PCS 3225
Sistemas Digitais II

Memórias

Glauber (2018)

Memórias

- Dispositivos com grandes capacidade de **armazenamento** de dados
- **Finalidade**: Armazenar dados ou programas de maneira temporária ou definitiva.
- **Aplicações** dependem das características
  - Forma de **acesso**: sequencial ou aleatório?
  - **Velocidade**: quanto mais rápido o acesso, maior a eficiência do sistema como um todo
  - **Funcionalidade**: leitura e escrita ou apenas leitura?
  - **Volatilidade**: dados retidos mesmo se alimentação de energia cortada?

Memórias: Características

- **Tecnologia: Não Semicondutor**
  - **Magnético**
    - » Ferrite, Fita, Discos (Rígido, Flexível)

  - **Ópticos**
    - » CD, DVD, Blu-ray Disc (BD)

- **Tecnologia: Semicondutor**
  - CMOS: alta densidade, baixo consumo

Memórias: Características

- **Acesso a dados**

  - **Sequencial**: Fita magnética, CD/DVD
    - » Posições de memória em lugares sucessivos

    - » Ler ou escrever na posição n requer leitura sequencial de todas as posições anteriores (n-k, ..., n-1)
      - – Tempo de acesso depende da posição de leitura atual (k) e da posição dos dados (n)

    - » Baixo custo, porém baixa velocidade

  - **Direto ou "Aleatório"**: Constituem a maior parte das memórias a semicondutores.

    - » Caracterizadas principalmente por possuírem o mesmo tempo de acesso para todas as posições

Memórias: Características

- **Acesso a dados (cont.)**
  - Possibilidade de **escrita** (no circuito):

» Memórias de **apenas leitura**: Gravação de conteúdo muito lenta ou fora do sistema;

» Memórias de **escrita e leitura**: Conteúdo pode ser lido e alterado durante seu uso no circuito.

Memórias: Características

- **Retenção dos dados (volatilidade)**
  - **Voláteis** – Perdem o conteúdo se ficam sem alimentação (ex.: RAM, registradores);

  - **Não Voláteis** – Não perdem o conteúdo mesmo, sem alimentação (ex.: EEPROM, Flash, disco).

Memórias: Observação

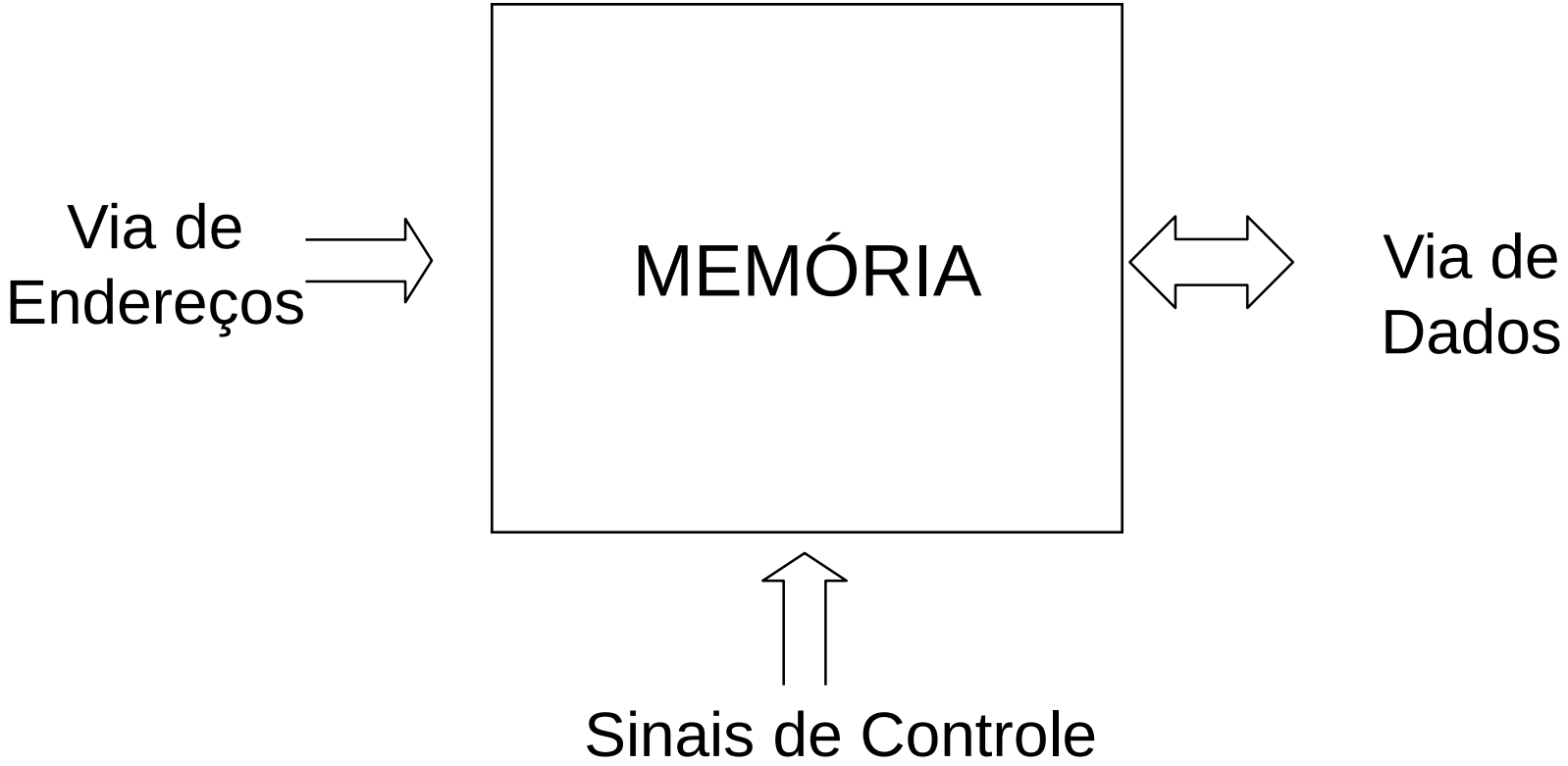
- **ROM**:
  - O termo “ROM” significa “*Read-Only-Memory*”, ou memória somente de leitura
  - Porém, ele é comumente usado para indicar **memórias não-voláteis**, incluindo memórias de leitura/escrita…

- **RAM**:
  - O termo “RAM” significa “*Random-Access-Memory*”, ou memória de acesso aleatório
  - Porém, ele é comumente usado para **memórias voláteis de acesso aleatório**

Memórias: Características (resumo)

- "Tempo de acesso depende da **posição do dado**?"
  - Sim: acesso **sequencial**; Não: acesso **aleatório**.
- "É possível **ler e escrever**, ou apenas ler?"
  - Leitura e Escrita vs. apenas leitura
- "Os dados são perdidos quando **energia é removida**?"
  - Sim: **volátil**; Não: **não-volátil**

Memórias: Arquitetura



Memórias: Arquitetura

seleciona a posição

Via de Endereços

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0
5	0	0	1	1
6	0	1	1	0
7	1	1	0	0

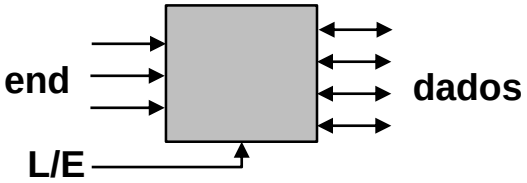
dados a serem lidos/escritos

Via de Dados

Sinais de Controle

Seleciona leitura ou escrita

➔ Memória 8 x 4bits
(32 bits de capacidade)



Memórias: Arquitetura

seleciona a posição

Via de Endereços

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0
5	0	0	1	1
6	0	1	1	0
7	1	1	0	0

dados a serem lidos/escritos

Via de Dados

Sinais de Controle

Seleciona leitura ou escrita

Ex.: **via de endereços: 011**
via de dados: 1111
comando de escrita

Memórias: Arquitetura

seleciona a posição

Via de Endereços

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	1	1	1	1
4	1	0	0	0
5	0	0	1	1
6	0	1	1	0
7	1	1	0	0

dados a serem lidos/escritos

Via de Dados

Sinais de Controle

Seleciona leitura ou escrita

Ex.: **via de endereços: 011**
via de dados: 1111
comando de escrita

➔ Linha 3 sobrescrita

Memórias: Arquitetura

seleciona a posição

Via de Endereços

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0
5	0	0	1	1
6	0	1	1	0
7	1	1	0	0

dados a serem lidos/escritos

Via de Dados

Sinais de Controle

Seleciona leitura ou escrita

Ex.: **via de endereços: 101**
comando de leitura

Memórias: Arquitetura

seleciona a posição

Via de Endereços

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0
5	0	0	1	1
6	0	1	1	0
7	1	1	0	0

dados a serem lidos/escritos

Via de Dados

Sinais de Controle

Seleciona leitura ou escrita

Ex.: **via de endereços: 101**
comando de leitura

➔ **Via de dados: 0011**

Memórias: Capacidade

- **Palavra:**
  - » Nº de bits tratados simultaneamente (escrita/leitura): Típico: 1, 4, 8, 16, 32, 64, 128 ...
- **Nº de Posições:**
  - » Nº de palavras que a memória pode armazenar
  - » Cada posição está associada a um <u>ENDEREÇO</u>.
- **Capacidade:**
  - » Quantidade de bits de uma memória, expressa em:
    - – Nº total de bits (ou bytes) ou
    - – Nº de posições x Tamanho de palavra em bits ou bytes
    - – **Obs.: 1 byte = 8 bits**

Memórias: Capacidade

– **Relação entre nº de posições e nº de linhas na Via de Endereços**

» **Cada posição => um endereço (acesso direto)**

2 posições $\Rightarrow$ 1 linha de endereçamento
4 $\Rightarrow$ 2
⋮ ⋮
2^n $\Rightarrow$ n

Ex: 1024 posições 10 linhas na via de endereço: A0-A9

Ex: 2^{16} = 65536 posições 16 linhas : A0-A15

Memórias: Capacidade

– **Ex. Capacidade:**

» **Ex.: Memória de** { 1024 posições, palavra de 8 bits }

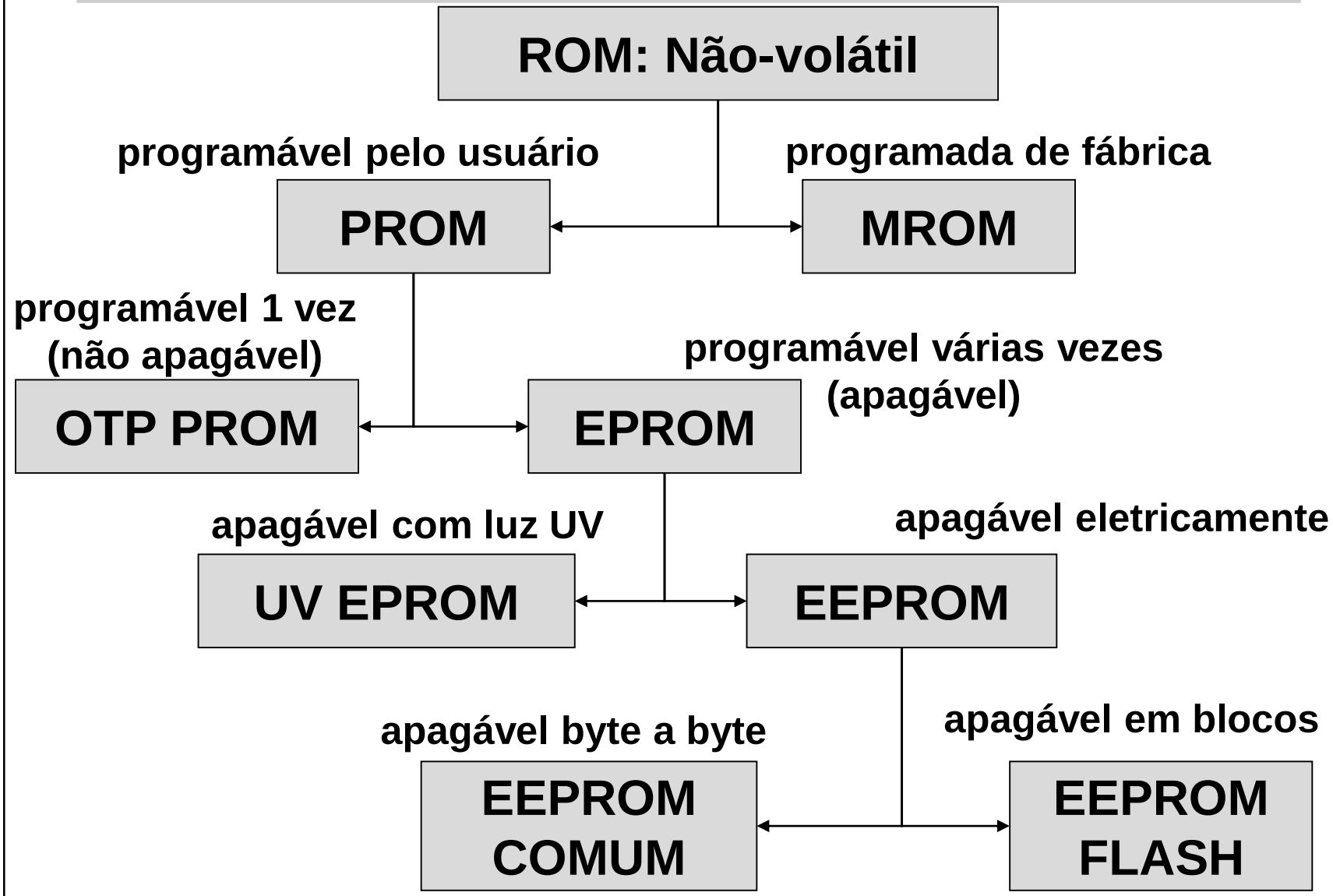
Capacidade = 8192 bits ou 1024 x 8
Convenção: 1024 = 1ki (ISO 8000)
1 bit = b ; 1 byte = B
➔ 8 kib, 1ki x 8 bits, 1ki bytes, 1 kiB

recomendável

Obs.: referências antigas adotam 1k = 1024

» **Ex.: Memória de 64 kiB =** { 64 ki posições, palavra de 1 byte }

Memórias ROM: Tipos



Tipos de Memórias a Semicondutor – MROM

<u>MROM</u> – *Mask-programmed ROM* – Características:

- » Programada na fabricação do circuito integrado;
- » As informações são armazenadas conectando ou desconectando o *Gate* fonte de um transistor MOSFET à coluna de saída (MROM MOS);
- » Programação na etapa de metalização do circuito: uma **máscara** para depositar metais sobre o silício;
- » Alto custo fixo / baixo custo variável.

Tipos de Memórias a Semicondutor – MROM

<u>MROM</u> – *Mask-programmed ROM* –

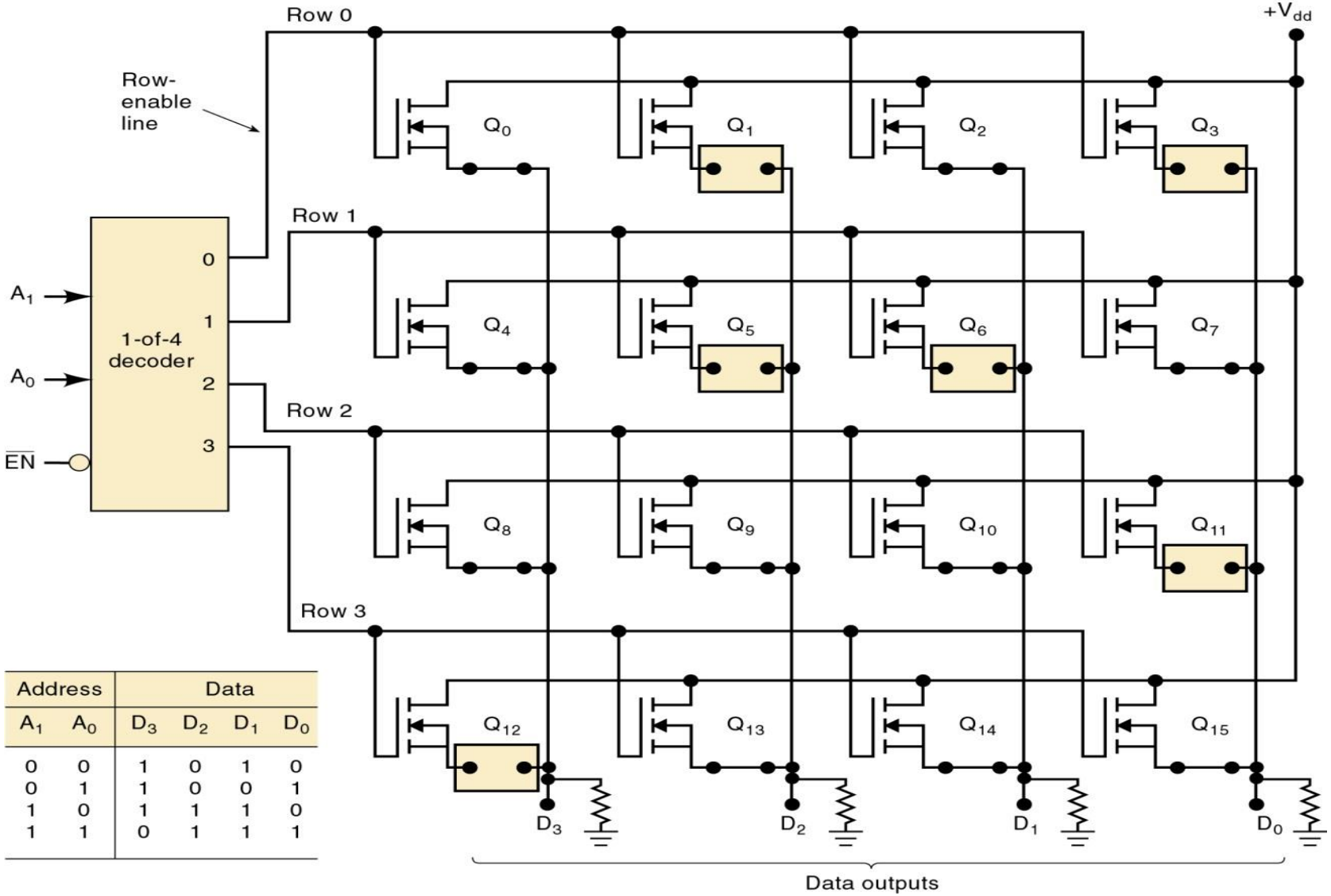
Utilização:

» Armazenamento de tabelas de funções matemáticas, códigos: uso geral;

» Programas de dispositivos e/ou produtos produzidos em larga escala.

»custo da máscara é alto!

Tipos de Memórias a Semicondutor – MROM

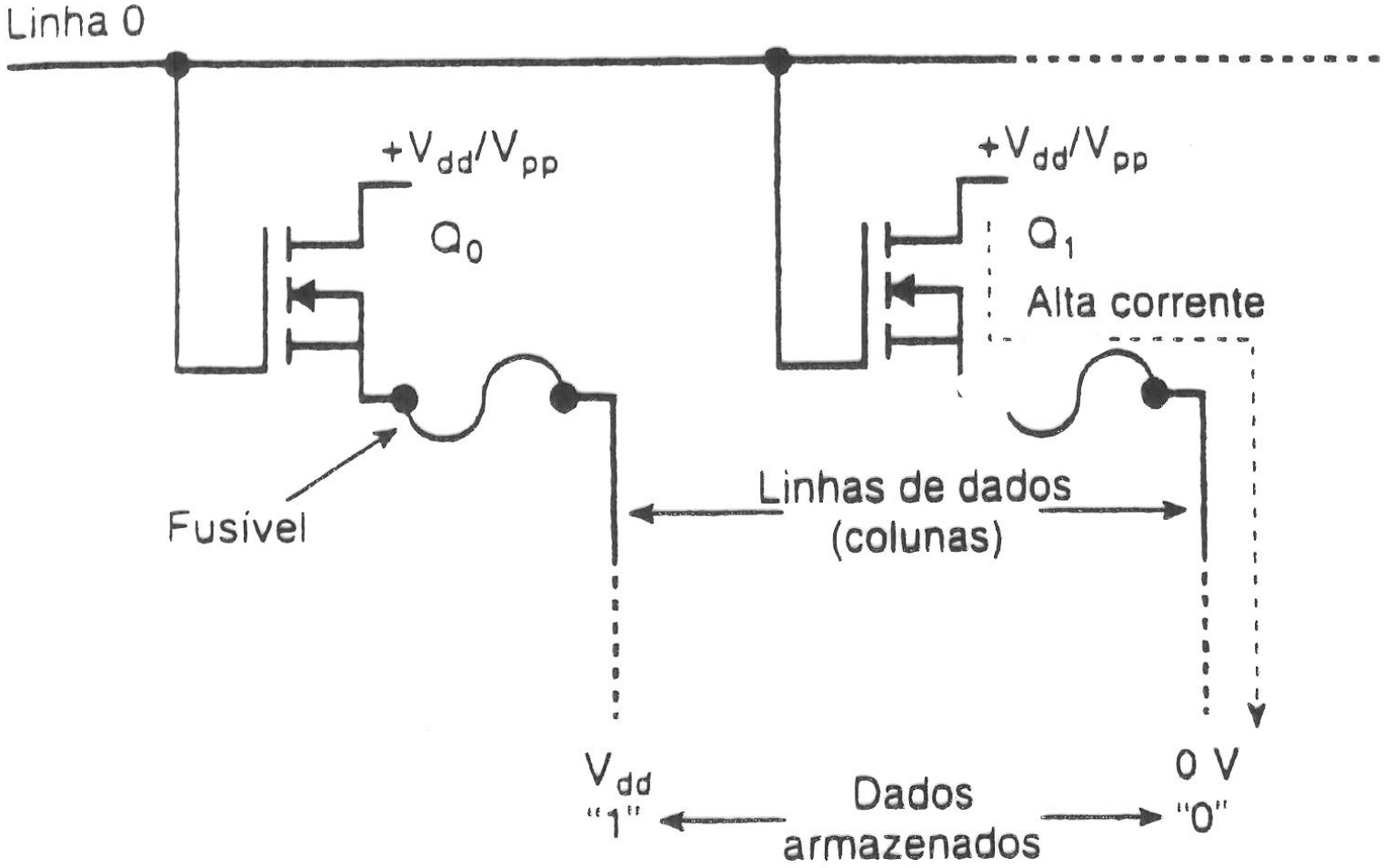


Address		Data			
A_1	A_0	D_3	D_2	D_1	D_0
0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1

Fonte: Digital Systems: Principles and Applications, 11ed. Ronald J. Tocci, Neal S. Widmer, Gregory L. Moss

Tipos de Memórias a Semicondutor – PROM

PROMs -Programmable ROM



Tipos de Memórias a Semicondutor – PROM

PROMs -Programmable ROM

–Programação é feita pelo usuário e esta é fixa (feita apenas uma vez);

–Queimar fusíveis onde deve haver zero aplicando de 10 a 30V em um pino especial na pastilha;

–Programador (queimador) específico para cada tipo de PROM, com Tempo de programação da ordem de 2 minutos.

–Utilização: Produtos de escala menor que ROM.

Tipos de Memórias– EPROM

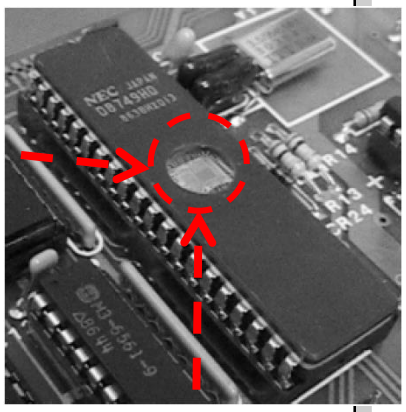
UV EPROMs –Ultra Violet Erasable PROM

–Programada pelo usuário.

–Pode ser apagada e reprogramada

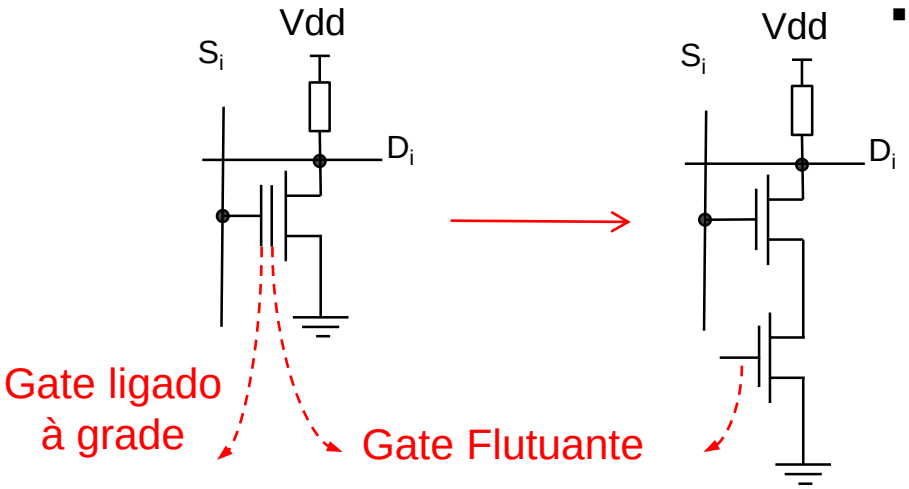
–Estado inicial = “1” em todos os bits

–Programação por armazenamento de carga



Janela para irradiação de UV

–Célula:



- Transistor MOS
- 2 Gates
  - 1 Flutuante
  - Não ligado à grade
  - Material alta Z

Tipos de Memórias– EPROM

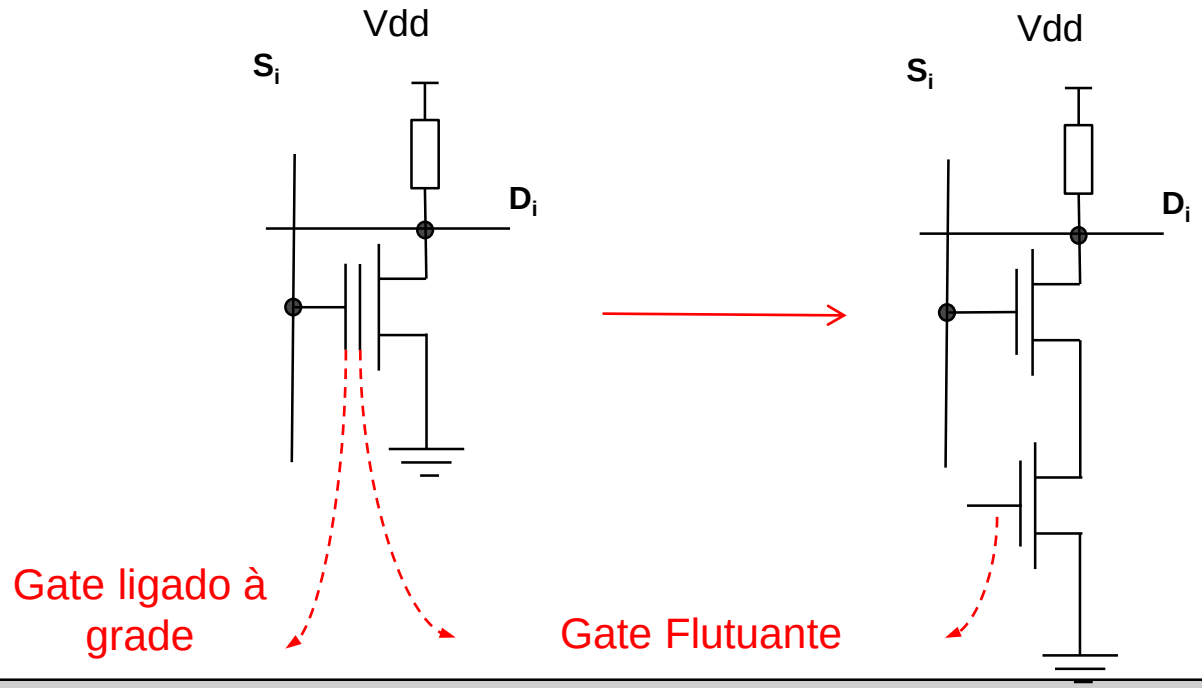
UV EPROM's – Ultra Violet Erasable PROM

–Estado Inicial:

» *Gate* flutuante isolado da grade

» Transistor não conduz quando selecionado S_i,

» D_i=1 (pull-up)



Tipos de Memória – EPROM

UV EPROMs – Gravação – Gravar “zero” onde desejado por meio da aplicação de alta tensão no *Gate* Flutuante – *Breakdown* (controlado) no isolante, sem danos;

- Acúmulo de carga no *gate* mantida pelo isolante
- Alta impedância do material permite que a EPROM mantenha a programação por 10 anos!!
- Transistor conduz quando é selecionado -> $D_i = 0$.

Tipos de Memórias– EPROM

EPROM's – **Apagamento**

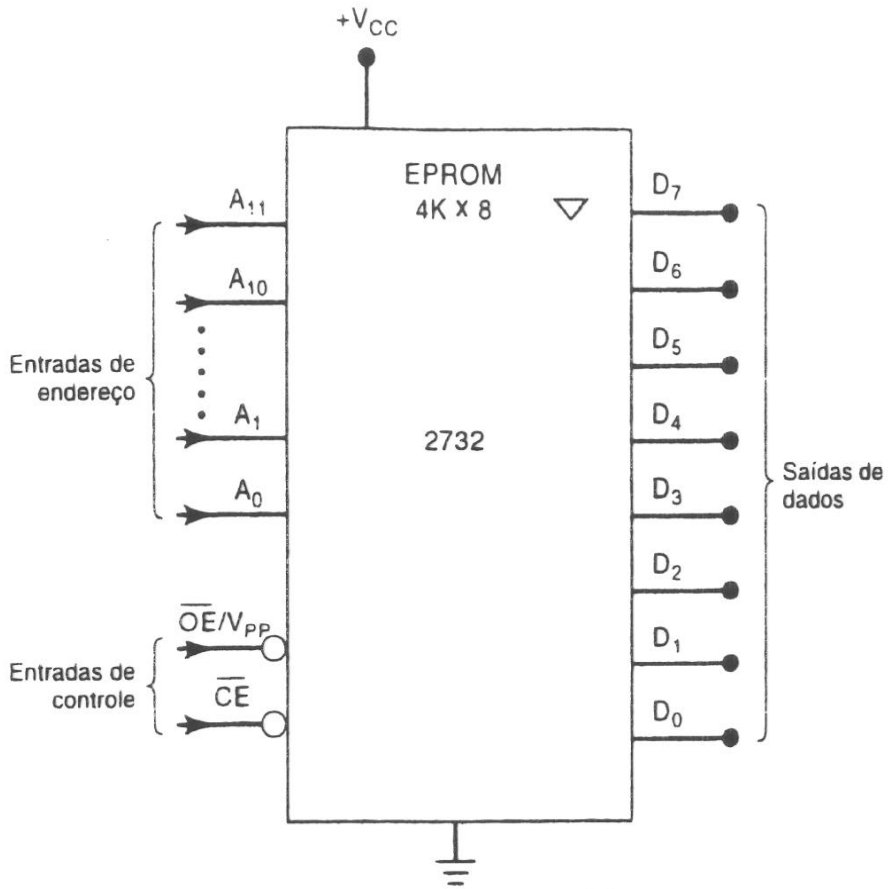
» Fótons de alta energia de luz UV colidem com os elétrons armazenados no *gate* flutuante e provocam seu espalhamento, desfazendo o acúmulo de cargas e, portanto, a programação.

Tipos de Memórias – EPROM

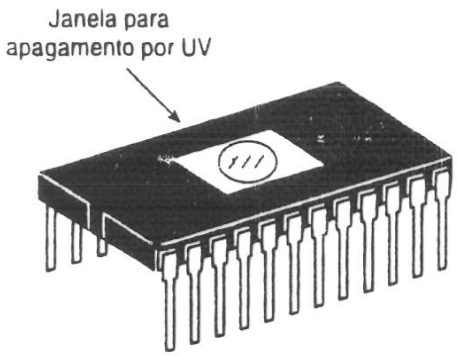
EPROM's – **Apagamento**

- » Existe um limite prático de vezes que a EPROM pode ser apagada e regravada.
- » A exposição constante à luz fluorescente pode apagá-la em 3 anos e a exposição ao Sol em 3 dias (Costuma-se cobrir a janela de quartzo com uma etiqueta opaca).

EPROMs –Ultra Violet Erasable PROM



(a)



(b)

Modo	Entradas $\overline{CE}$	Entradas $\overline{OE}/V_{PP}$	Dados
LEITURA/VERIFICAÇÃO	V_{IL}	V_{IL}	Saída de dados
INIBIÇÃO da Saída	V_{IL}	V_{IH}	Alta impedância
STANDBY	V_{IH}	X	Alta impedância
PROGRAMAÇÃO	V_{IL}	V_{PP}	Entrada de dados

(c)

Nota: V_{IL} = nível BAIXO TTL
V_{IH} = nível ALTO TTL
X = don't care
V_{PP} = 21 V nominal

Tipos de Memórias - EEPROM

***EEPROM* – Eletrically Erasable PROM**

– **Características**:

» Programação pelo usuário e apagável por pulsos Elétricos, no circuito com número limitado de apagamentos (~10^4);

» Alto custo unitário e apagamento em apenas 1 bit ou byte se desejado.

– **Utilização:**

» Permite escrita “no sistema” e mantém dados mesmo com perda da alimentação.

Tipos de Memórias – EEPROM

EEPROM

Célula:

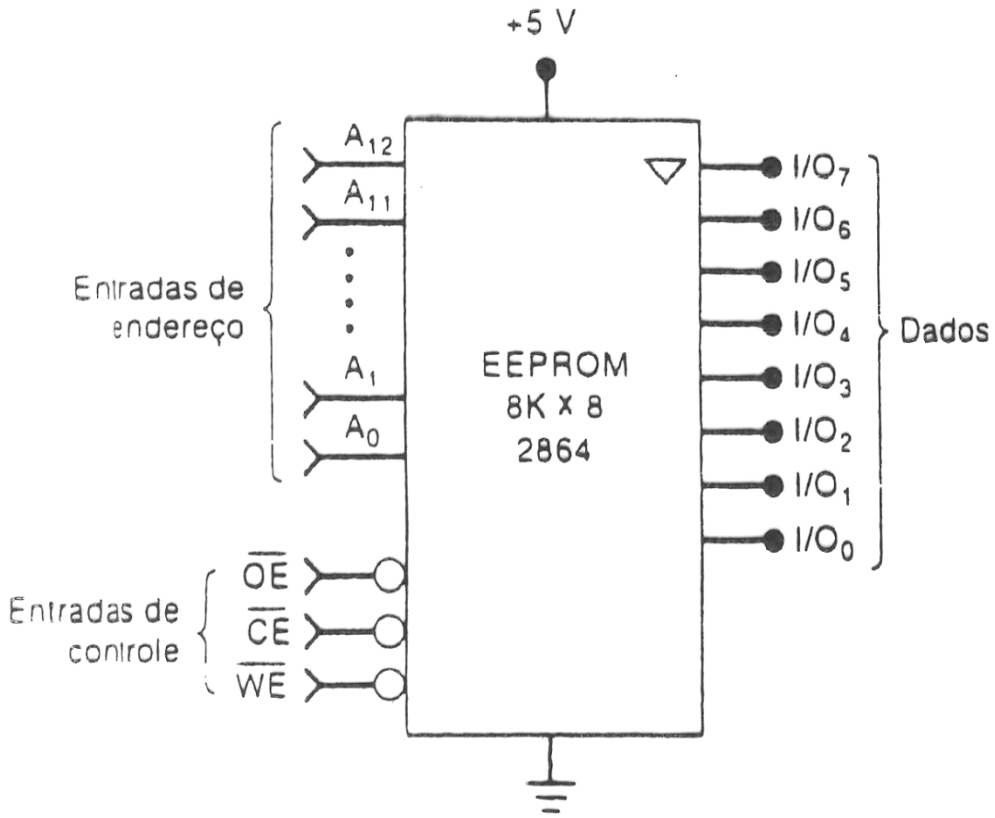
- » Semelhante à EPROM;
- » Carga elétrica pode ser retirada por aplicação de tensão oposta no *gate* flutuante.

Não substitui a RAM, pois:

- » Tempos de escrita superiores e custo maior;
- » É necessário outro nível de tensão.

Tipos de Memórias – EEPROM

EEPROM



(a)

	Entradas			
Modo	$\overline{CE}$	$\overline{OE}$	$\overline{WE}$	Pinos de dados
LEITURA	BAIXO	BAIXO	ALTO	Saída
ESCRITA	BAIXO	ALTO	BAIXO	Entrada
STANDBY	ALTO	X	X	Alta impedância

(b)

Tipos de Memórias – *Flash*

<u>Flash-Memory</u>

–**Variante de E^{2}PROM (*Flash* EPROM's)**:

» Eletricamente apagáveis;

» **Apaga a memória em blocos (*in a flash*).**

–Tempo de apagamento baixo;

–Custo inferior à E^{2}PROM => Maior densidade.

–Tempo de escrita maior.

–Não permite apagar bytes específicos.

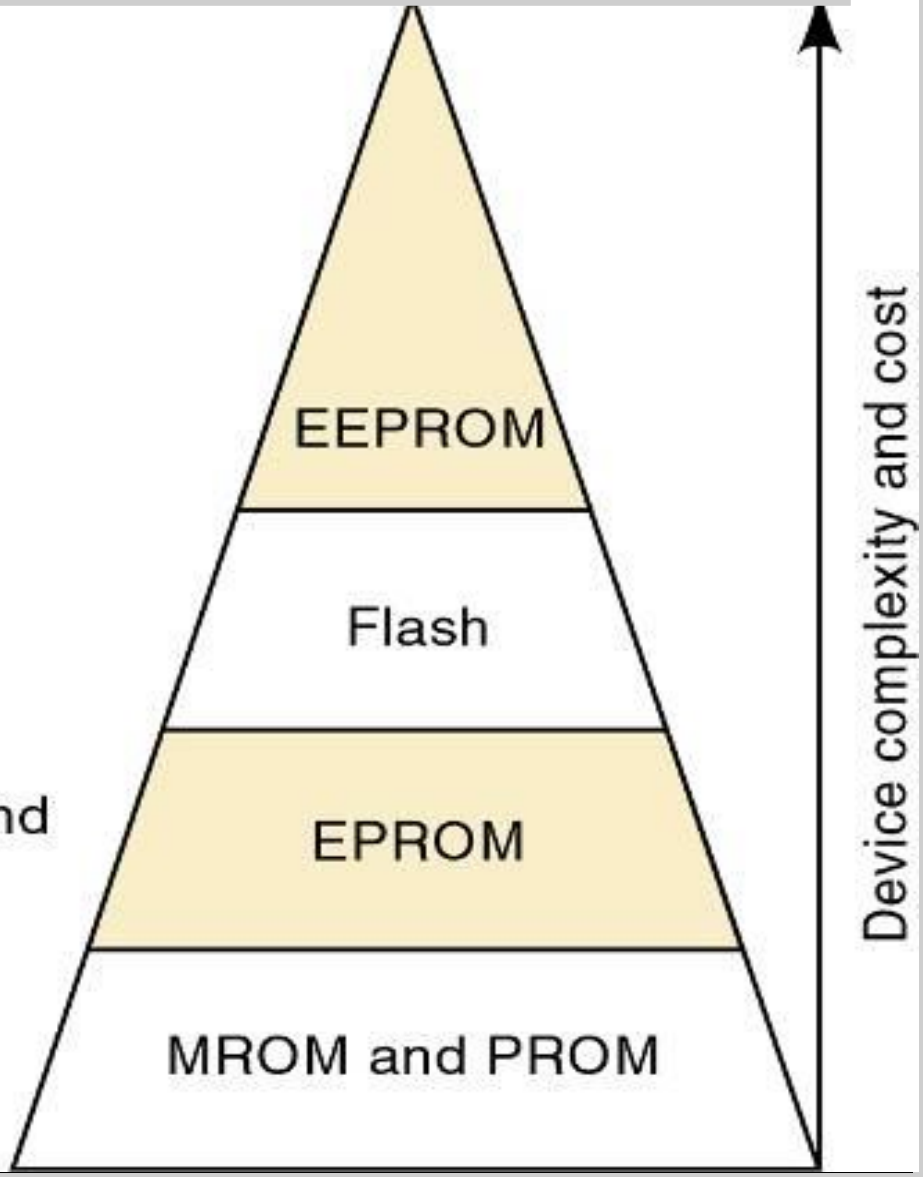
ROM - Resumo

In-circuit, electrically erasable byte-by-byte

In-circuit, electrically erasable by sector or in bulk (all cells)

UV erasable in bulk; erased and reprogrammed out of circuit

Cannot be erased and reprogrammed

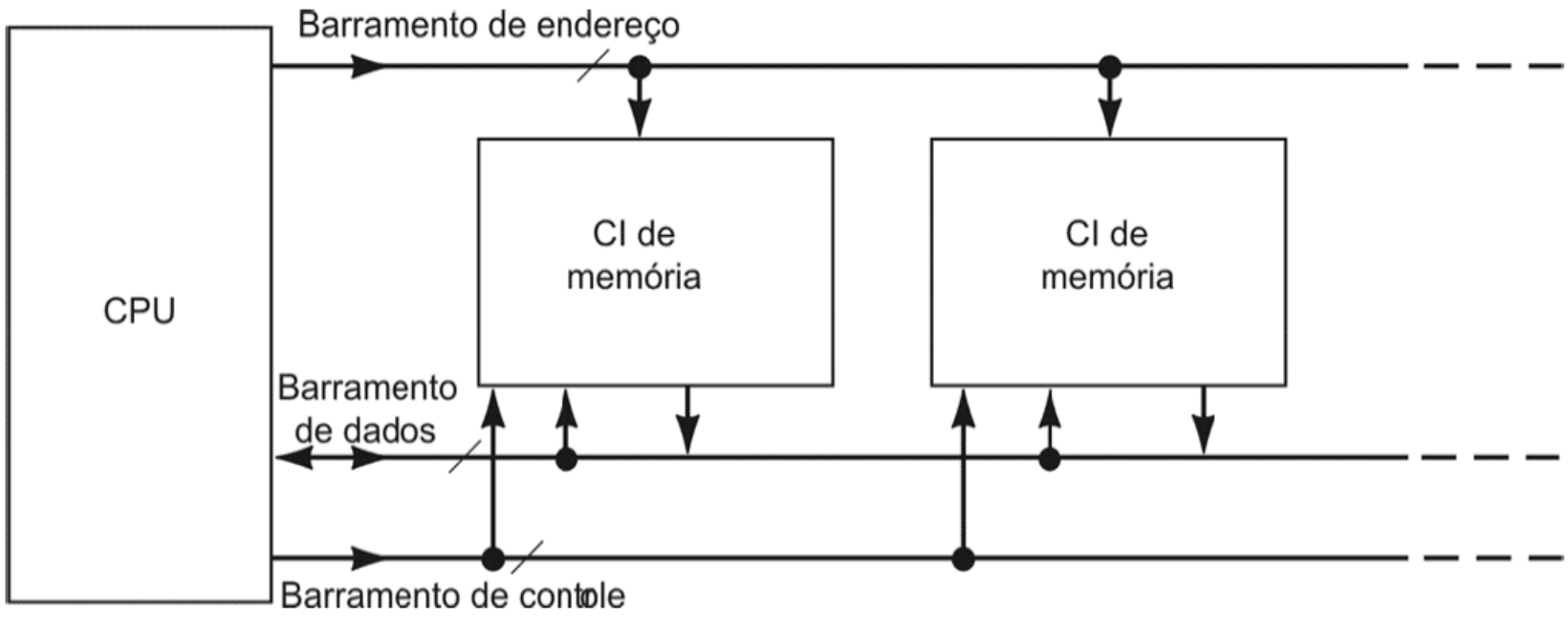


Memórias RAM

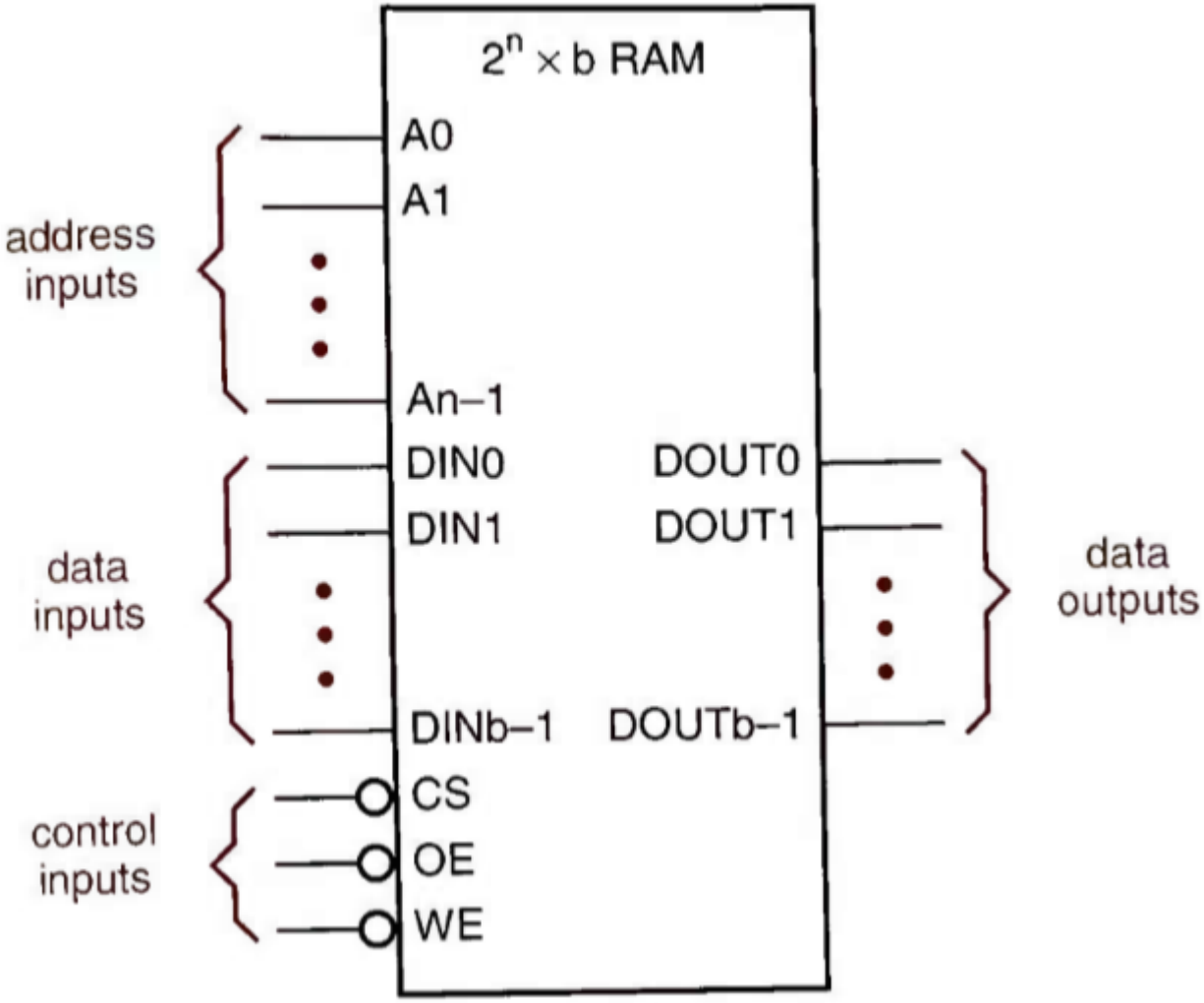
- **RAM:** Memórias de leitura e escrita, voláteis, mais rápidas que ROM, porém mais caras
- Principal tecnologia: **CMOS**
- Dois principais tipos: estática (**SRAM**) e dinâmica (**DRAM**)
- **Utilização**: armazenamento temporário: memória principal de computadores (DRAM), memória cache (SRAM)

Memórias: Arquitetura

- Interconexão de memórias com CPU

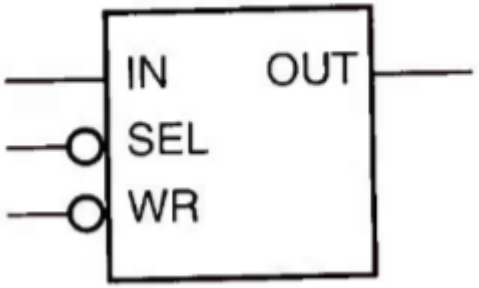


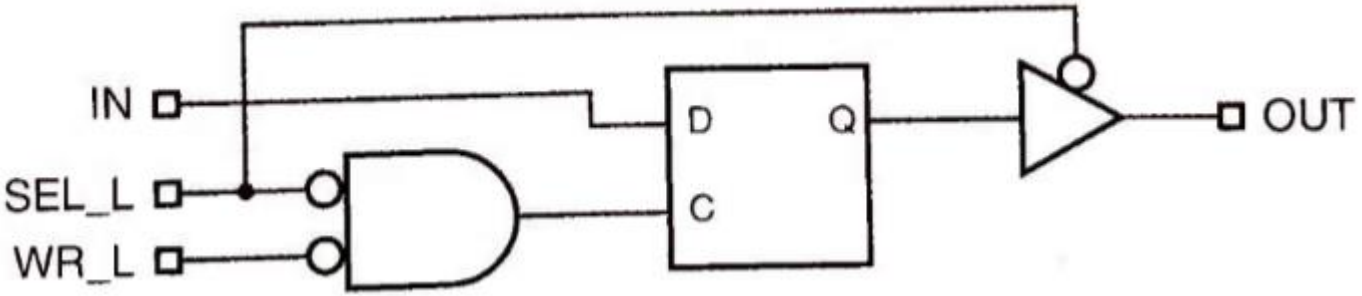
RAM Estática (SRAM)



RAM Estática (SRAM)

Cada célula na SRAM armazena 1 bit, usando um latch D.





- Um decodificador seleciona o conjunto de células habilitadas para um endereço.

- Uso em memória cache.

RAM Dinâmica (DRAM)

Random Access Memory

–Dinâmicas:

» Célula Básica: (1 bit) :

Capacitor + Transistor;

1 transistor => dinâmica

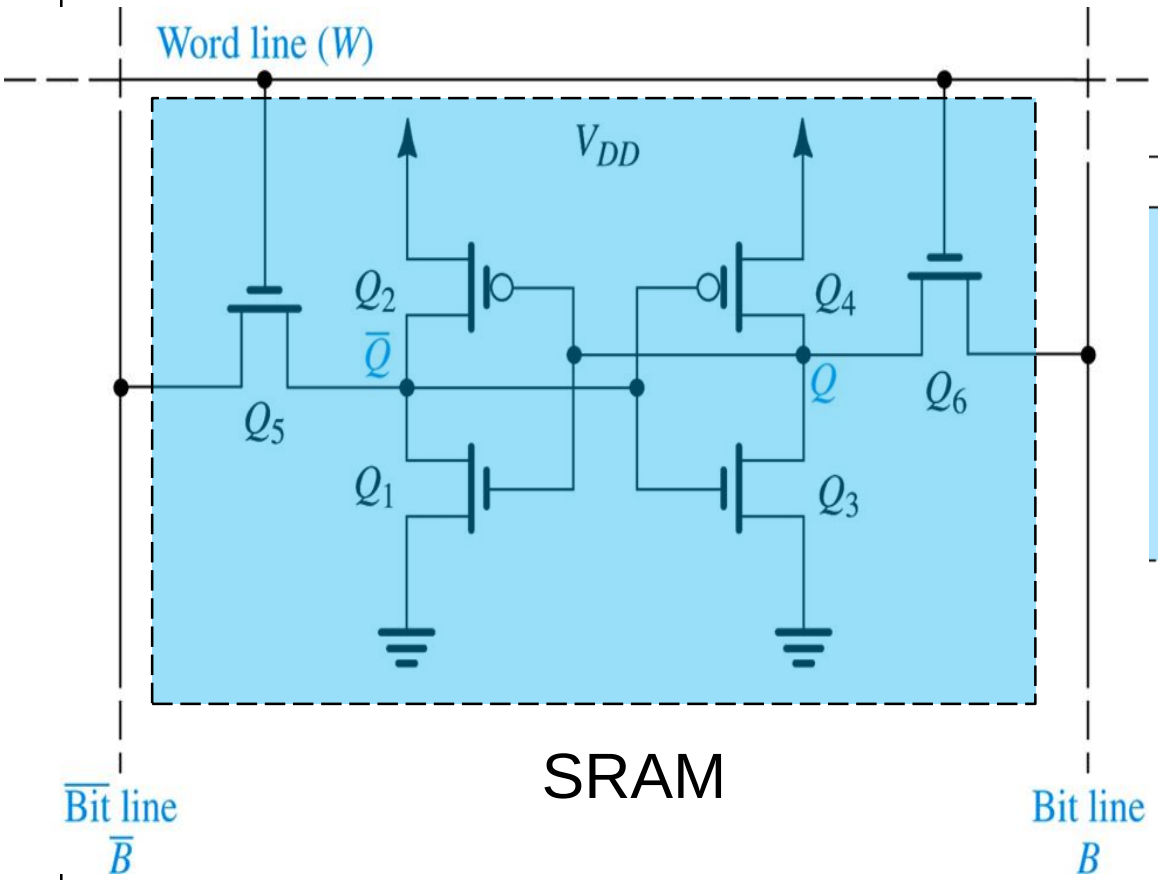
6 transistores => estática

» Precisam ser refrescadas/recarregadas periodicamente;

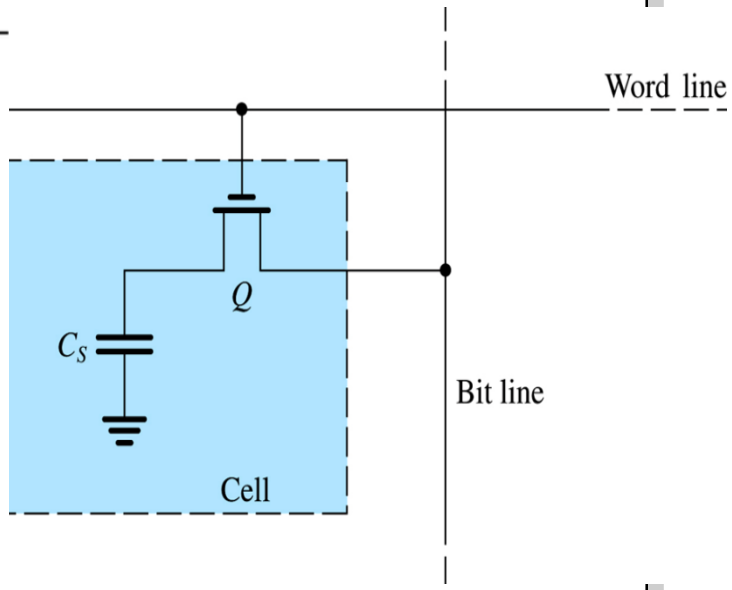
» Requer circuitos externos adicionais.

RAM Dinâmica

- SRAM vs DRAM



SRAM

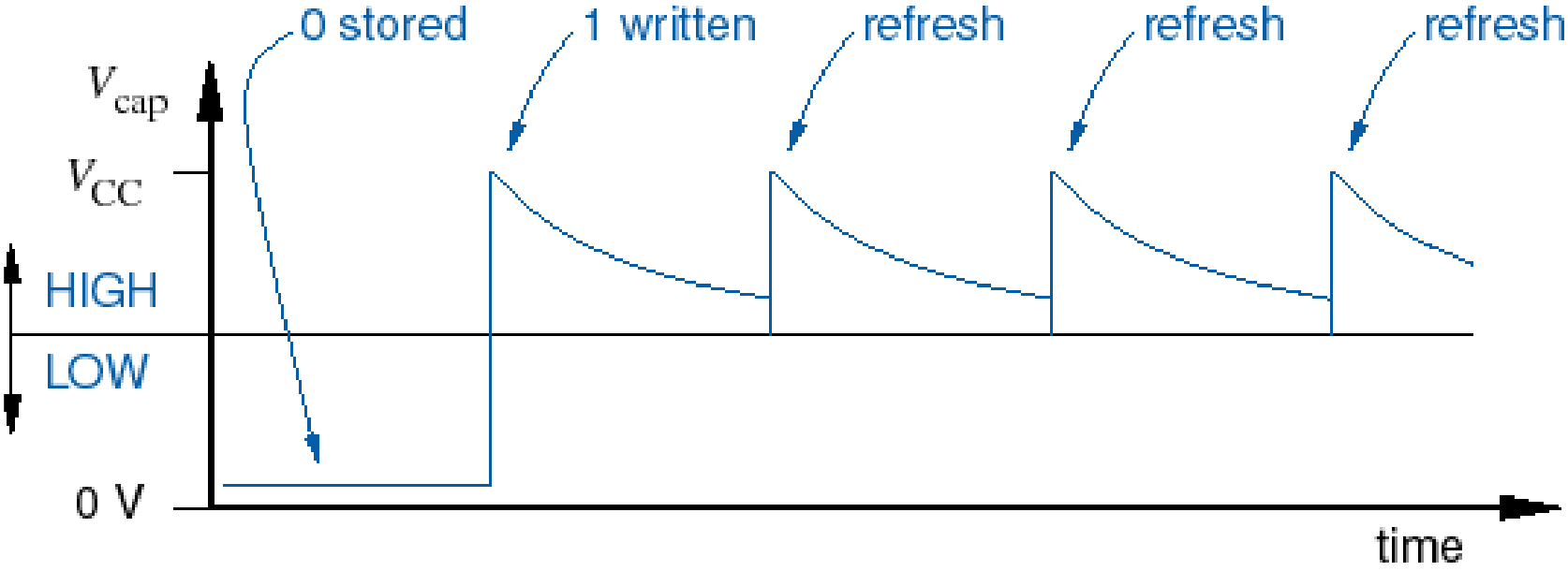


DRAM

6. RAM Dinâmica

"Vazamento" da carga na DRAM

- dispositivos típicos requerem que cada célula precisa ser "refrescada" a cada 4 a até 64ms;
- durante períodos ociosos, o controlador de memória deve realizar a operação de refrescamento.

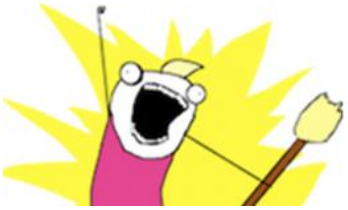


RAM Dinâmica

- **Dinâmicas:**
  - » Menor consumo;
  - » Mais densas;
  - » Mais lentas;
  - » Utilização – Grandes Bancos de Memória. (Memória principal)
- **Pseudo-estática**
  - » Dinâmica com *refresh* embutido na pastilha.

Memórias: Hierarquia

– O que queremos?



» Memórias rápidas **E** baratas!

– O que temos?

» Memórias rápidas **OU** baratas.

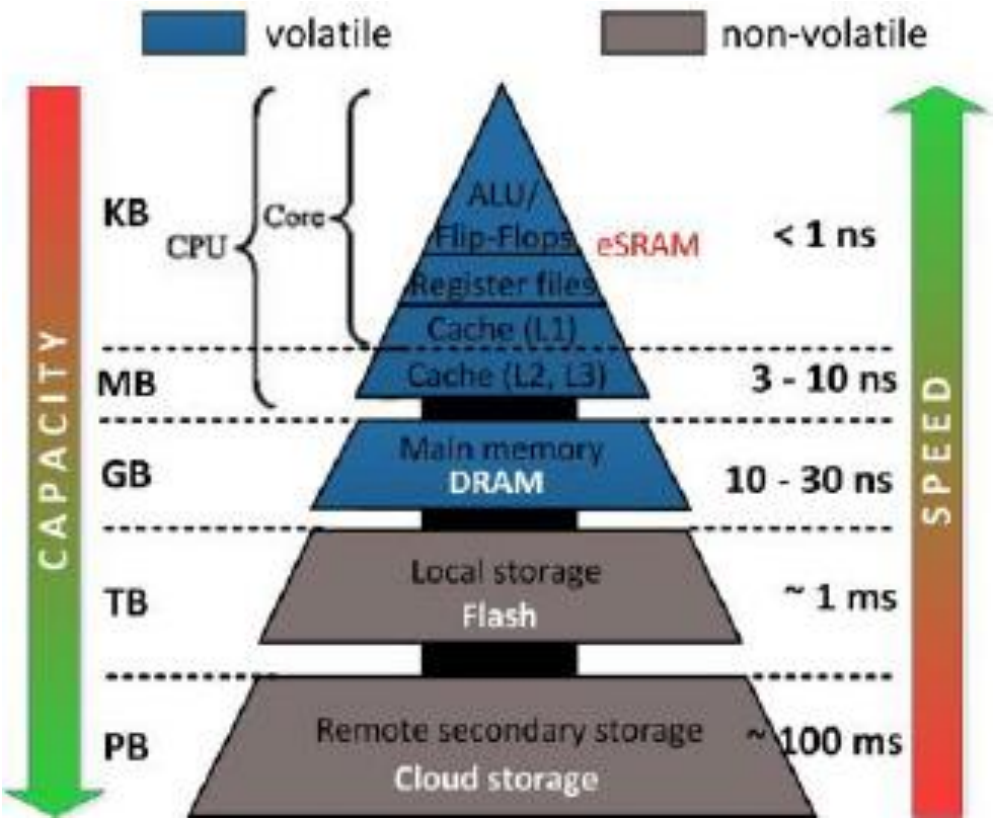
– SRAM: 0.01 centavo por bit, $t_{acesso} < 1$ ns

– HD: 10^{-9} centavos/bit, $t_{acesso} \sim 10$ ms

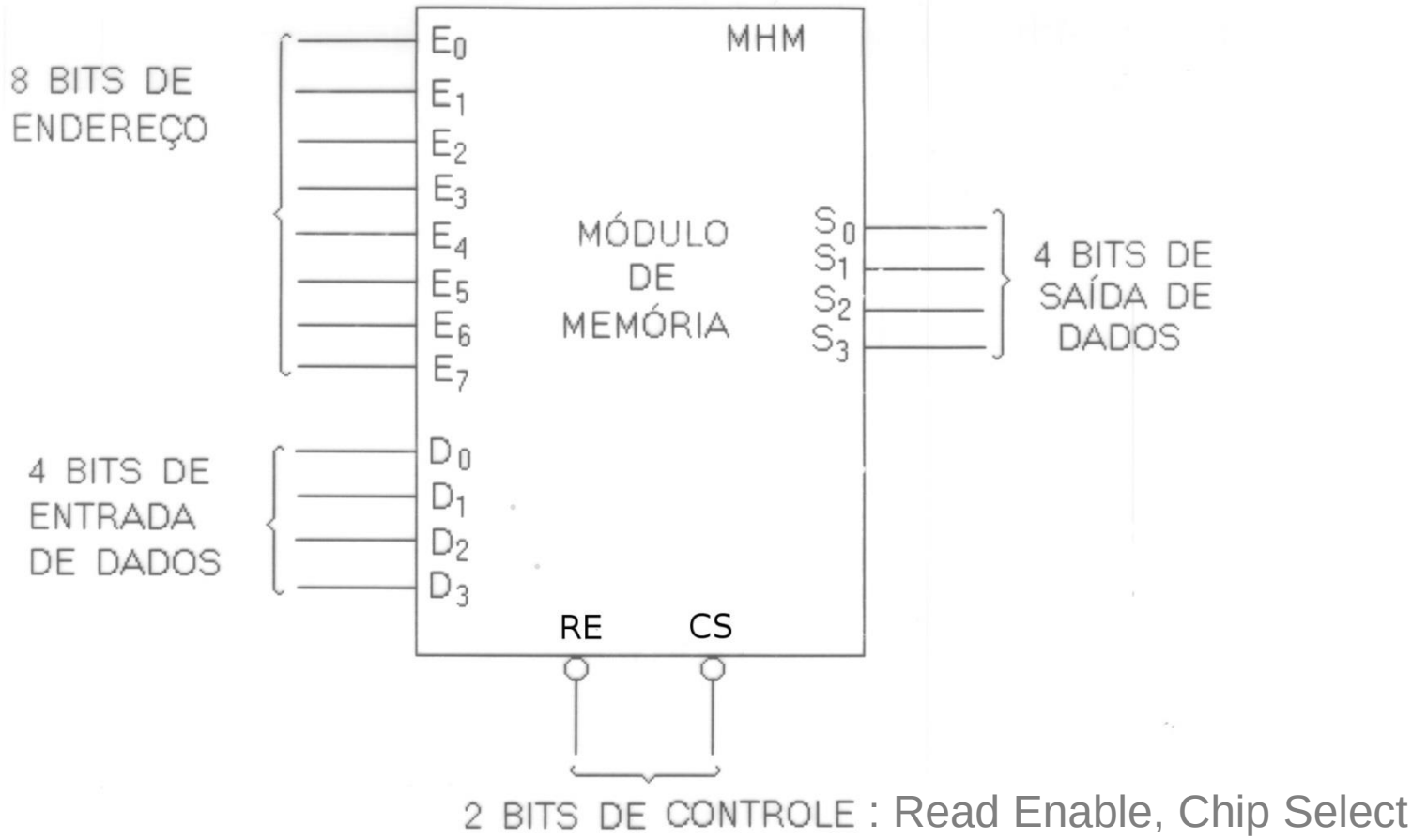
– **Solução**: Hierarquia de memórias.

Memórias: Hierarquia

Memórias mais rápidas para o que mais usamos



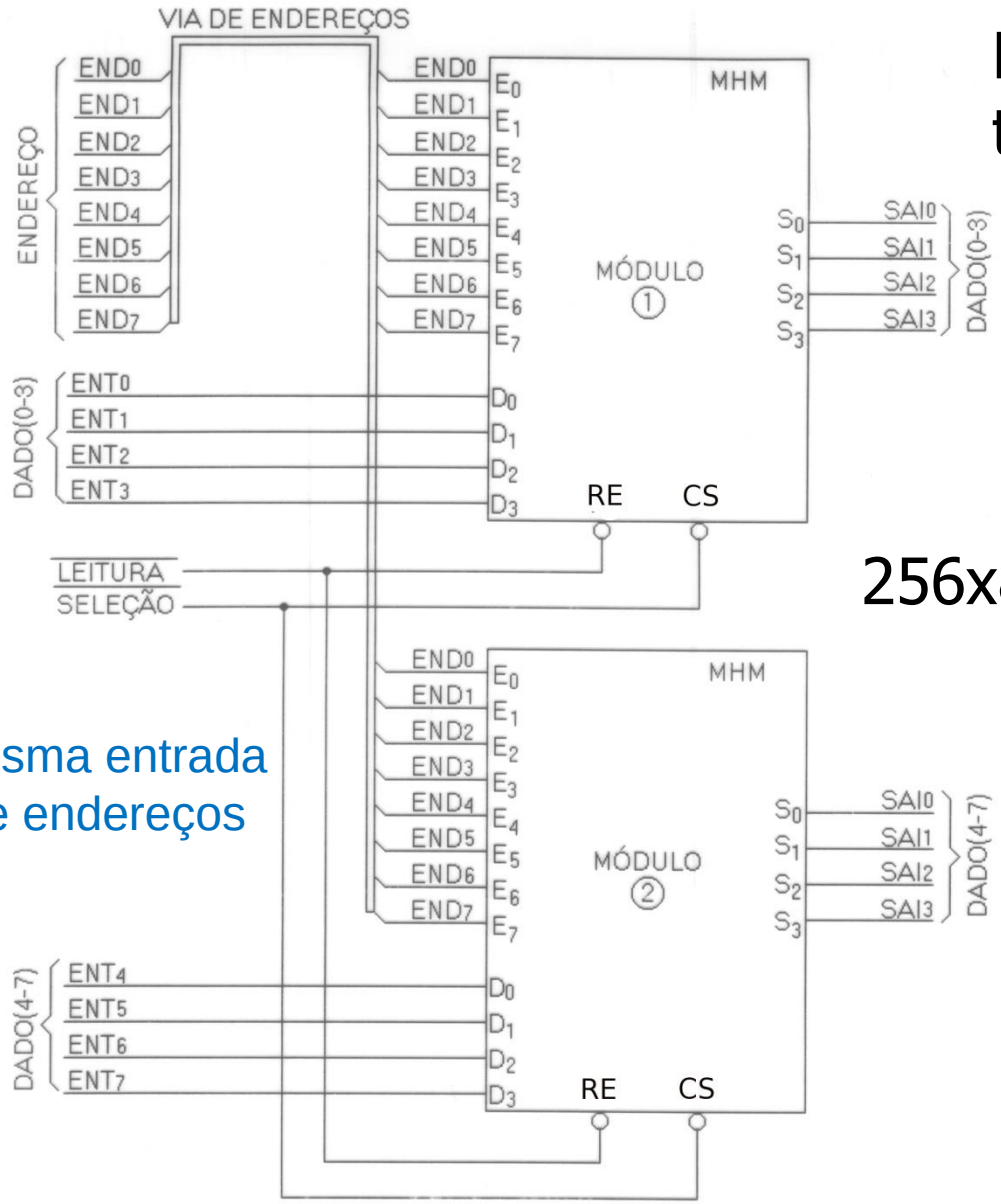
Associação de Memórias



- **Pergunta**: usando o mesmo tipo de chip, expandir **<u>tamanho das palavras</u>** para 8 bits

Associação de Memórias

Ex.: expansão de tamanho da palavra.

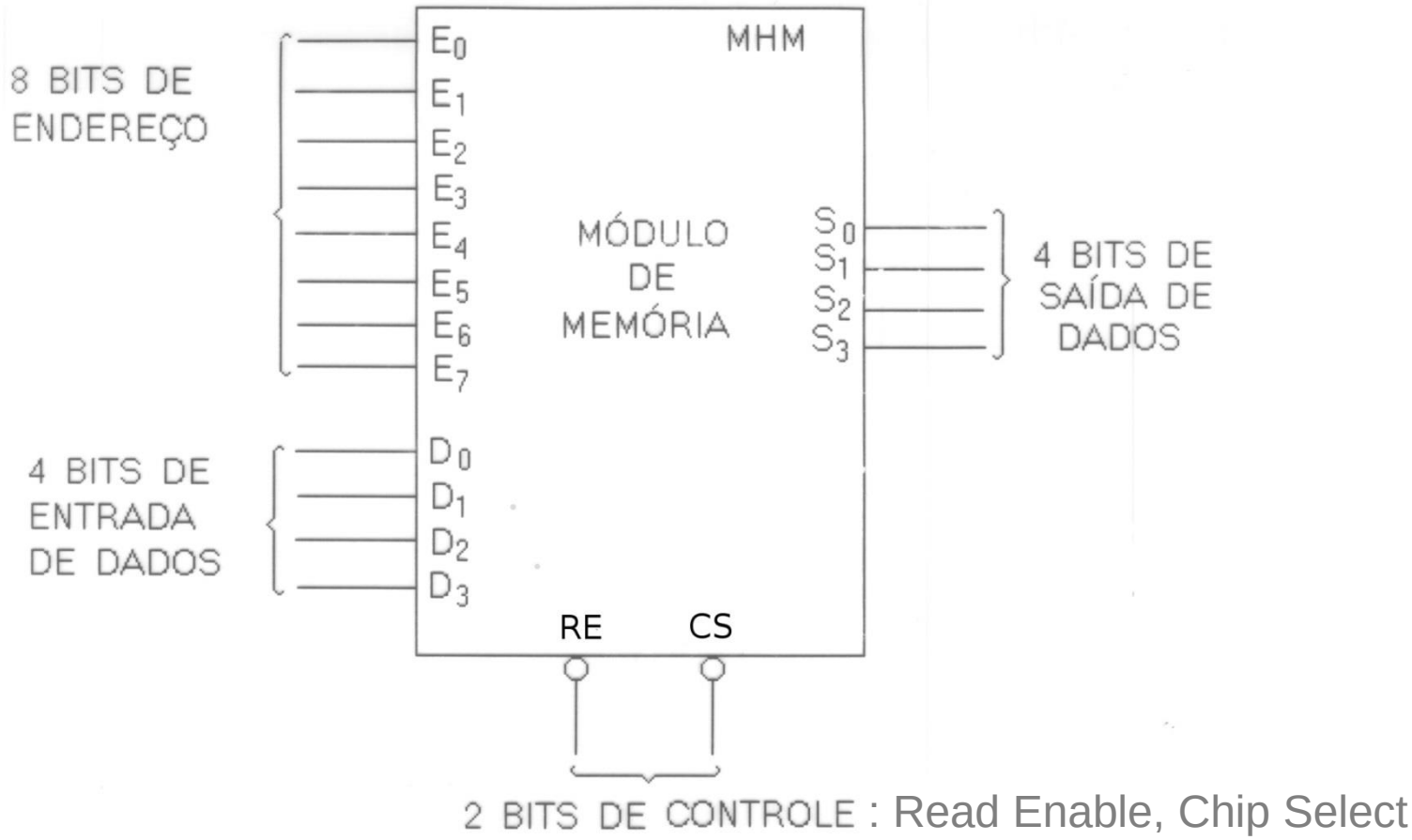


256x8 bits

Mesma entrada de endereços

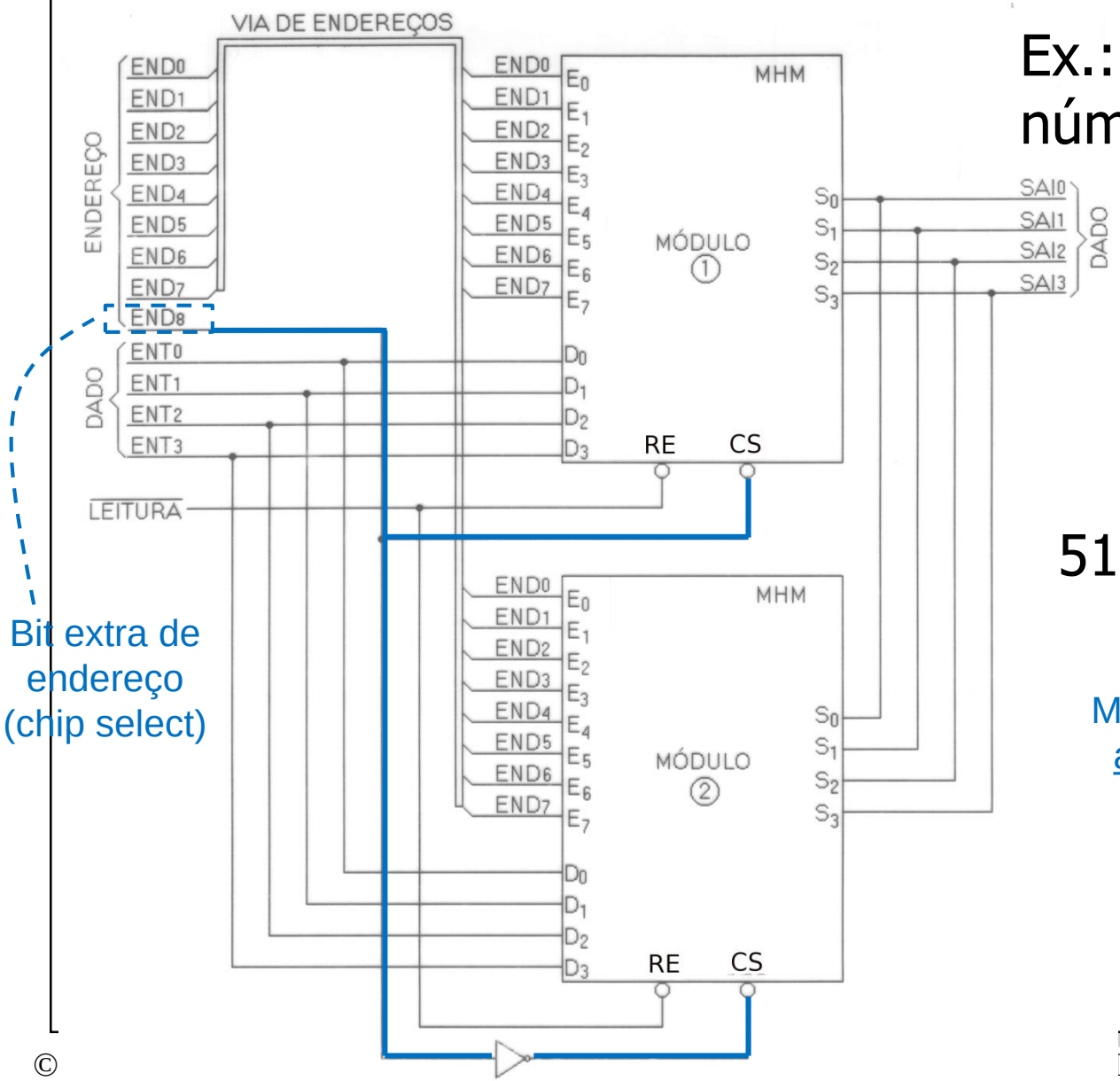
Combinação dos bits de dados

Associação de Memórias



- **Pergunta**: usando o mesmo tipo de chip, expandir **<u>número de palavras</u>** para 512

Associação de Memórias



Ex.: expansão do número de palavras

512x4 bits

Bit extra de endereço (chip select)

Mesma via de dados: alta impedância se CS desativado

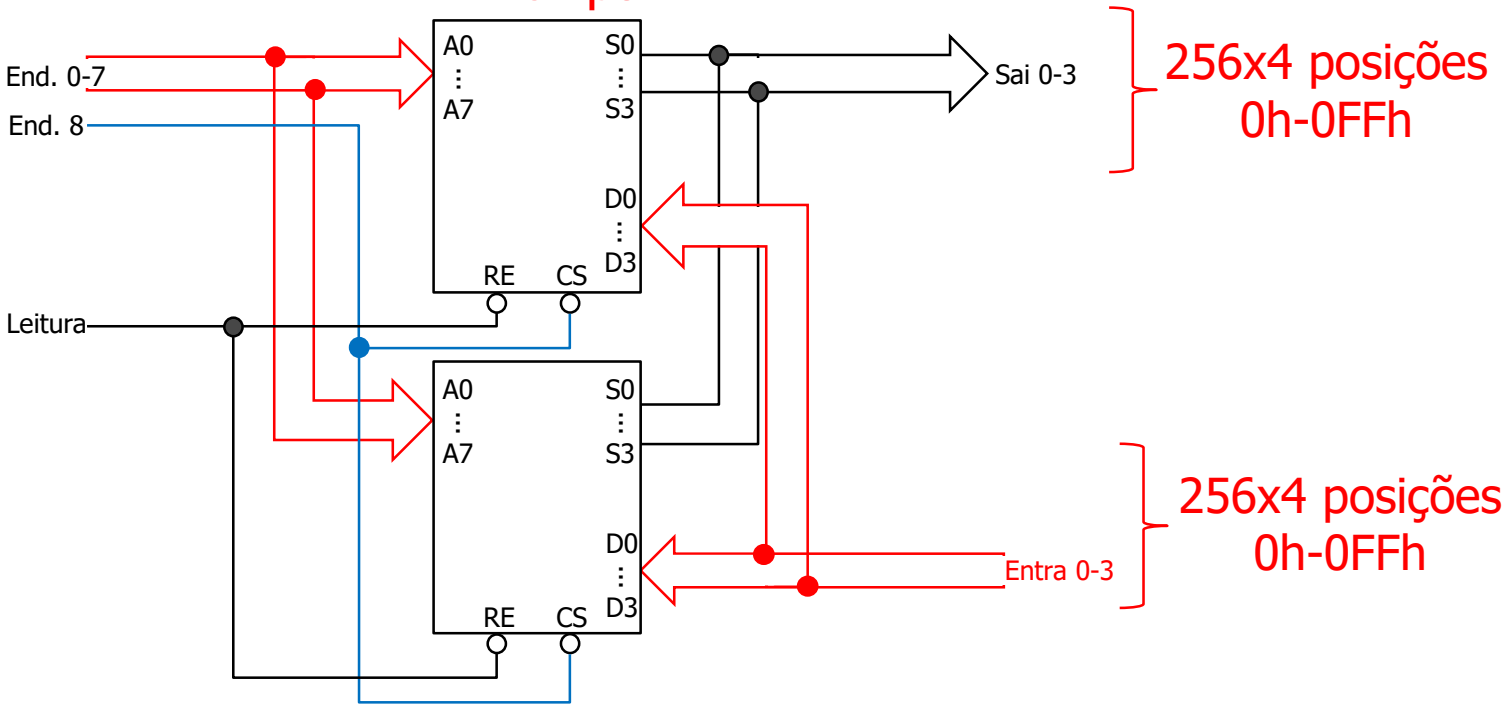
Associação de Memórias

Aumento do número de posições

Ex.: A partir do Módulo de 256x4 => obter 512x4

512 posições => 2^9 => Via de endereços 9 bits

=> 2 chips



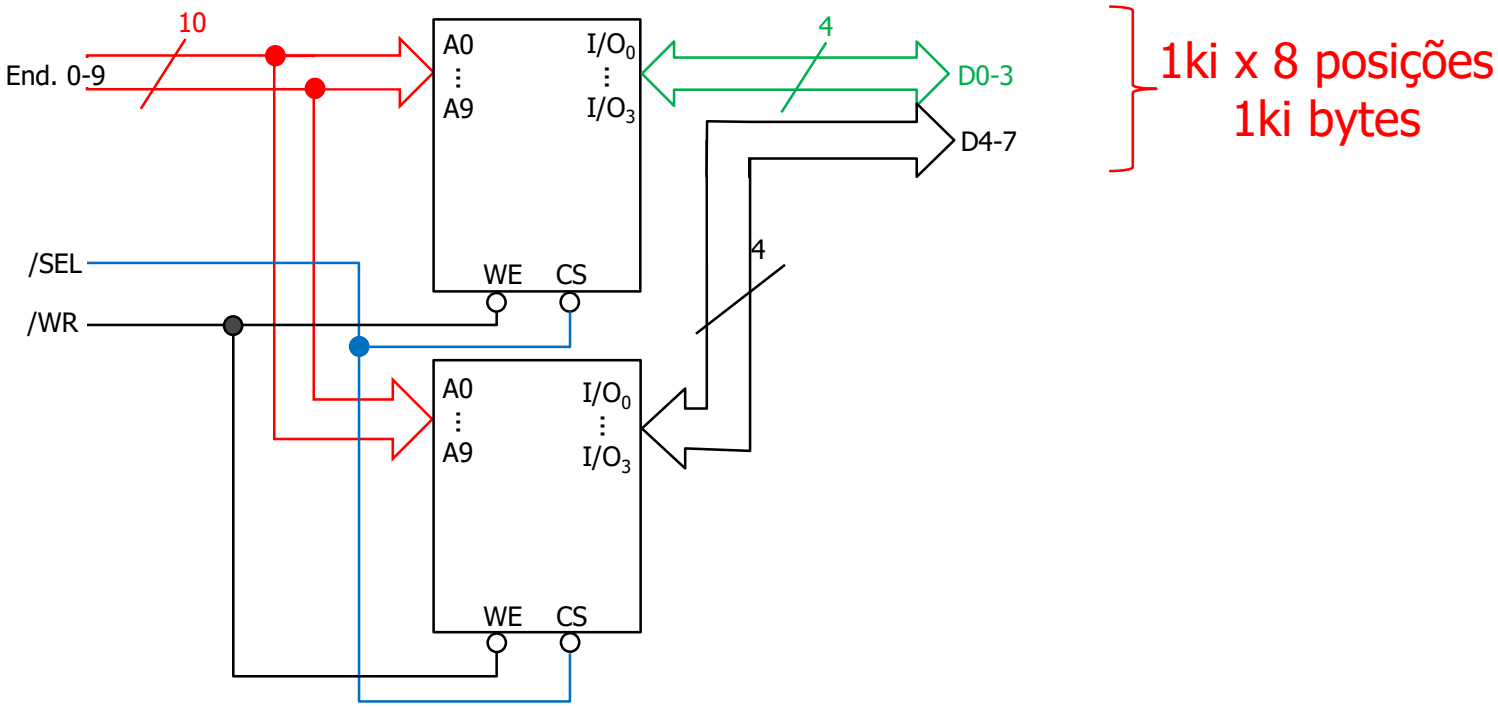
-Acesso não simultâneo a cada CI
-Necessidade de saídas tri-state => barramento de dados (data bus)
-Controle da seleção dos CIs: bits de endereço que excedem a capacidade de endereçamento interno.
-Endereçamento dentro dos CI: bits menos significativos.

Associação de Memórias

Aumento do tamanho da palavra

Ex.: Dada a RAM 1ki x 4bits, obter 1ki x 1 byte.

Tamanho: 1 byte = 8 bits => 2 chips de 4 bits

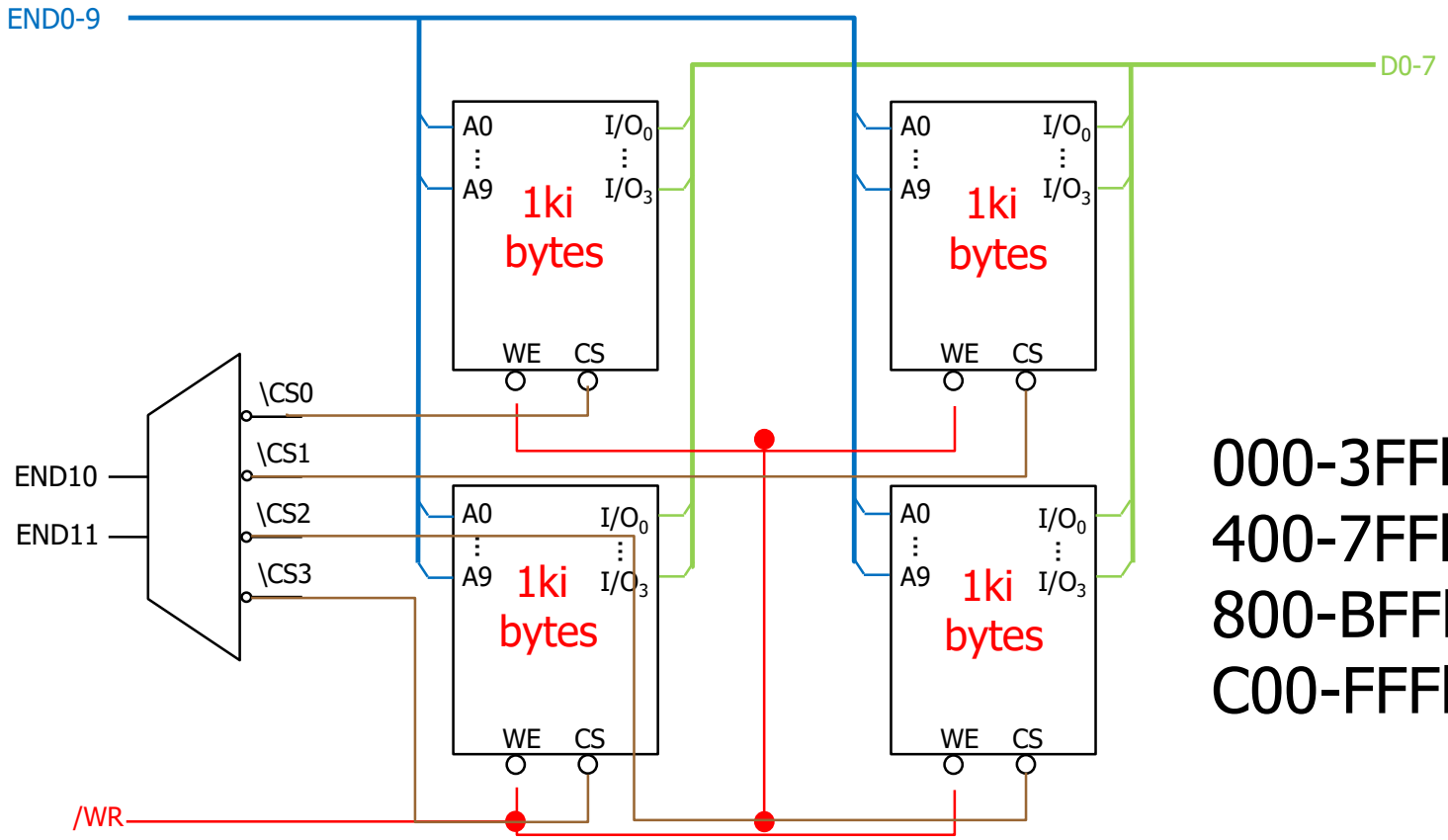


Associação de Memórias

Aumento do número de posições

Ex.: Dada a RAM 1ki x 8bits, obter 4ki x 1 byte.

Endereços: 4ki posições => 2^{12} => Via de endereços 12 bits => 4 chips



000-3FFh
400-7FFh
800-BFFh
C00-FFFh

Memórias “por dentro”: exemplos

APÊNDICE

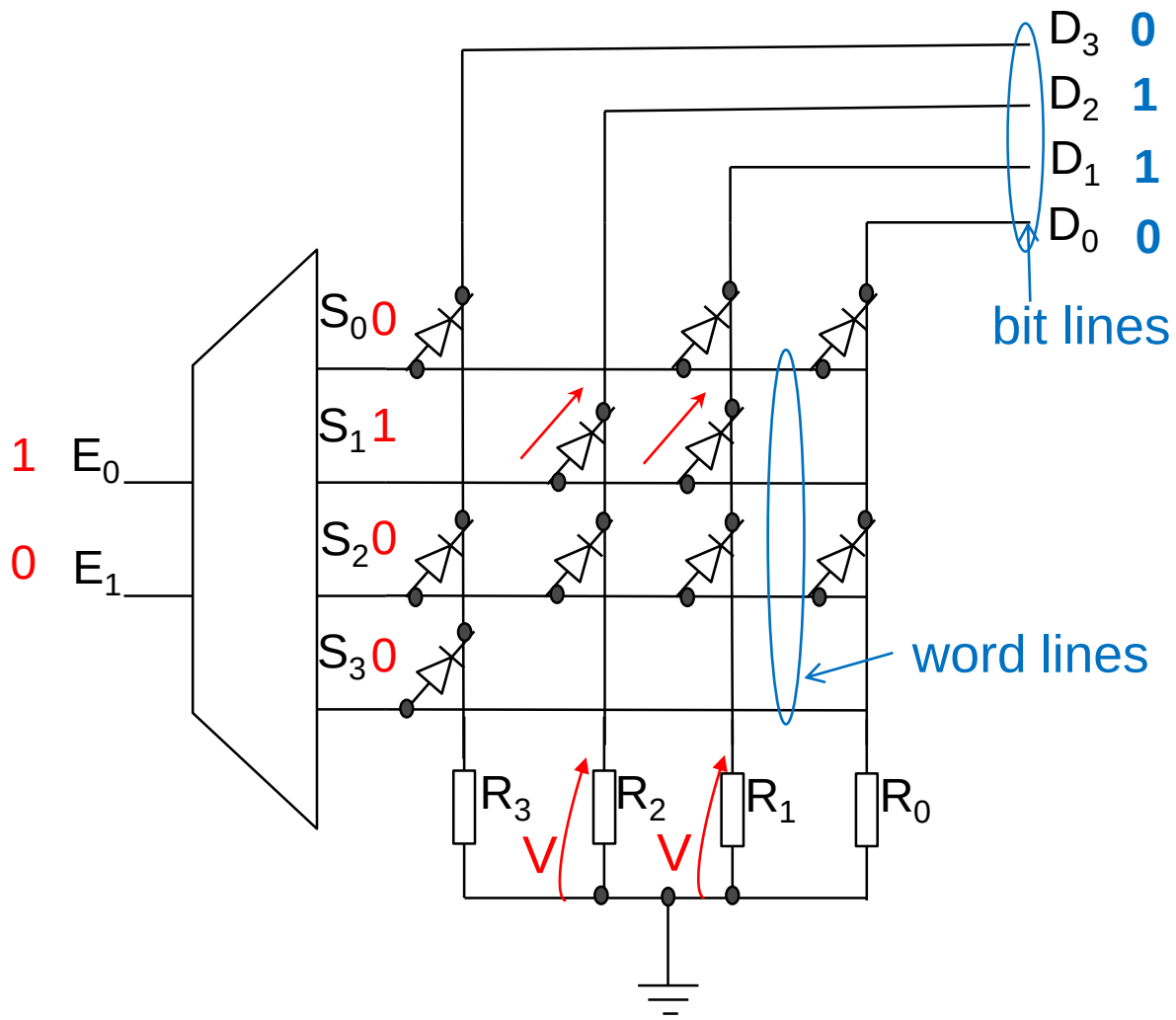
Tipos de Memórias a Semicondutor: ROM

Ex.: ROM de 4 palavras de 4 bits

E_1	E_0		D_3	D_2	D_1	D_0		S_3	S_2	S_1	S_0		D_3	D_2	D_1	D_0
0	0		1	0	1	1		0	0	0	1		1	0	1	1
0	1		0	1	1	0	=>	0	0	1	0		0	1	1	0
1	0		1	1	1	1		0	1	0	0		1	1	1	1
1	1		1	0	0	0		1	0	0	0		1	0	0	0
End.			Dados					Seleção Interna					Dados			

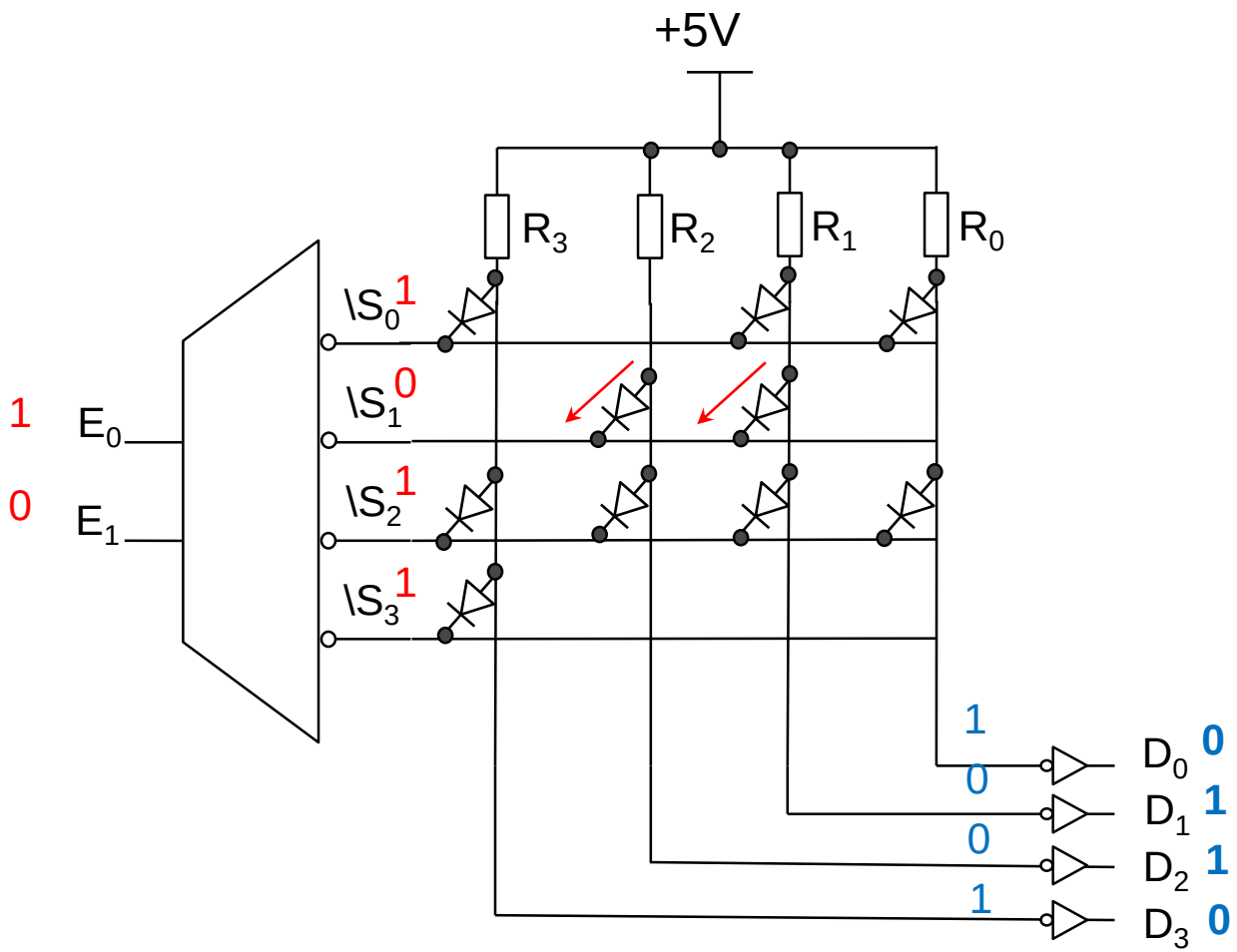
Tipos de Memórias a Semicondutor: ROM

Ex.: ROM de 4 palavras de 4 bits



Tipos de Memórias a Semicondutor: ROM

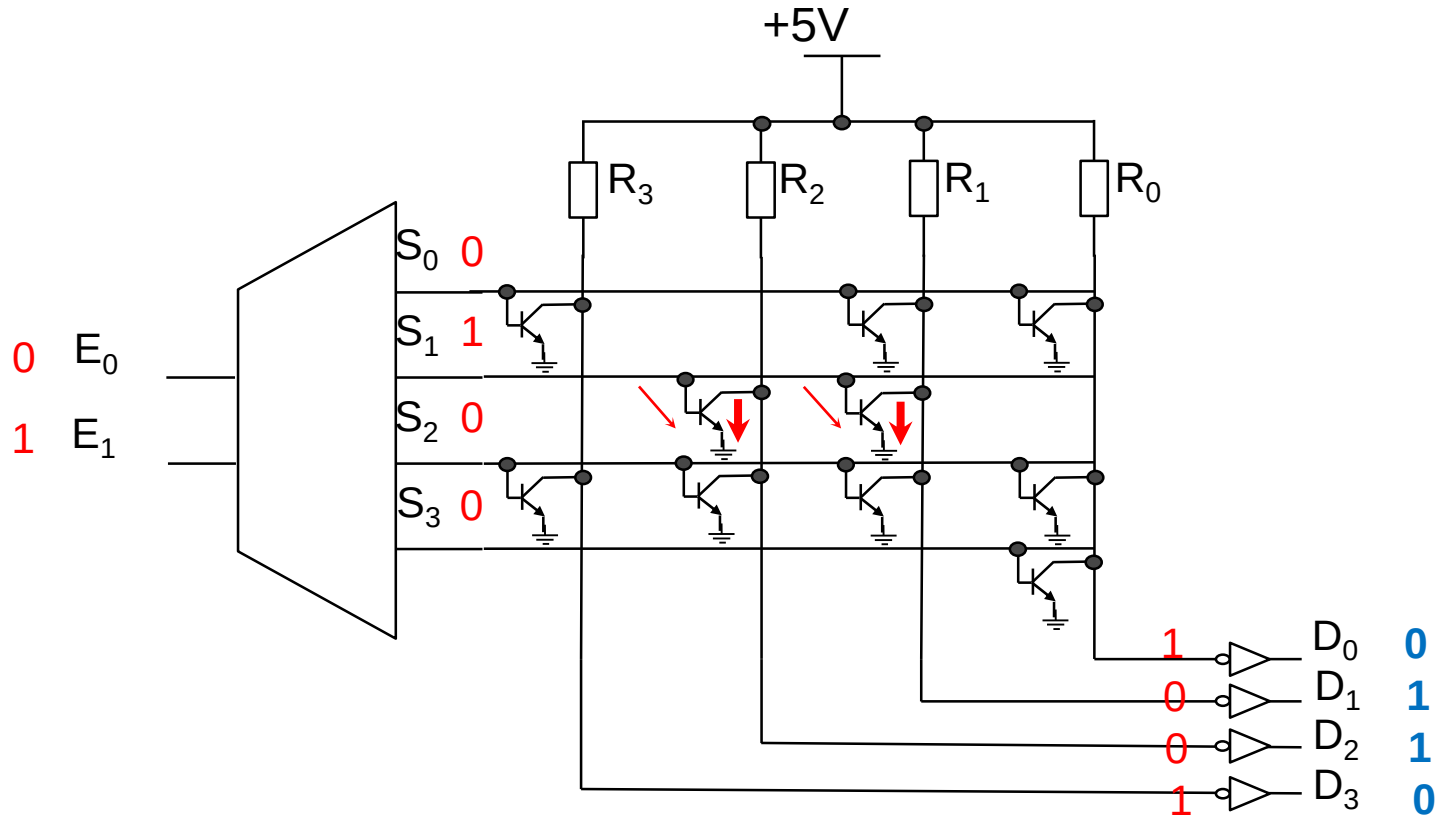
Ex.: ROM de 4 palavras de 4 bits



Tipos de Memórias a Semicondutor: ROM

Inconveniente: S_i **deve ter alto *fan-out*.**

Solução: Transistor ➔ $\mathbf{I_c}$ drenada da fonte, reduzindo corrente $\mathbf{I_b} = (\mathbf{I_c} / \boldsymbol{\beta})$ drenada de $\mathbf{S_i}$



Tipos de Memórias a Semicondutor: MROM

<u>MROM</u> – *Mask-programmed ROM*

– **Características**:

» Programada na fabricação do circuito integrado

» As informações são armazenadas conectando ou desconectando o *Gate* fonte de um transistor MOSFET à coluna de saída (MROM MOS).

» Programação na etapa de metalização do circuito: uma **máscara** para depositar metais sobre o silício.

» Alto custo total / baixo custo unitário

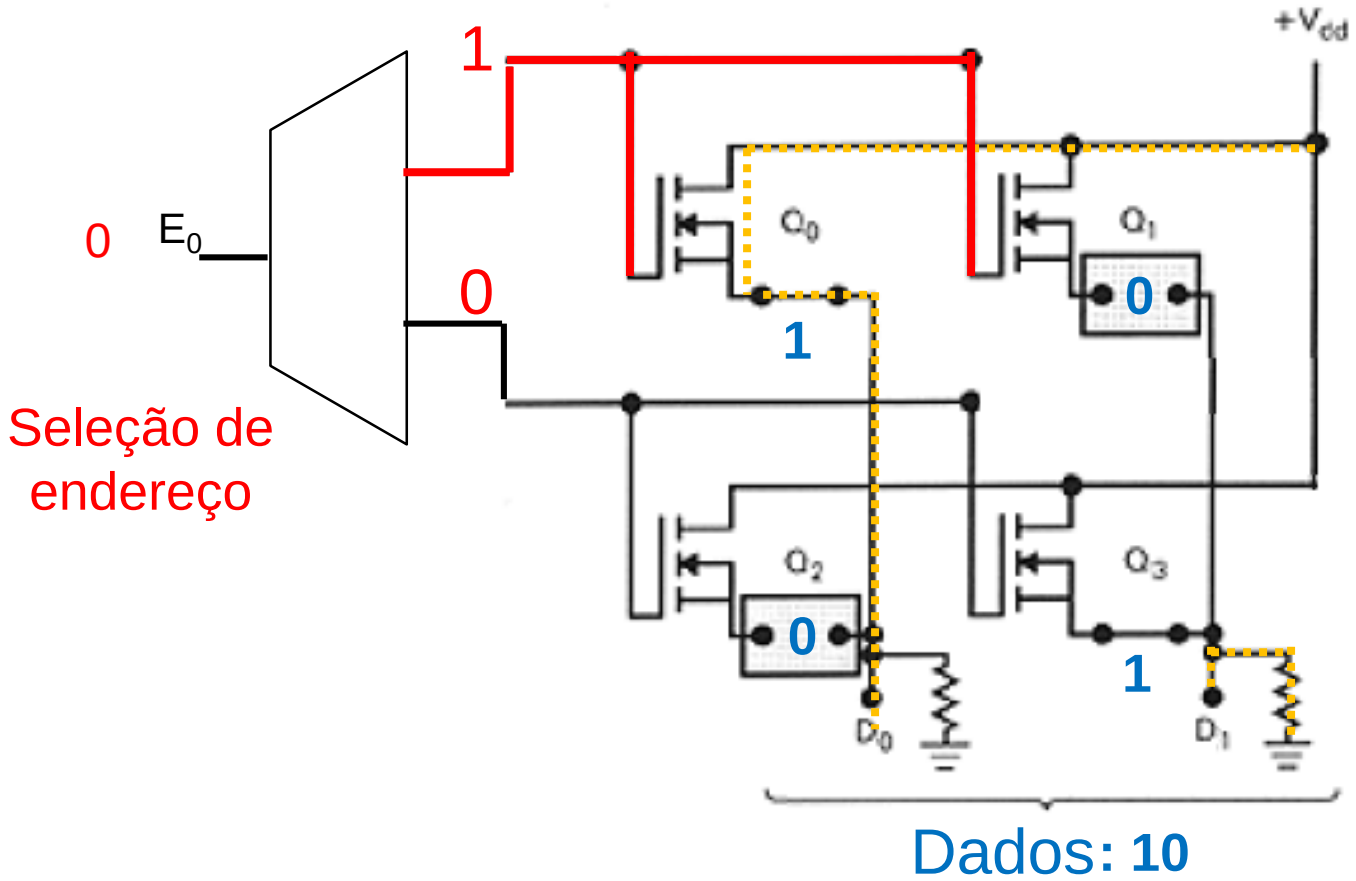
– **Utilização:**

» Armazenamento de tabelas de funções matemáticas, códigos: uso geral.

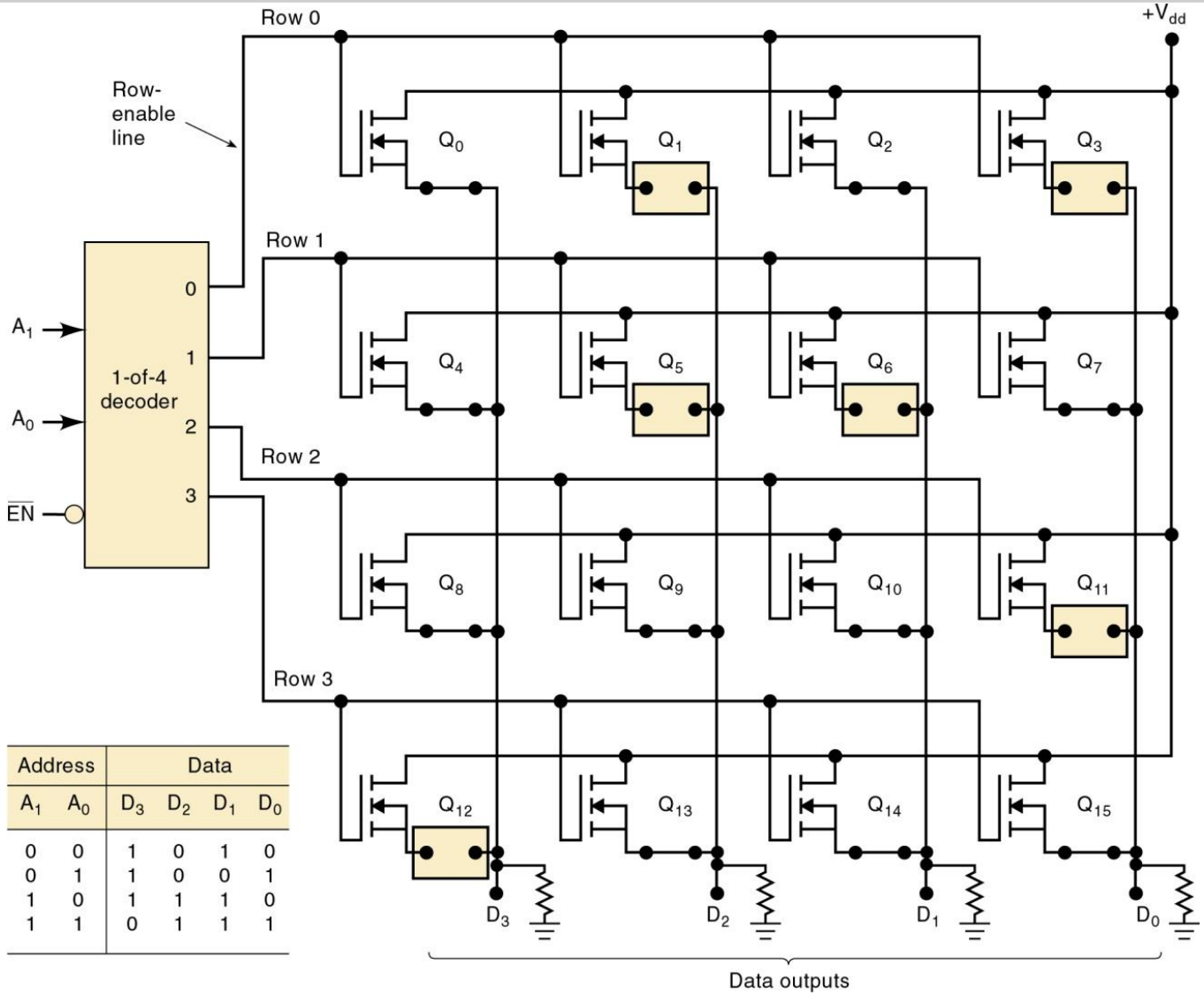
» Programas de dispositivos produzidos em larga escala

Tipos de Memórias a Semicondutor: MROM

- Exemplo: MROM 2x2
  - Transistor: conectado = 1, desconectado = 0



Tipos de Memórias a Semicondutor: MROM



Address		Data			
A_1	A_0	D_3	D_2	D_1	D_0
0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1

Fonte: Digital Systems: Principles and Applications, 11ed. Ronald J. Tocci, Neal S. Widmer, Gregory L. Moss

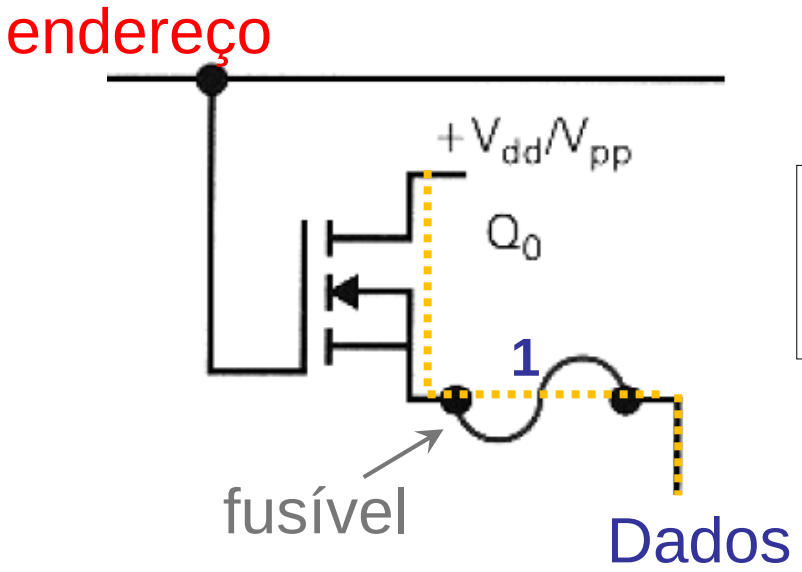
Tipos de Memórias a Semicondutor: PROM

PROMs -Programmable ROM

–Programação feita pelo usuário e fixa (uma só vez).

–Programador (queimador) específico para cada tipo de PROM.

–Tempo de programação: ~ 2min.



Inicialmente: Valor lógico 1 armazenado em todos os bits.

Tipos de Memórias a Semicondutor: PROM

PROMs -Programmable ROM

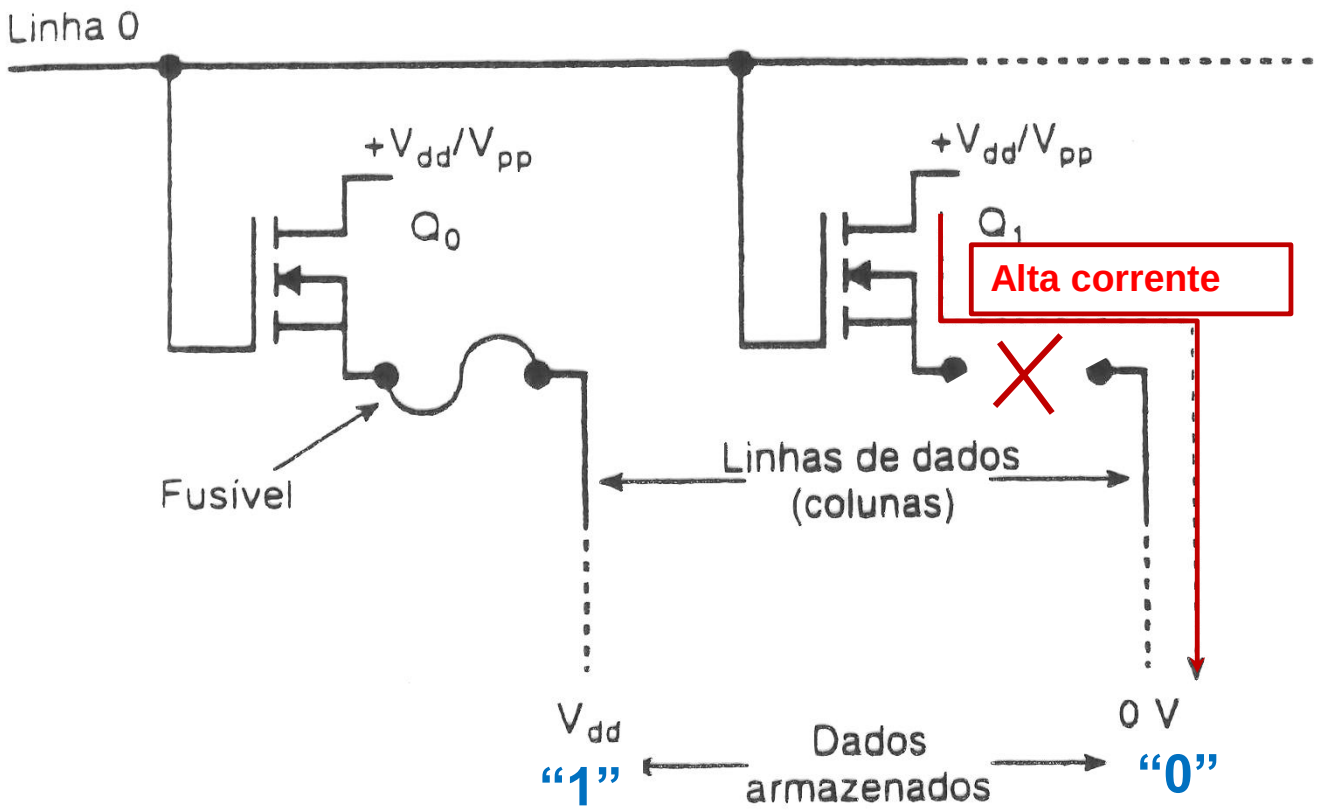
–**Programação**: queimar fusíveis onde deve haver zero

» Aplicação de 10 a 30V em um pino especial na pastilha

» Correntes/Tensões elevadas no nó (valor e tempo de aplicação depende da PROM)

–**Utilização**: produtos de escala menor do que ROM.

Tipos de Memórias a Semicondutor: PROM



As PROMs utilizam fusíveis que podem ser abertos seletivamente pelo usuário para programar o nível lógico 0 na célula.