

---

# Memória Interna

---

---

# Sumário

- Introdução;
- Sistema de Memória de Computadores;
- Hierarquia de Memória;
- Memória Principal de Semicondutores;
- Memória Cache;
- Organizações das Memórias Cache;
- Bibliografia.

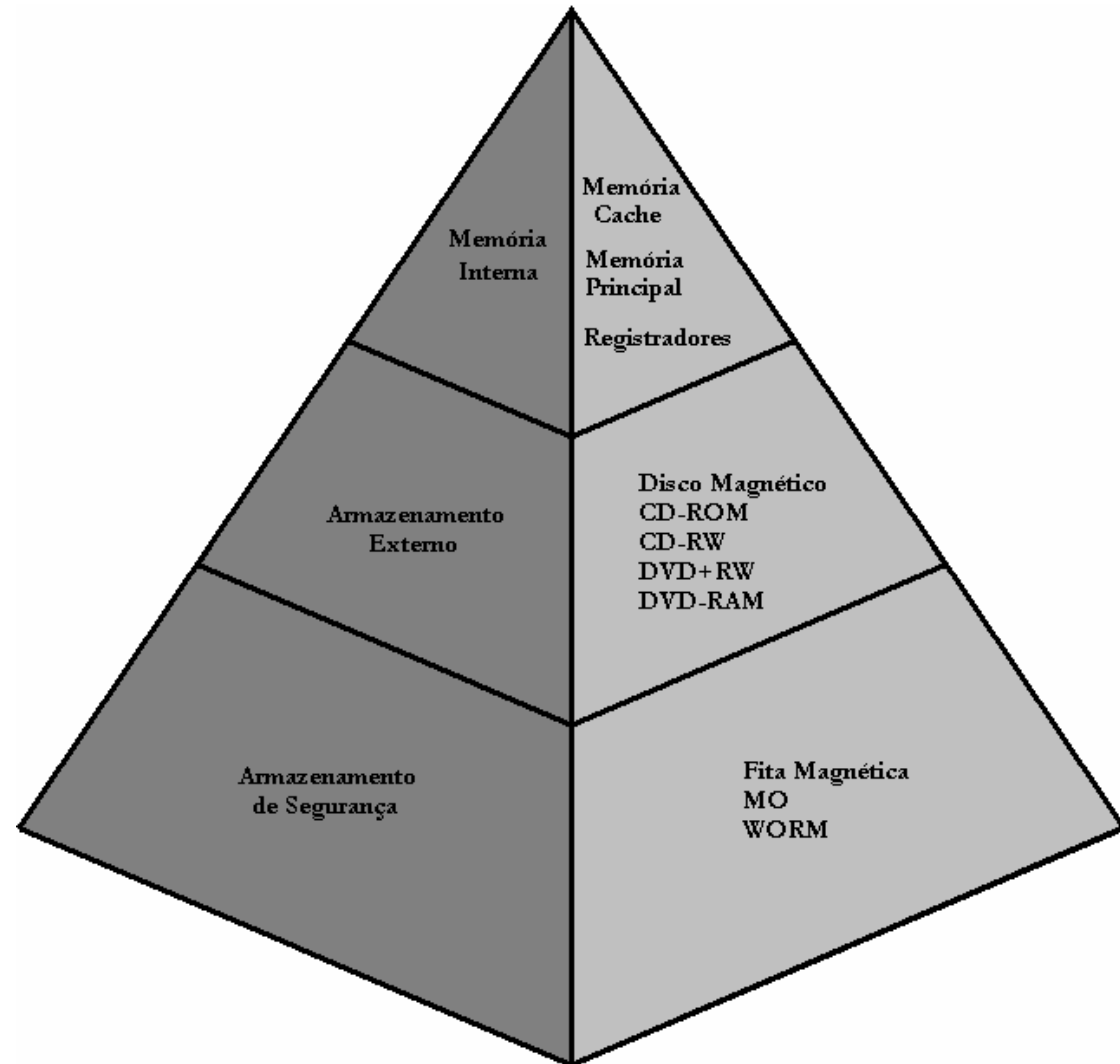
---

# Introdução

- Memória interna é uma forma de armazenamento usada para **mantém dados e instruções a serem processados;**
- Embora o conceito de memória seja aparentemente simples, é talvez aquele componente que apresenta maior variedade de tipos tecnologias, desempenhos e custos;
- A memória de um computador é organizada de forma hierárquica, vejamos os níveis;

# Introdução

- Hierarquia das Memórias:
  - Memória Interna;
  - Armazenamento Externo;
  - Armazenamento de Segurança.



# Sistema de Memória de Computadores

- Antes de analisarmos os níveis de memória vejamos as características mais importante de um sistema de memória:

## Localização

Processador  
Interna (Principal)  
Externa (Secundária)

## Capacidade

Tamanho da palavra  
Número de palavras

## Unidade de Transferência

Palavra  
Bloco

## Método de Acesso

Sequencial  
Direto  
Aleatório  
Associativo

## Desempenho

Tempo de acesso  
Tempo de Ciclo  
Taxa de Transferência

## Tecnologia

De Semicondutores  
Magnética  
Óptica  
Magneto-Óptica

## Características Físicas

Volátil  
Não Volátil  
Apagável  
Não Apagável

## Organização

# Sistema de Memória de Computadores

- Considerações:
  - Localização: indica se a memória é interna ou externa ao computador;
  - Capacidade: expressa em bytes, o tamanho da palavra varia entre 16 e 64 bits;
  - Unidade de Transferência: número de linhas de dados do módulo de memória;
    - Palavra: bits usados para representar dados ou instrução;
    - Unidade endereçável:  $2^{\text{tamanho em bits de um endereço}}$
    - Unidade de transferência: número de bits lidos ou escritos de cada vez;

# Sistema de Memória de Computadores

- Considerações:
  - Método de Acesso: a forma que os dados serão lidos na memória;
    - Acesso Seqüencial
    - Acesso Direto
    - Acesso Aleatório
    - Associativo
  
  - Desempenho:
    - Tempo de acesso: tempo gasto desde a apresentação do endereço até o armazenamento dos dados;
    - Tempo de ciclo de memória: tempo adicional requerido antes que um segundo acesso possa ser iniciado;
    - Taxa de Transferência:  $1/(\text{tempo de ciclo})$  para memórias de acesso aleatório;

---

# Sistema de Memória de Computadores

- Considerações:
  - Tecnologia: o tipo físico mais comum usado atualmente são as memórias de semicondutor (disco rígidos, ópticas, etc);
  - Características Físicas: refere-se ao armazenamento de informações na memória;
    - Volátil: dados perdidos quando a energia é desligada;
    - Não-apagáveis: conteúdos não pode ser alterado a menos que destrua a unidade de armazenamento (*read-only memory* - ROM)
  - Organização: arranjo físico dos bits para formar palavras;



---

# Hierarquia de Memória

- Três questões devem ser analisadas em um projeto de memória, são elas:
  - ❑ Capacidade: será que quanto mais melhor?
  - ❑ Velocidade: compatível com o processador;
  - ❑ Custo: economicamente viável;
- Considerações:
  - ❑ Velocidade maior, custo por bit maior
  - ❑ Capacidade maior, custo por bit menor
  - ❑ Custo maior, tempo de acesso menor

---

# Hierarquia de Memória

- Diante do **dilema** em obter memória de grande capacidade e velocidade e de baixo custo, a solução foi a hierarquia de memória;
- A **medida que descemos** em um hierarquia de memórias, as relação a seguir são válidas:
  - O custo por bit diminui;
  - A capacidade aumenta;
  - O tempo de acesso aumenta;
  - A frequência de acesso à memória aumenta pelo processador diminui.

# Hierarquia de Memória

- A chave para o sucesso dessa organização está na diminuição da frequência de acesso às memórias de níveis inferiores;
- Se pegarmos um processador com acesso a dois níveis de memória com as seguintes características:
  - nível 1 contém mil palavras e o tempo de acesso é de  $0,1 \mu s$ ;
  - nível 2 contém 100 mil palavras e o tempo de acesso é de  $1 \mu s$
  - Qual será o tempo médio para acessar uma palavra que está 95% do tempo no nível 1?
  - Resposta:  $0,15 \mu s$

# Memória Principal

- Desde o aparecimento das memórias baseadas na microeletrônica que o uso de pastilhas de semicondutor se tornou universal. Vejamos os tipos de memória de semicondutor:

Memory Type	Category	Erase	Write Mechanism	Volatility
Random-access memory (RAM)	Read-write memory	Electrically, byte level	Electrically	Volatile
Read-only memory (ROM)	Read-only memory	Not possible	Masks	Nonvolatile
Programmable ROM (PROM)			Electrically	
Erasable PROM (EPROM)	Read-mostly memory	UV light, chip level	Electrically	
Electrically Erasable PROM (EEPROM)		Electrically, byte level		
Flash memory		Electrically, block level		

---

# Memória Principal de Semicondutor

- O principal tipo de memória é o de acesso aleatório (**random-access memory- RAM**);
- As memórias RAM tem as seguintes características:
  - Possibilita que novos dados sejam lidos e escritos rapidamente e de modo fácil;
  - É volátil;
  - Estática: formada de capacitores; refresh constante;
  - Dinâmica: composta por flip-flops; menos densa que a estática;

# Memória Principal de Semicondutor

- Outro tipo de memória é a de apenas leitura (**read-only memory - ROM**);
- A principal vantagem das memórias ROM é que os dados ficam permanentemente armazenados dentro delas;
- Problemas:
  - Custo relativamente alto para gravar os dados no CI;
  - Não podem ocorrer erros na gravação;

---

# Memória Principal de Semicondutor

- No caso de usar um pequeno número de memórias ROM com um dado conteúdo de memória, a alternativa mais barata é a **ROM programável**;
- **Características:**
  - Não-volátil;
  - Gravação pode ser feita pelo cliente;
  - Mais vantajoso no caso de produção em larga escala;

# Memória Principal de Semicondutor

- Outra variação da memória apenas de leitura é a memória principalmente de leitura;
- Há três formas comuns de memória principalmente de leitura:
  - EPROM
  - EEPROM
  - Memória Flash
- Bastante útil em aplicações em que é necessário armazenamento não-volátil e quando as operações de leitura são mais frequentes que escrita;



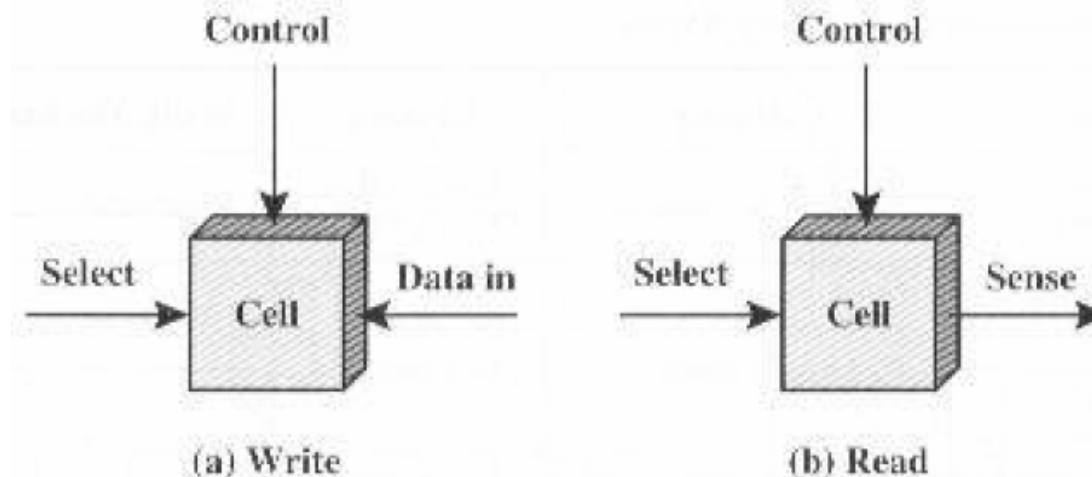
---

# Memória Principal de Semicondutor

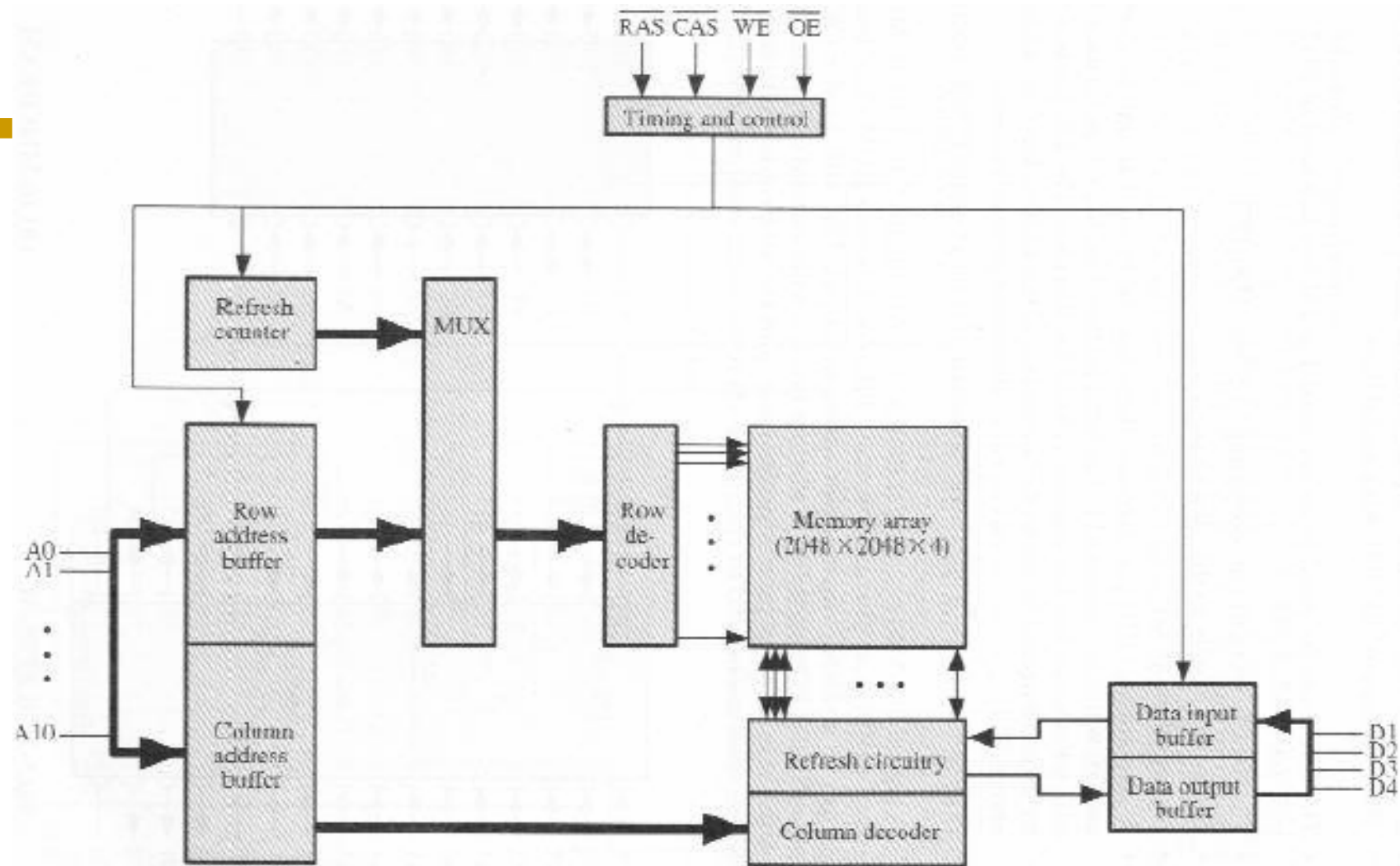
- Considerações:
  - EPROM: pode ser apagada por um processo óptico; qualquer operação de escrita todas as células de memória são apagadas;
  - EEPROM: os dados podem ser gravados sem necessidade de apagar todo seu conteúdo anterior;
  - Memória Flash: Introduzida em meados dos anos 80, esse tipo de memória apaga e ler dados rapidamente;

# Memória Principal de Semicondutor

- O elemento básico de uma memória de semicondutor é a célula de memória;
- A célula geralmente possui três terminais funcionais capazes de carregar um sinal elétrico, vejamos:



# Memória Principal de Semicondutor



# Memória Principal de Semicondutor

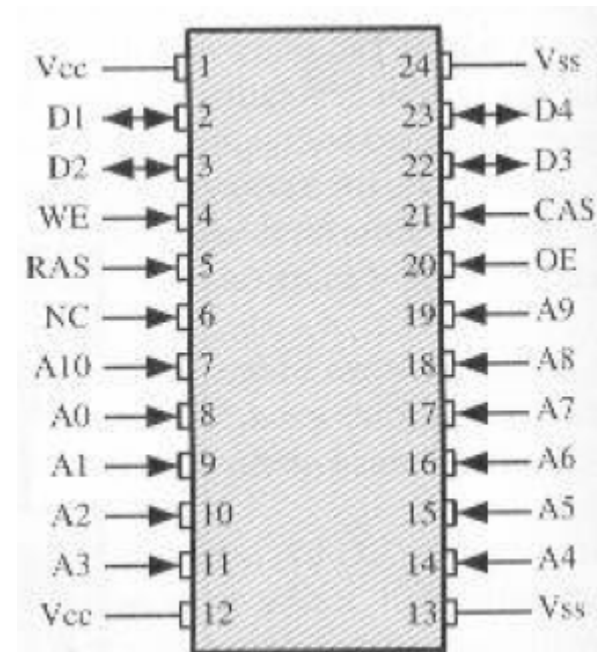
- Considerações:
  - 4 bits são usados em cada operação de leitura e escrita;
  - Memória logicamente organizada em quatro matrizes de 2.048 por 2.048 elementos;
  - 11 bits de endereçamento;
  - Multiplexador usado para combinar 11 bits (linha - RAS) e 11 bits (coluna - CAS) da matriz de elementos;
  - Em uma operação de leitura, o valor de cada um dos 4 bits é passado por um amplificador de estado e é exibido na linha de dados correspondente;

# Memória Principal de Semicondutor

- As pastilhas são empacotadas dentro de uma cápsula como mostrado na figura abaixo:

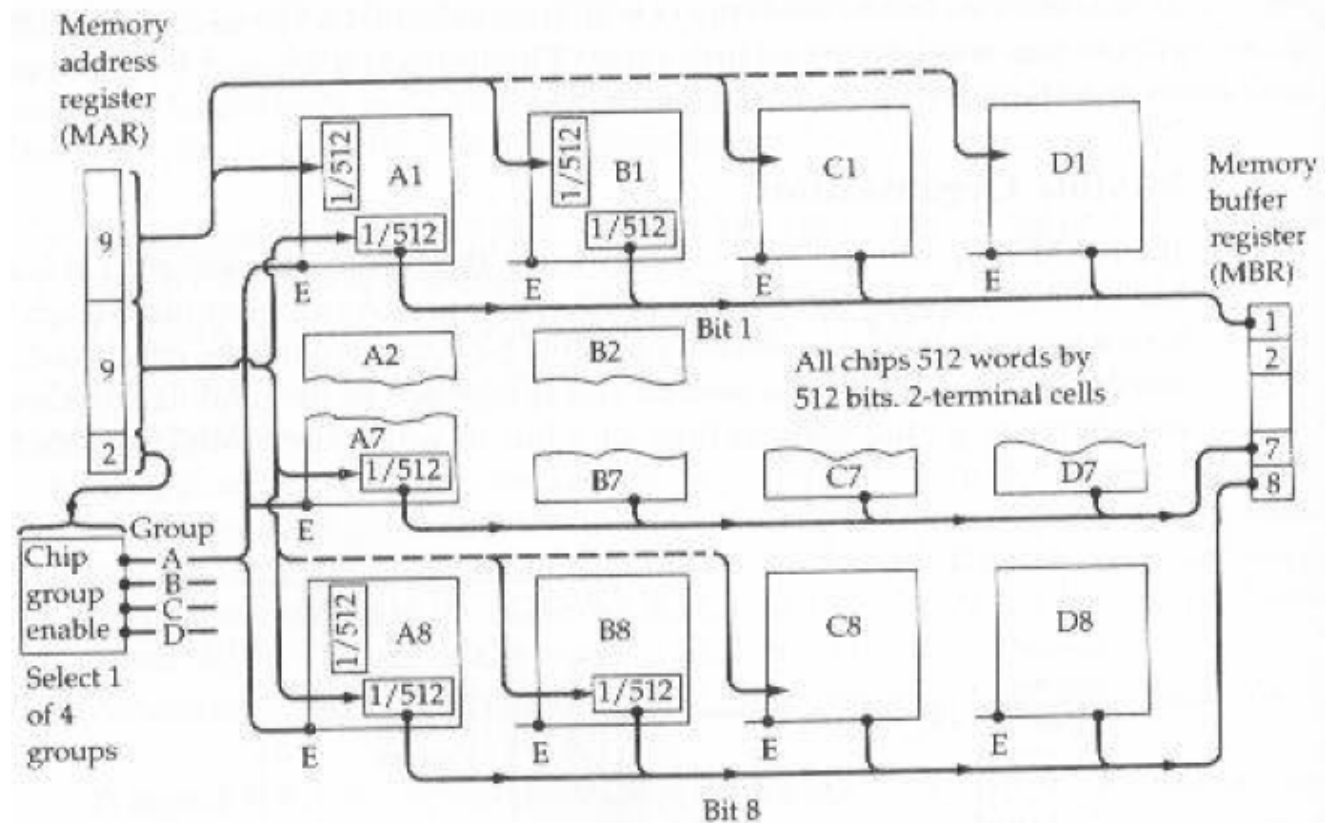
Significado de alguns pinos:

- WE - Write enable: habilitação de saída
- OE - Output enable: indicar operação de escrita e leitura;
- CAS - Column address select:
- RAS - Row address select



# Memória Principal de Semicondutor

- Vejamos agora a organização de uma memória de 1Mbytes em função das pastilhas e do tamanho da palavra:

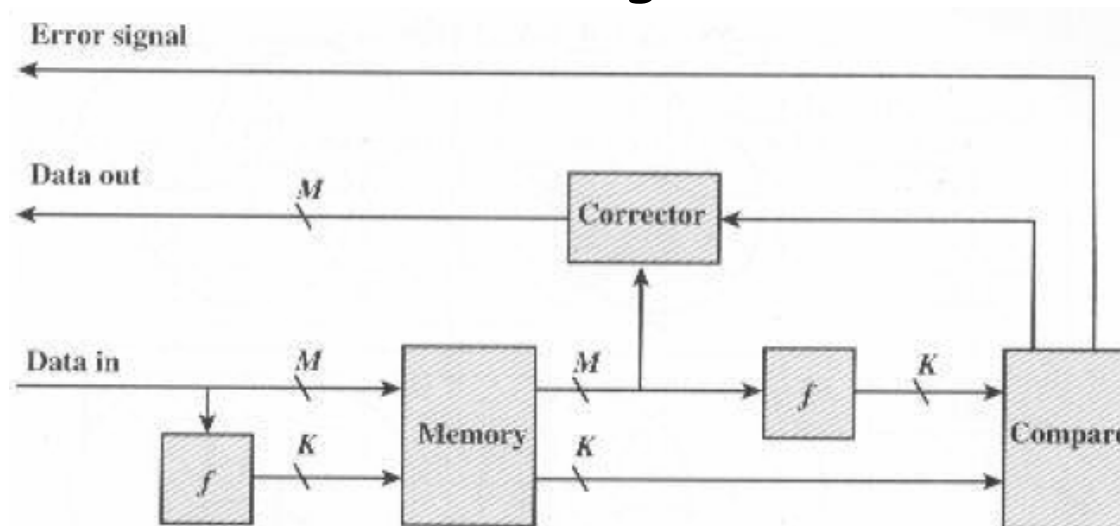


# Memória Principal de Semicondutor

- Considerações:
  - Quatro colunas de pastilhas, cada qual com 256K palavras;
  - Para 1Mbytes de palavras, são necessárias 20 linhas de endereço;
- Os 18 bits menos significativos são enviados a cada um dos 32 módulos;
- Os 2 bits mais significativos são introduzidos em um módulo de seleção de grupo, que envia um sinal de habilitação de pastilha para uma das quatro colunas de módulos;

# Memória Principal de Semicondutor

- Como todo sistemas está sujeito a erros, devemos estudar os mecanismos de correção de erros;
- A figura abaixo demonstra o processo de detecção e correção de erros em linhas gerais:





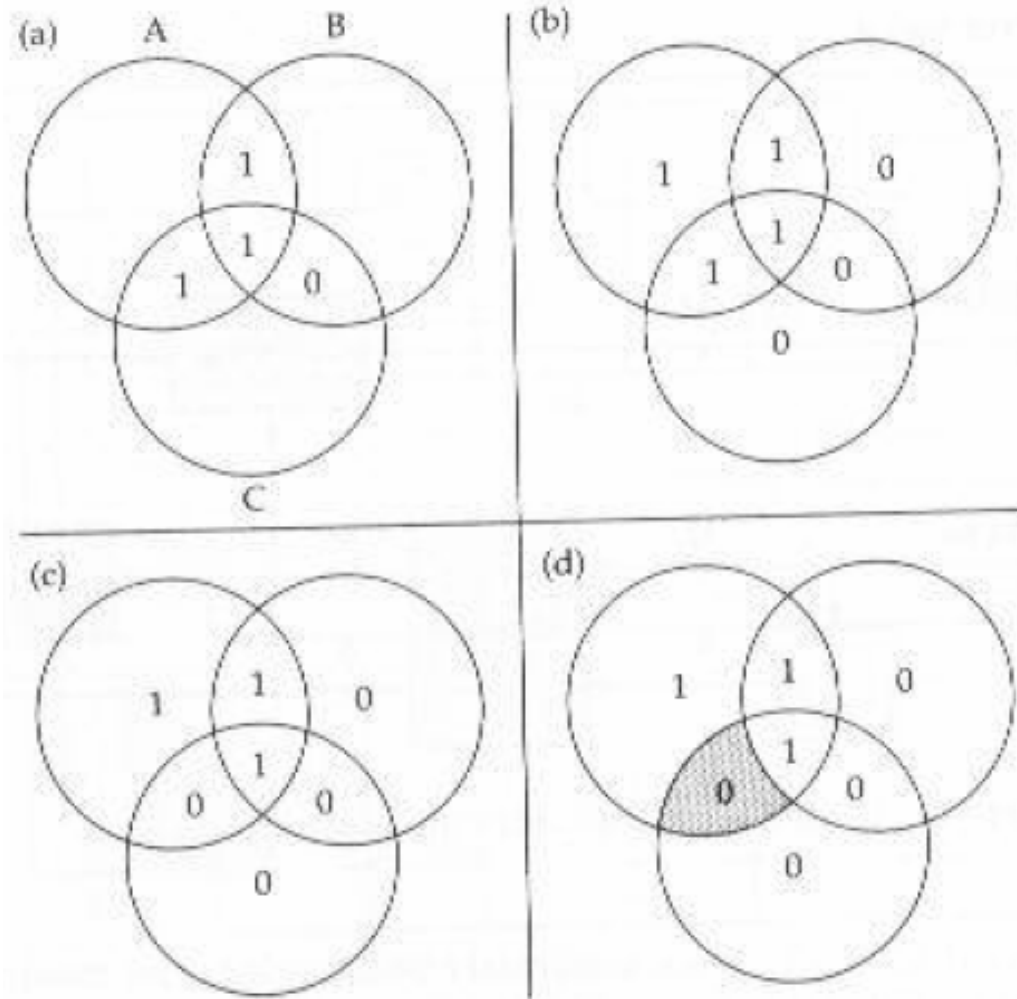
# Memória Principal de Semicondutor

## ■ Considerações:

- Quando um dado é armazenado na memória, é feito um cálculo envolvendo esse dado (função  $f$ ) para produção de um código;
- O código é armazenado juntamente com os dados;
- O tamanho final da palavra armazenada são os bits iniciais e o código para identificação de erros;
- Quando a palavra é lida, o código é utilizado para detectar e, possivelmente, corrigir erros;

# Memória Principal de Semicondutor

- O código de correção de erros mais simples é o código de Hamming. Vejamos a aplicação do algoritmo em palavras de 4 bits:



# Memória Principal de Semicondutor

- Considerações:
  - Cada bit de paridade é escolhido de modo que o número total de 1s em seu círculo seja par;
  - A palavra síndrome são os bits de paridade gerados a cada comparação;
- Quantos bits são necessários na palavra síndrome para possibilitar a detecção de erros?

$$2^K - 1 \geq M + K$$

Onde K é o total de bits; M são os bits de dados e K os bits de teste

# Memória Principal de Semicondutor

- Aumento no tamanho de uma palavra com a correção de erros:

Data Bits	Single-Error Correction		Single-Error Correction/ Double-Error Detection	
	Check Bits	% Increase	Check Bits	% Increase
8	4	50	5	62.5
16	5	31.25	6	37.5
32	6	18.75	7	21.875
64	7	10.94	8	12.5
128	8	6.25	9	7.03
256	9	3.52	10	3.91

# Memória Principal de Semicondutor

- O código de Hamming é bem aplicado em palavras cujo os dados superam 8 bits. Nesses casos o ideal para a palavra síndrome é que:
  - Se todos os bits da palavras síndrome têm valor 0s, não ocorreu nenhum erro;
  - Se a palavra síndrome contém apenas um bit com valor 1, ocorreu erro em um dos bits de teste;
  - Se a palavra síndrome contém mais de um bit com valor 1, o valor numérico da palavra síndrome indica a posição do bit em que ocorreu erro;

# Memória Principal de Semicondutor

- Para satisfazer essas características, os bits de dados e de teste são organizados em uma palavra de 12 bits;
  - As posições de bits cujo número é uma potência de 2 são reservadas como bits de teste, vejamos:

Posição	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Número	1100	1011	1010	1001	1000	0111	0110	0101	0100	0011	0010	0001
Bit de dados	D8	D7	D6	D5		D4	D3	D2		D1		
Bit de Check					C8				C4		C2	C1

# Memória Principal de Semicondutor

- Dessa forma, o bit de correção é calculado efetuando a operação  $\oplus$  (ou-exclusivo) sobre os bits de dados que contém o bit de correção, vejamos

$$C1 = D1 \oplus D2 \oplus D4 \oplus D5 \oplus D7$$

$$C2 = D1 \oplus D3 \oplus D4 \oplus D6 \oplus D7$$

$$C4 = D2 \oplus D3 \oplus D4 \oplus D8$$

$$C8 = D5 \oplus D6 \oplus D7 \oplus D8$$

- Analisemos a situação em que uma palavra de 8 bits dada como entrada é 00111001, com bit de dados M1 na posição mais à direita;

# Memória Principal de Semicondutor

- Vejamos os cálculos:

$$C1 = 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$C2 = 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$C3 = 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$C4 = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

- Supondo que o terceiro bit de dados (M3) foi alterado de 0 para 1. Os bits serão recalculados na leitura e a palavra síndrome indicará onde ocorreu o erro;



# Memória Principal de Semicondutor

- O código descrito anteriormente é conhecido como um código de correção de erro único (single-error-correction - SEC);
- Usualmente, uma memória de semicondutor é equipada com um código de detecção de erro duplo e correção de erro único (single-error-correcting, double-error-detecting - SEC-DEC):
  - Acréscimo de um bit de paridade, que calcula o número total de 1s;

---

# Bibliografia

- Stallings, W. *Arquitetura e Organização de Computadores*, Pearson Hall, 5 ed. SP: 2002.