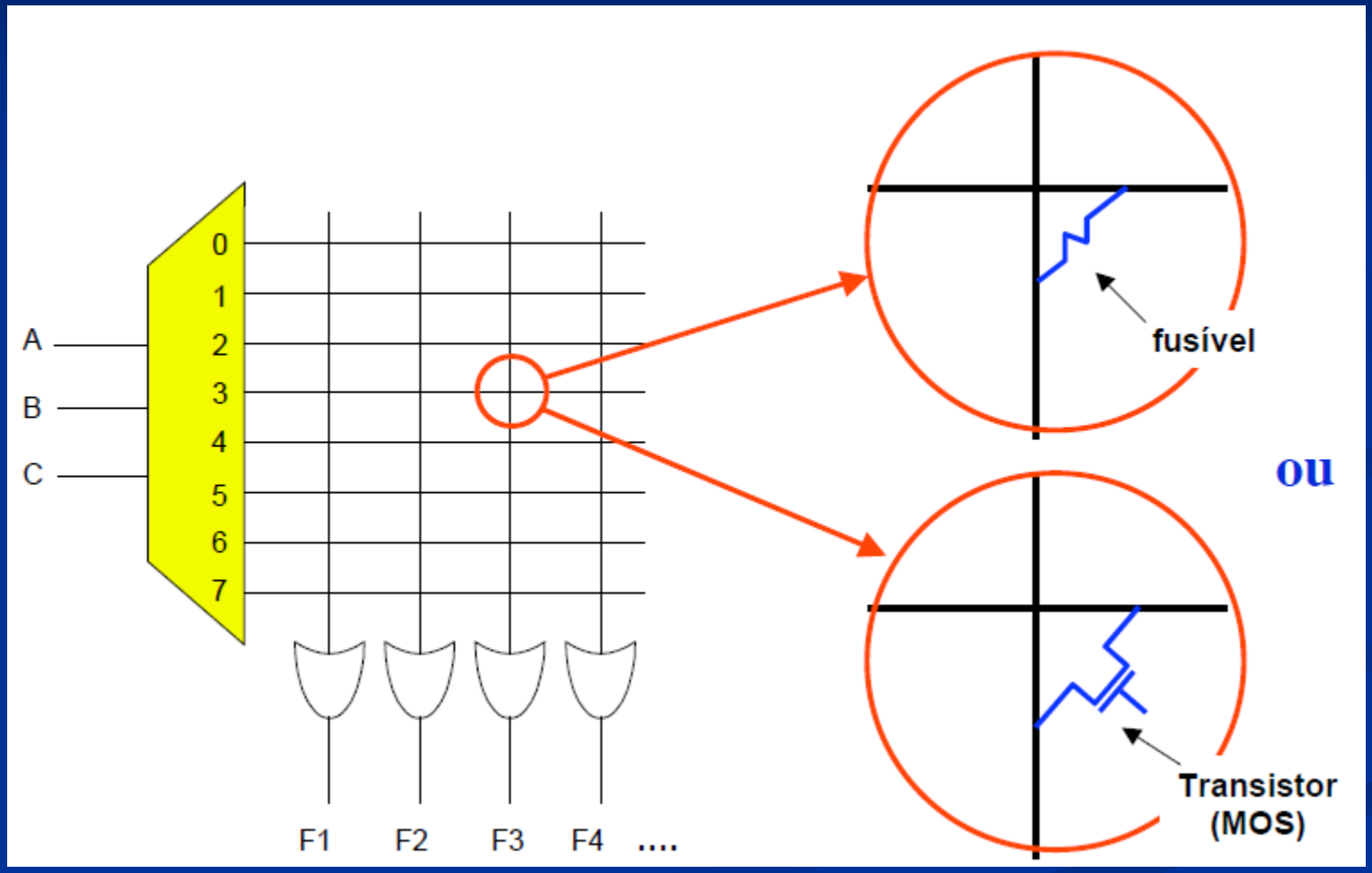
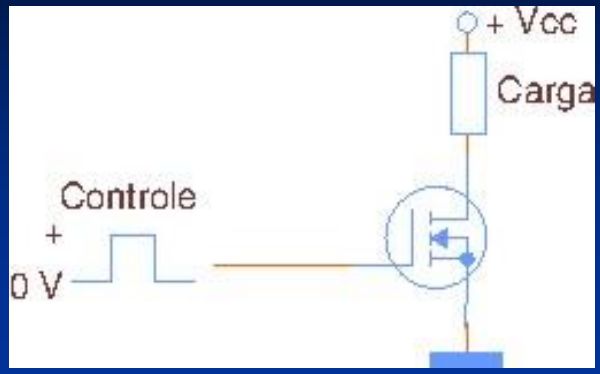
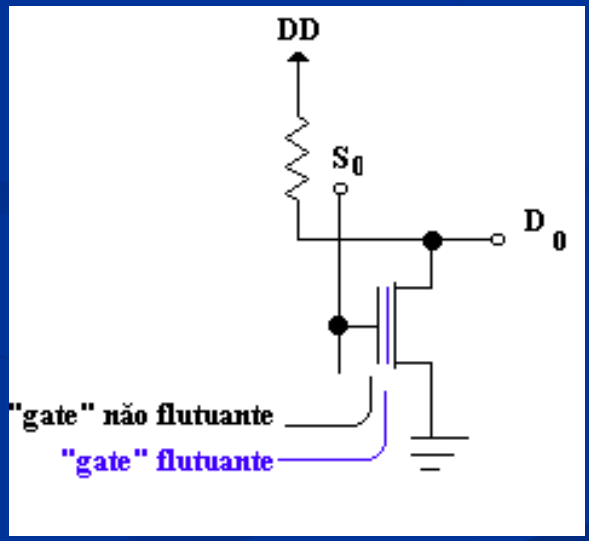


Figura :ref : http://www.inf.ufsc.br/~guntzel/ine5348/LogP_aula1T.pdf

Célula Básica de uma EEPROM

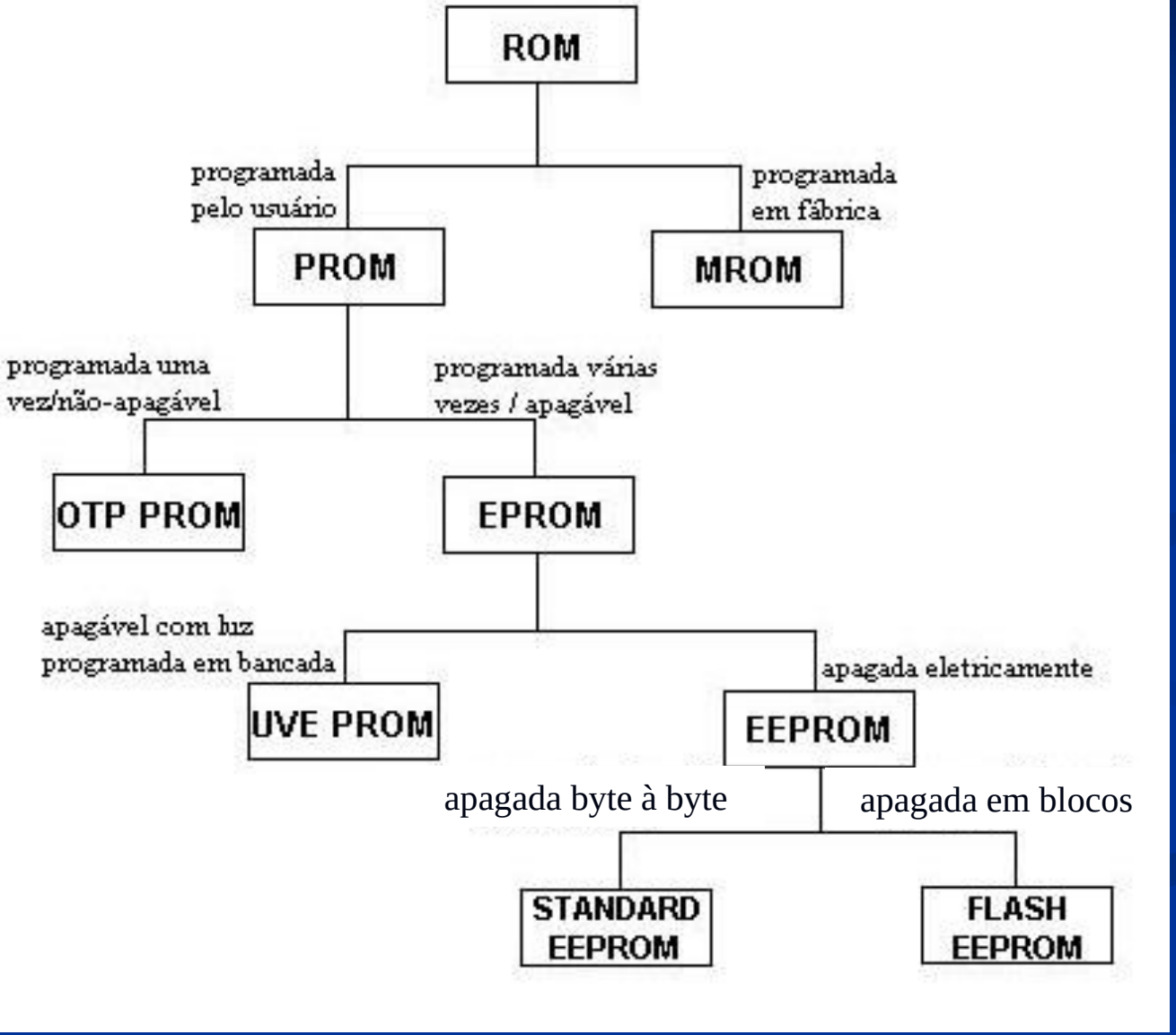
Na ***EEPROM,*** ao invés de fusíveis como na PROM, a programação é feita por armazenamento de carga, onde cada bit da memória possui um transistor MOS com dois Gates, um deles flutuante (*floating gate*), entre a porta normal e o substrato, não conectado a grade de memória, e isolado por material de altíssima impedância (camada de óxido)





- possibilidade de programar e apagar eletricamente bytes individuais da matriz -

ROMs - Hierarquia



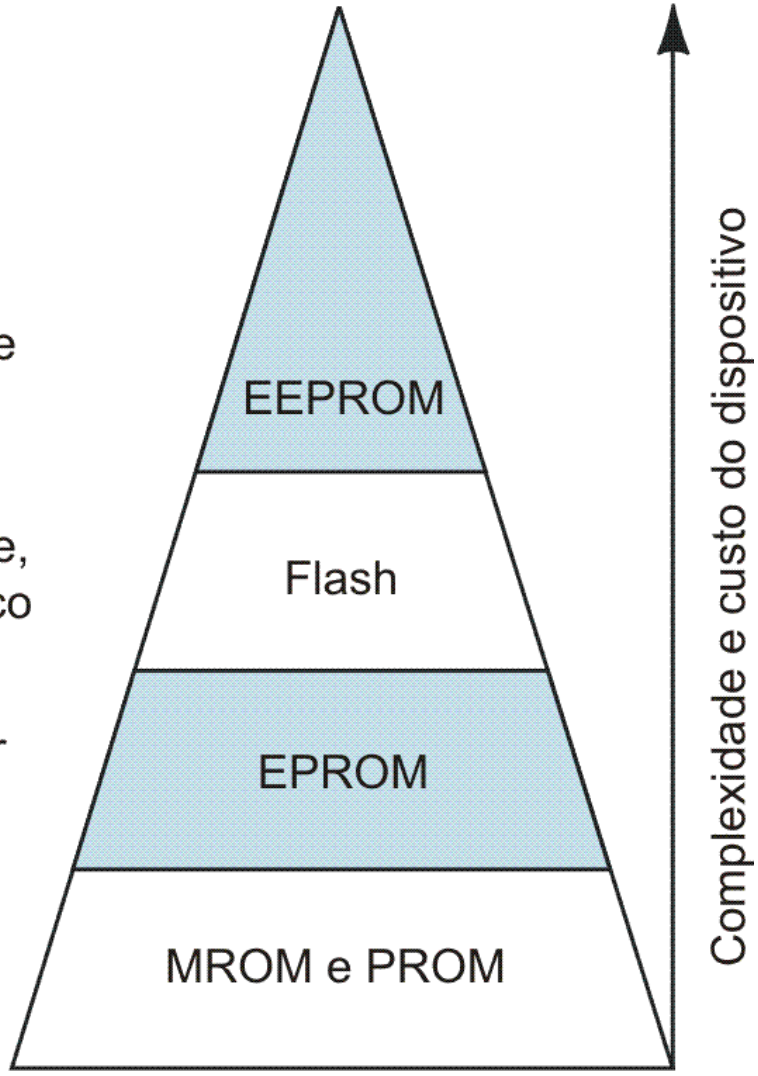
Memórias ROM - Custos

Pode ser apagada eletricamente no circuito byte a byte

Pode ser apagada eletricamente, no circuito, por setor ou em bloco (todas as células)

Pode ser apagada em bloco por luz UV sendo apagada e reprogramada fora do circuito

Não pode ser apagada e reprogramada



Memórias Semicondutoras : RAM

RAMs - Características

- Permitem leitura e escrita de dados
- Constituídas geralmente por Biestáveis (Flip-Flops)
- Acesso Aleatório (direto)
- Gerador de produtos canônicos para seleção (decodificadores)
- A maioria é volátil

Tipos de RAM

- ESTÁTICAS (SRAM): armazenam e mantêm os dados enquanto houver alimentação

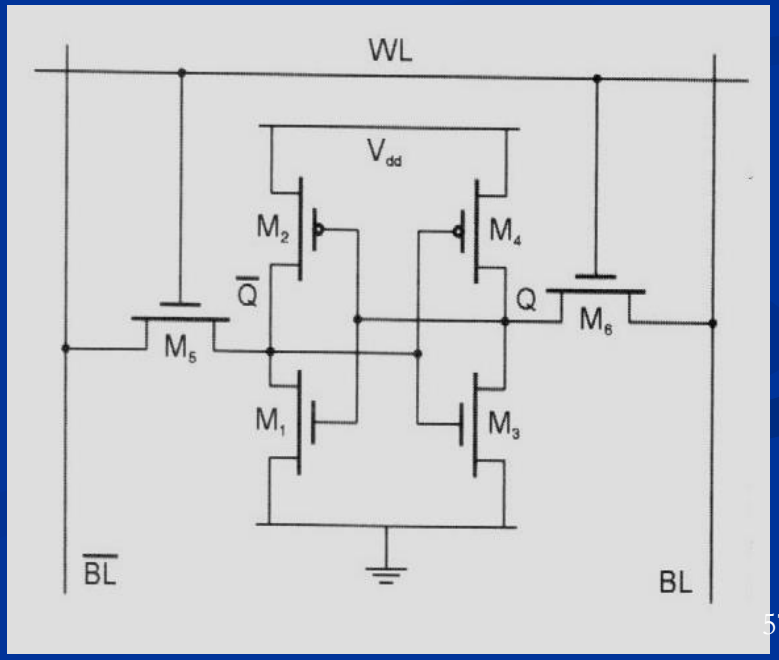
- DINÂMICAS (DRAM): usam capacitor e transistor MOSFET para armazenar dados ➡ recarga do capacitor a cada ~ 15ns

Tempo de acesso da memória: o tempo decorrido entre uma requisição de leitura de uma posição de memória e o instante em que a informação requerida está disponível para utilização do processador.

RAM Estática (SRAM)

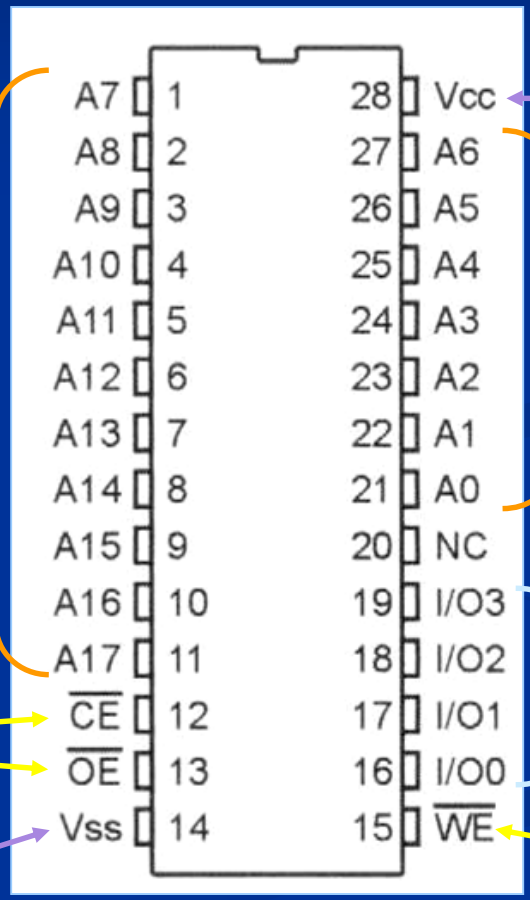
- Célula básica composta por biestáveis (FF);
- São mais rápidas e mais caras que as memórias dinâmicas (DRAM)
- Ocupam mais espaço físico na pastilha de silício do que as DRAM

Célula Básica



Estática (SRAM)

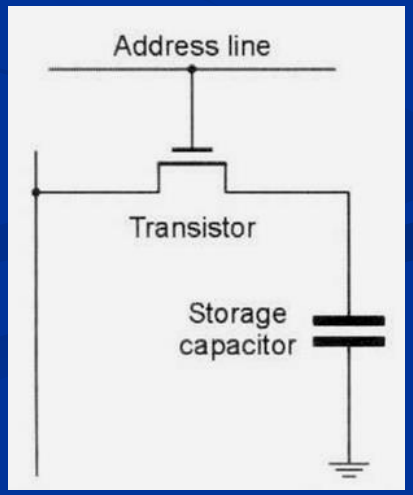
- (A0 – A17) = 18 bits = 2^{18} = 262.144 = 2^8 x 2^{10} =256K palavras
- (I/O0 - I/O3) = 4 bits = entrada e saída (bidirecional)



Dinâmica (DRAM)

- Célula básica composta por 1 capacitor e 1 transistor (por BIT);
- Necessidade de "REFRESH" (a cada 4 a 64 ms) para não perder os dados;
- são de custo menor e ocupam menos espaço físico na pastilha de silício do que as SRAM
  - ✓ tipicamente ¼ da área de silício das SRAMs ou menos
- Existem diferentes tecnologias de DRAM, e as velocidades que elas fornecem são diferentes;
- São mais lentas do que as memórias estáticas.

Célula Básica



Dinâmica (DRAM)

- Os chips de DRAM diferenciam-se nos seguintes aspectos:
  - ✓ tamanho da palavra (dado) da memória (número de bits que cada célula armazena) ➡ chips com 1, 4, 8, 16, 32 bits ou +
  - ✓ número de palavras na memória ➡ capacidade de armazenamento
  - ✓ tempo de acesso
  - ✓ tipo de encapsulamento
  - ✓ sistema de "Refresh" interno ou externo

Comparação entre DRAM e SRAM

Comparativo entre DRAM e SRAM		
	DRAM	**SRAM**
Preço	Barata	Cara
Integração	Fácil (muita capacidade em pouco espaço)	Difícil (pouca capacidade em muito espaço)
Consumo	Baixo	Alto
Velocidade	Lenta, pois necessita de refresh	Rápida

Tipos de RAM Dinâmica (DRAM)

- **DRAM Assíncrona** (convencional)
  - Tipo que era usada nos PCs desde os dias dos IBM PCs originais
  - memória não sincronizada com o CK do sistema
  - trabalham bem com barramentos de memória de baixa velocidade (< 66 MHz)

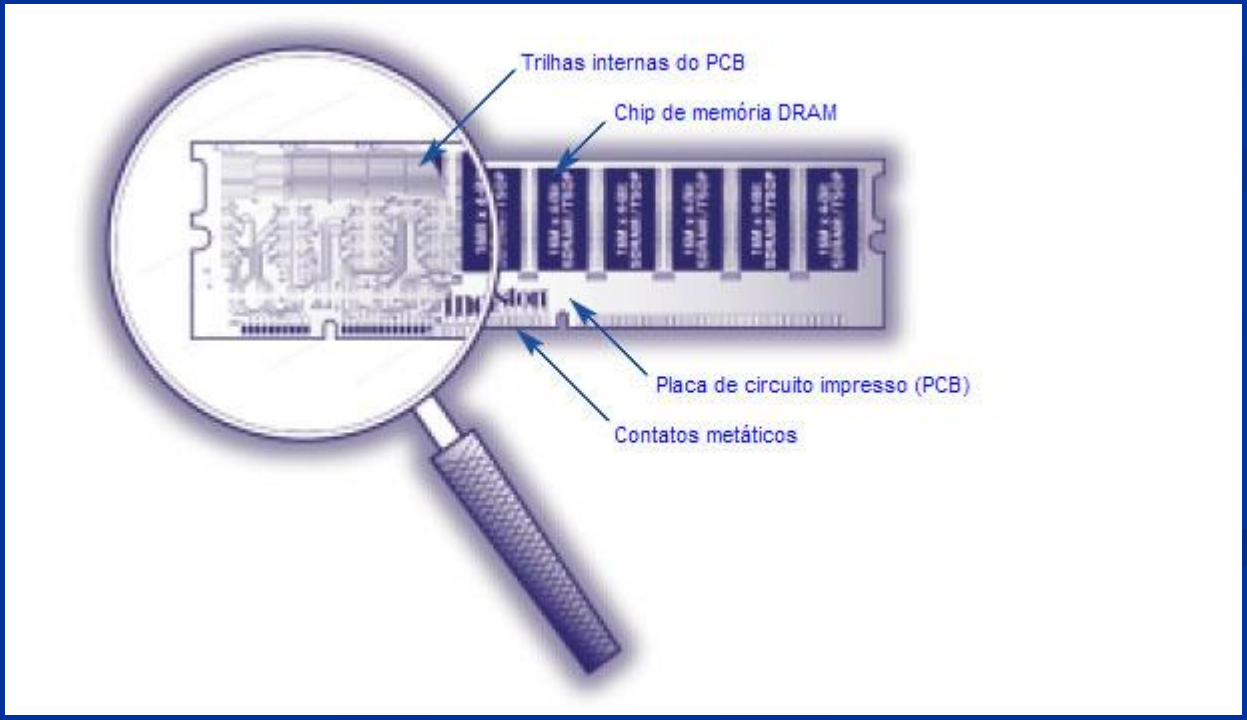
    Ex: FPM, EDO e BEDO

- **DRAM Síncrona (SDRAM)**
  - sincronizada com o CK do computador ➡ melhor controlada
  - Muito mais rápida que a DRAM assíncrona
  - Praticamente todos os computadores novos são vendidos com um tipo de memória tipo SDRAM

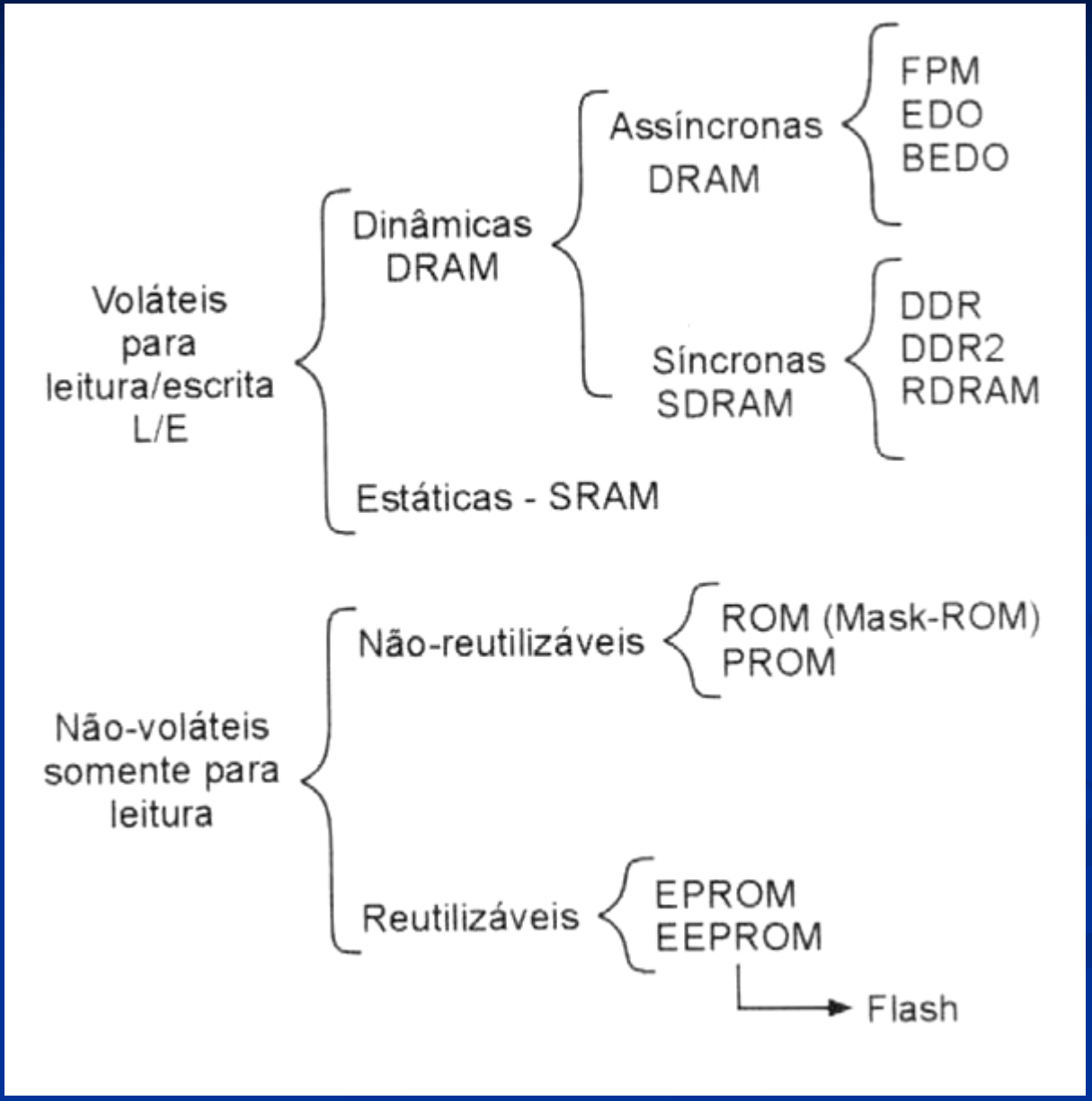
    Ex: SDR SDRAM , DDR, DDR2, DDR3 e RDRAM

Módulos de Memórias DRAM

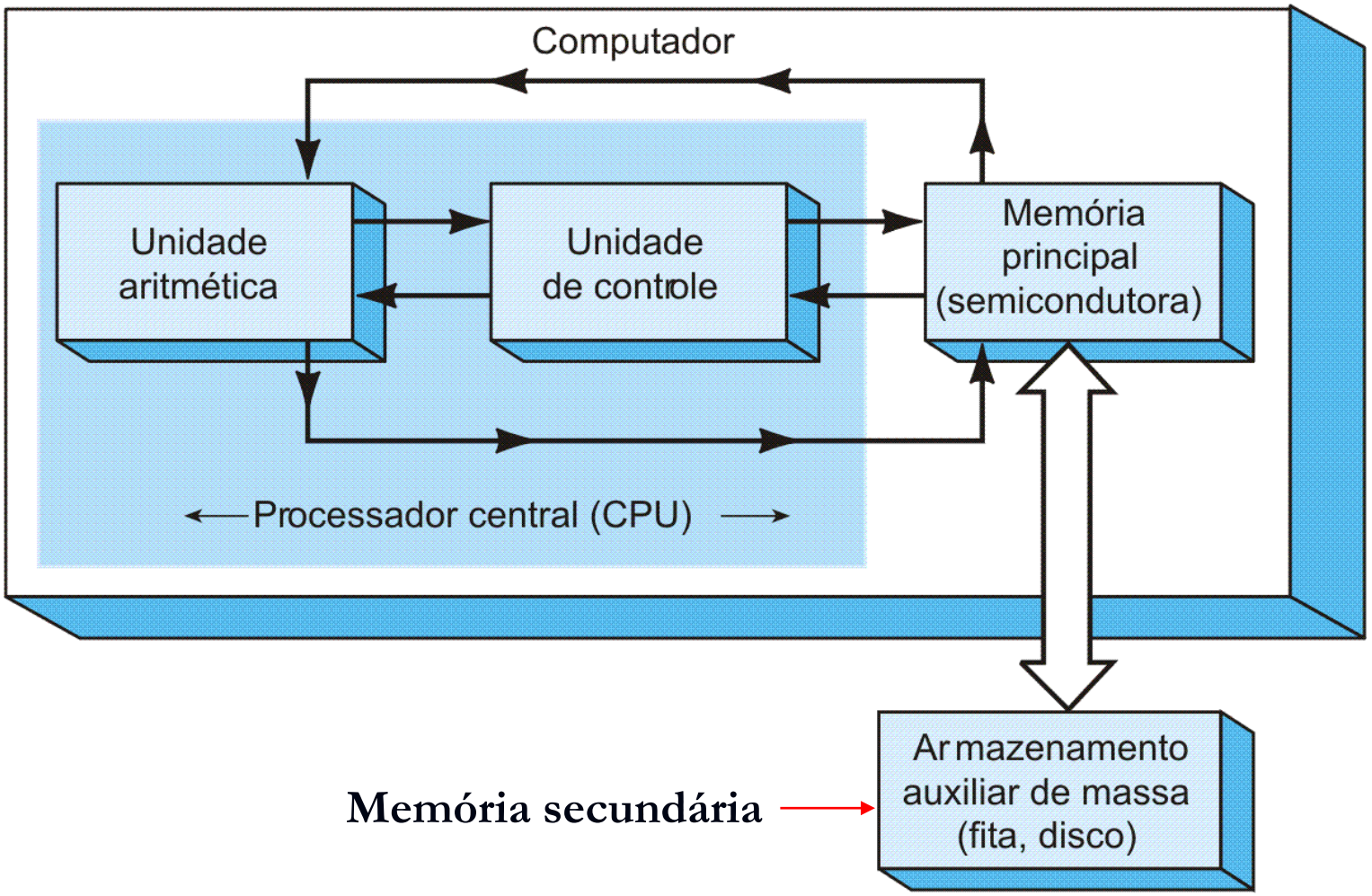
Devido à grande quantidade de dados manipulados, os sistemas de computadores necessitam de um maior número de pastilhas de memórias. Para facilitar a instalação dessas pastilhas de memória na placa mãe, módulos foram desenvolvidos("pentes" de memória), de tal maneira que possam ser encaixados no circuito impresso, ao invés da soldagem dos pinos das pastilhas.



Memórias Semicondutoras - Resumo



Memórias em um Microcomputador



Hierarquia de Memória de um Microcomputador

- A memória de um computador é um sistema constituído de vários tipos diferentes de memórias interligados hierárquicamente. Cada uma com suas características próprias de tempo de transferência de dados, capacidade de armazenamento, custo, etc.

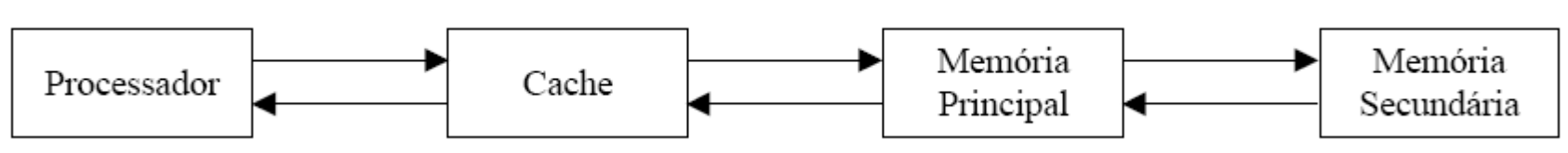
Necessidade de vários tipos de memórias

- ✓ **Velocidade do processador >> tempo de acesso da memória**
- ✓ **Necessidade de capacidade cada vez maior de armazenamento**
- ✓ **manter um custo adequado**

Organização e hierarquia de Memórias em um microcomputador

- Memórias são organizadas em pequenas áreas identificadas por “endereços” para que o processador possa buscar ou armazenar dados.

- Divide-se as memórias em hierarquias com o objetivo de se obter um desempenho próximo ao da memória mais rápida e custo próximo da memória mais barata.



Hierarquia de Memórias em um Microcomputador

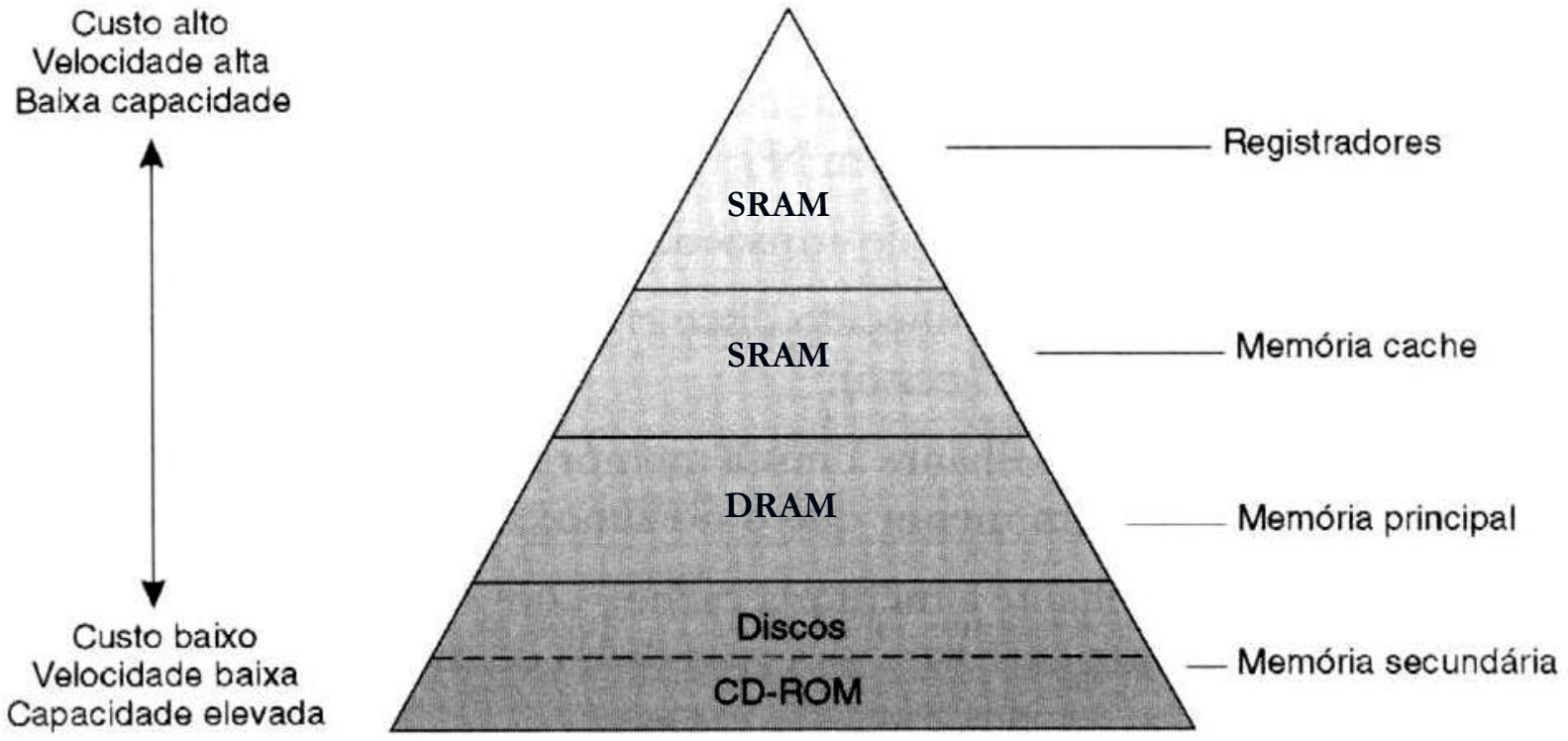


Figura 4.4 Hierarquia de memória.

Hierarquia de Memória de um Microcomputador

- **Registradores :**
- **Memória Cache**
- **Memória Principal**
- **Memória Secundária**

Hierarquia de Memória

- **Registradores : são elementos básicos de memória constituídos de poucos bits (8 a 128)**

  - Internos ao μP, pequenos e extremamente rápidos. Alto custo.
  - Guardam a informação temporáriamente.
  - Voláteis
  - Mesma tecnologia dos processadores (Bipolar ou MOS)
  - armazenar um único bit, uma instrução ou até mesmo um único endereço de poucos bits de 8 a 64.

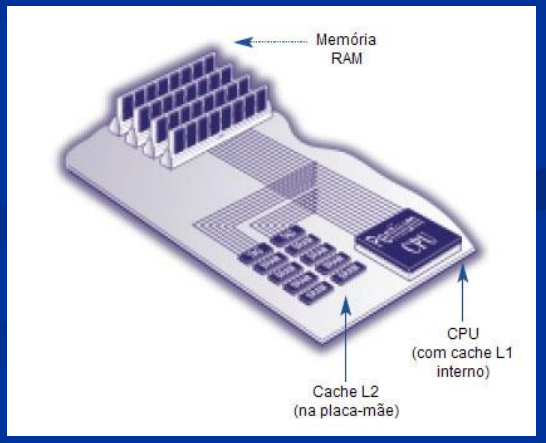
    Ex: acumulador, Registro de Instrução, Program Counter

Hierarquia de Memória (continuação)

- **Memória Cache :** consiste no uso de uma memória mais rápida (mais cara), porém menor, para acelerar uma mais lenta(mais barata), porém maior. Normalmente é integrada aos processadores e possibilita incrementar o desempenho durante a execução de um programa, pois armazenam temporáriamente instruções e dados utilizados com maior frequência (tempo < execução do programa)

  - Próximos ao µP. Bastante rápidos e caros.
  - é possível ter múltiplas camadas de cache:
    Cache de nível 1: L1 – embutido no µP
    Cache de nível 2: L2 – em um chip separado, acoplada ao µP)
    Cache de nível 3: L3 – na placa mãe

  - Custo alto (L1 mais caros do que L2 e L3)
  - Tecnologia SRAM: alta velocidade (voláteis)



Hierarquia de Memória: Memórias Cache (continuação)

Por que a tecnologia de memória CACHE funciona?

- **Localidade de Referência:** um programa razoavelmente grande, apenas pequenas porções serão utilizadas com muita freqüência. Por exemploum programa executável de 10 megabytes de tamanho, apenas poucos bytes dele são usados em um intervalo de tempo qualquer, e sua taxa de repetição é altíssima.

- **Localidade Temporal:** as posições de memórias uma vez acessadas tendem a ser novamente acessadas em curto espaço de tempo.(laços de instruções, acessos a pilhas,etc)

- **Localidade Espacial:** se um programa acessa uma posição de memória, há uma grande probabilidade que ele acesse uma palavra subsequente(organização sequencial do programa)

Hierarquia de Memória (continuação)

- **Memória Principal (MP):** É a memória de trabalho, onde estão armazenados os programas e dados a serem manipulados pelo processador;
  - Geralmente DRAM (para sistema de computadores)
  - Maior capacidade de armazenamento
  - Custo da DRAM mais baixo que da SRAM
  - A memória, em geral, é montada em placas de circuitos denominadas módulos de memória linear SDR

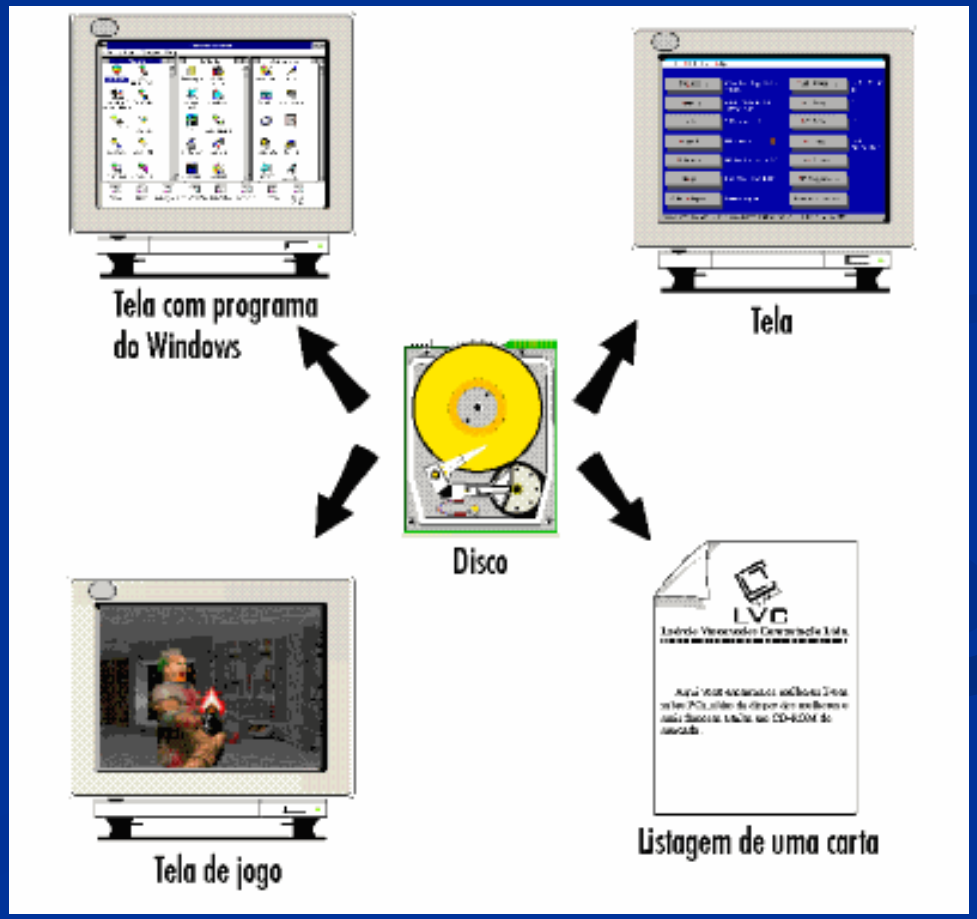
Observação: **Em sistemas microcontrolados a memória principal pode ser constituída de EEPROM (armazena o programa e dados fixos) e RAM (armazena dados processados)**

Hierarquia de Memória (continuação)

Memória Secundária:

- Na execução de programas, muitas vezes os programas precisam manipular uma quantidade de dados tão grande que não cabem na memória principal

dados são armazenados em arquivos que são lidos da memória secundária e processados por partes

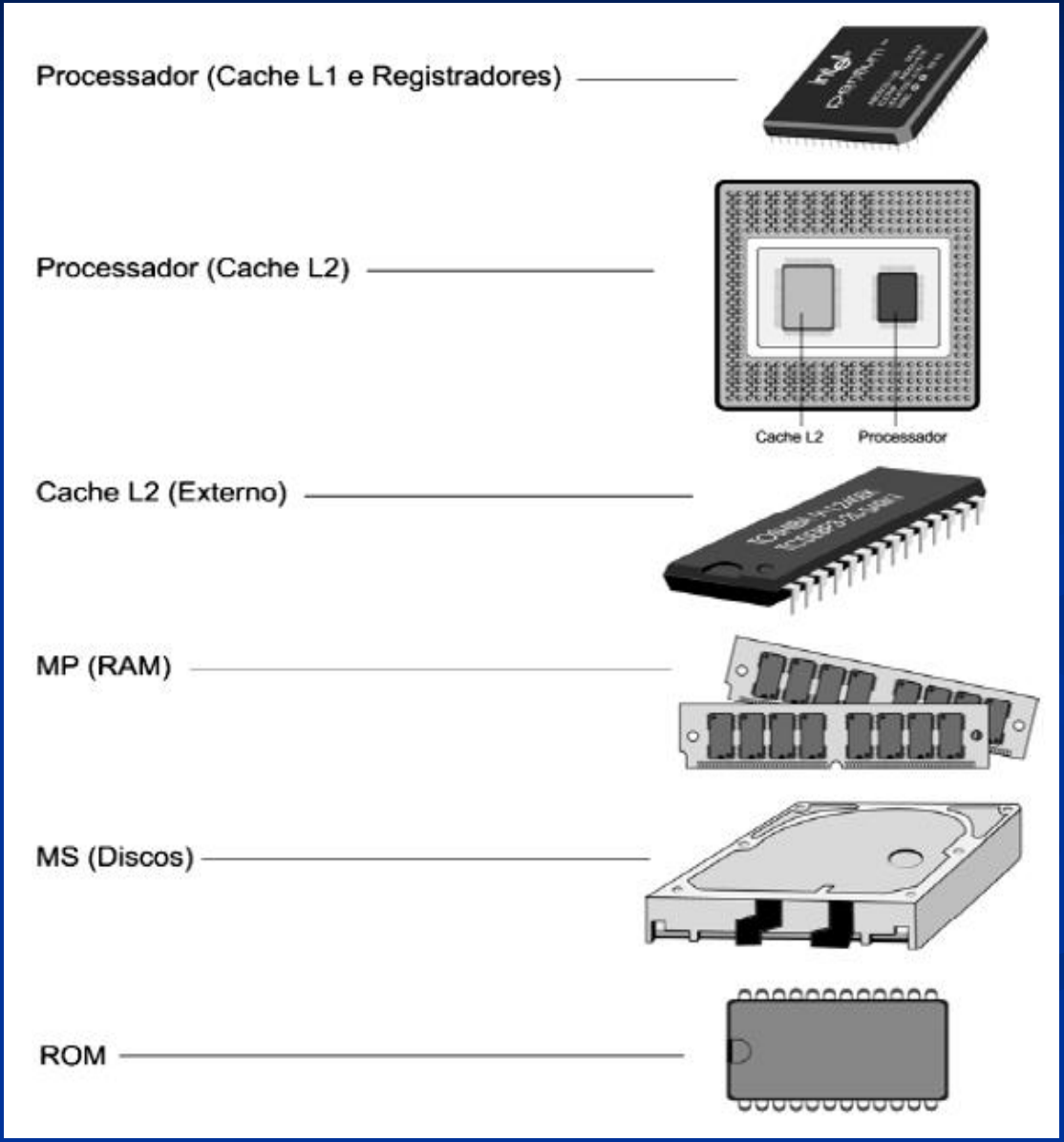


Hierarquia de Memória (continuação)

Memória Secundária (ou auxiliar ou de Massa): permitem armazenar uma maior quantidade de dados e instruções por um período de tempo mais longo;

- Devem ser de escrita e leitura (tipo RAM)
- Devem ser não-voláteis (tipo ROM)
- Alta capacidade de armazenamento
- Baixo custo por byte
- Ex:
  - **Fita Magnética** - criada em 1956 pela IBM
  - **Disco Flexível (FD)** - em 1967 pela IBM
  - **Disco Rígido (HD)** - em 1976 pela Seagate
  - **CD-ROM** – em 1983 pela Philips
  - **DVD** – em 1997 por um consórcio de empresas (Sony, Phlips, Toshiba...)
  - **Blu-ray** – em 2006 pela Sony e Panasonic
  - SSD Dispositivo de Estado Sólido

Hierarquia de Memórias em um Microcomputador



FIM