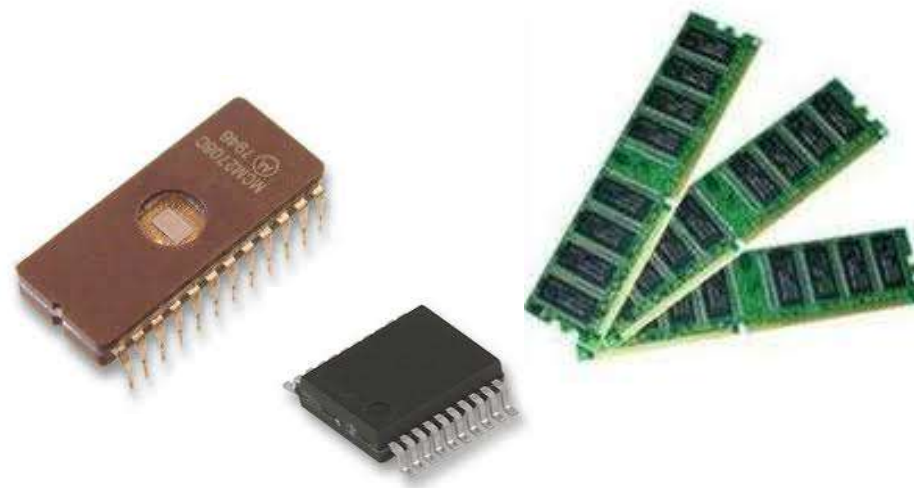
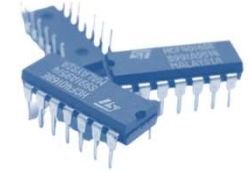




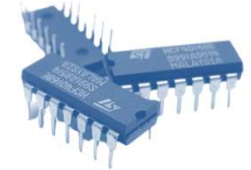
TÉCNICO LISBOA

Sistemas Digitais

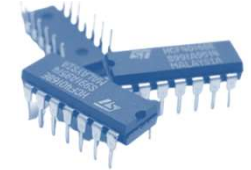


Memórias

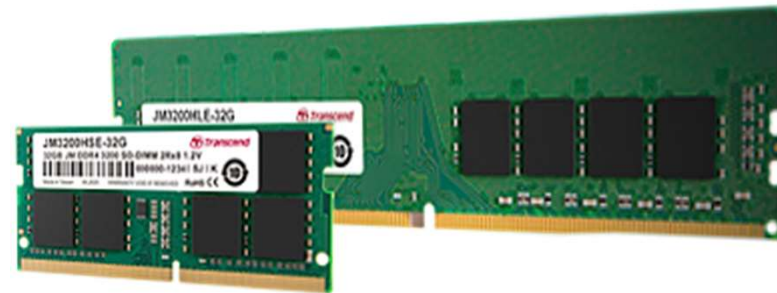
Sumário



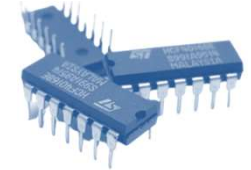
- **Circuitos e Tecnologias de Memória:**
 - Tipos de memória
 - Memórias RAM (estática e dinâmica)
 - Memórias ROM
 - Circuitos e interfaces de acesso
- **Planos de memória:**
 - Agregados de memória
 - Descodificação de endereços
- **Mapas de memória:**
 - Descodificação dos endereços
- **Hierarquia de Memória:**
 - Latência e tempos de acesso



Circuitos e Tecnologias de Memória



- Tipos de memória
 - Memórias RAM (estática e dinâmica)
 - Memórias ROM
- Circuitos e interfaces de acesso



- **Memórias**

- Frequentemente, é necessário armazenar um conjunto muito grande de palavras em simultâneo

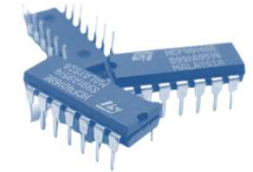
- Soluções:

- Banco de Registos → limitado a poucas dezenas de palavras...
- Circuitos de memória:
 - RAM
 - ROM

- **Outros tipos de memória:**

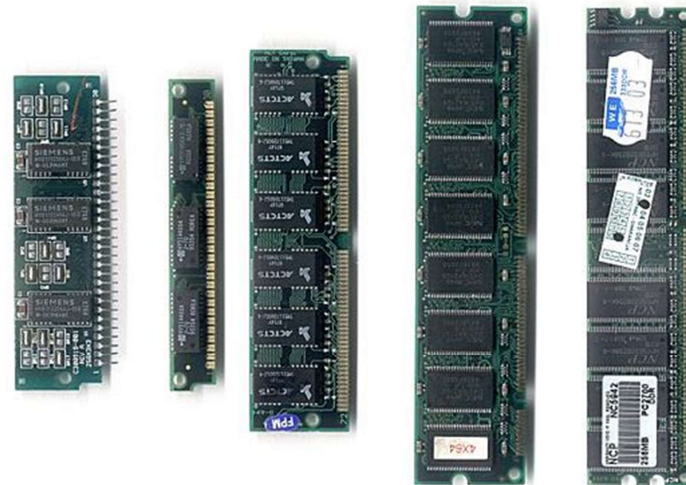
- Discos magnéticos, SSD, Flash, CD, DVD, Blu-Ray, etc..
- Normalmente ligados a outros dispositivos (ex: PCs)

Tipos de Memória

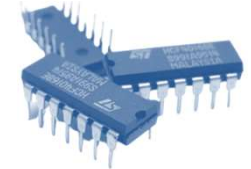


- Tipos de memórias

- **RAM** (*Random Access Memory*) – é possível ler e escrever dados, na sequência normal de funcionamento de um dado sistema digital.



Tipos de Memória

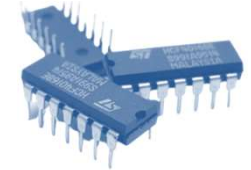


- **Tipos de memórias**

- O nome **RAM** vem de “*Random Access Memory*”: o tempo de acesso à informação na RAM é sempre igual, independentemente da posição (endereço) “aleatória” que se pretende.
- **Nota Histórica:** Antes do aparecimento deste tipo de dispositivos, existiam apenas memórias com acesso série (ex: fitas magnéticas ou outras semelhantes a registos de deslocamento), em que o tempo de acesso à informação dependia da distância a que ela estava do início da fita ou da saída série do circuito de deslocamento.



Tipos de Memória



- Tipos de memórias

- **ROM** (*Read-Only Memory*) – podem ser programadas uma ou relativamente poucas vezes e, no funcionamento normal do sistema, são apenas lidas.

Exemplos:

- ROM
- PROM
- EPROM
- EEPROM

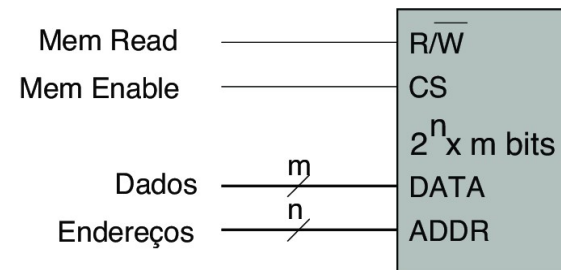
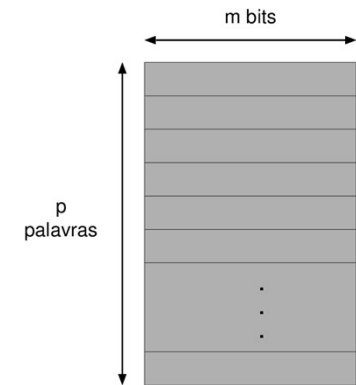


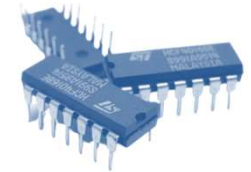
Circuito de Memória



- **Circuito de Memória**

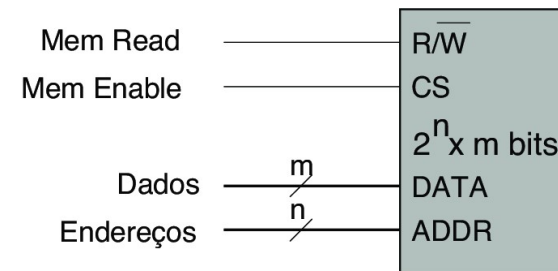
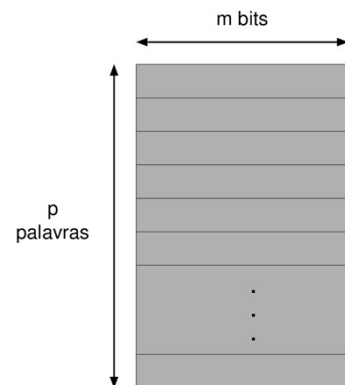
- Circuito capaz de armazenar um conjunto p de palavras, cada uma com m bits, acedidas através do **barramento de dados**;
- A palavra pretendida é indicada por um endereço, colocado no **barramento de endereços**;
- Habitualmente, p e m são potências inteiras de 2 ($p=2^n$).



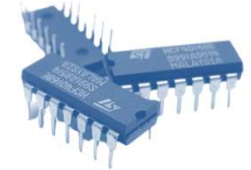


• Circuito de Memória

- A indicação das operações de leitura ou escrita é dada:
 - Por duas linhas independentes (ex: **READ** e **WRITE**)
 - ou
 - Por uma única linha (ex: **READ/WRITE** ou **R/W**)

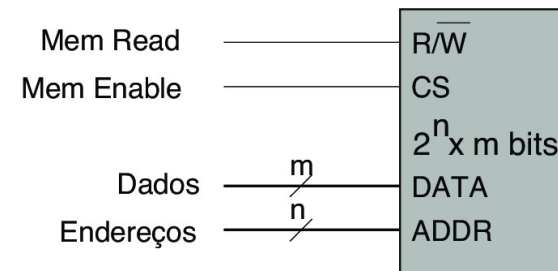
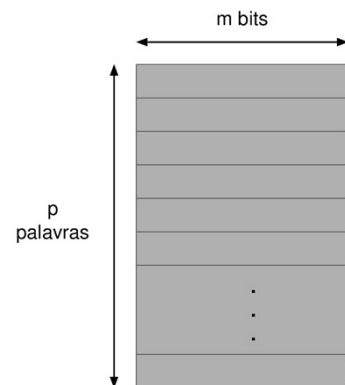


Circuito de Memória

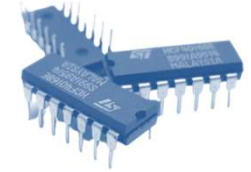


- **Circuito de Memória**

- A activação ou desactivação do dispositivo de memória é feita através do sinal **CS** (Chip Select), **CE** (Chip Enable), ou de um sinal **Mem Enable**.
- Quando inactivo, este sinal coloca o **barramento de dados** em alta impedância.

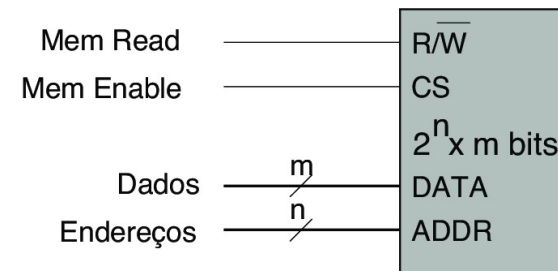
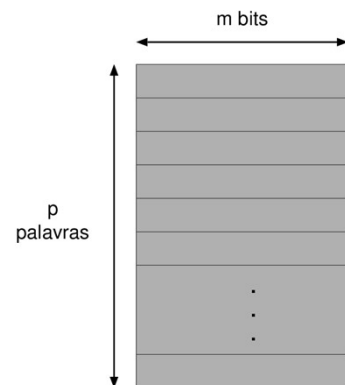


Circuito de Memória

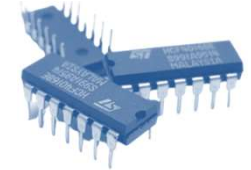


• Circuito de Memória

- Em geral, nas memórias **RAM** o **barramento de dados** é bidireccional, i.e., é utilizado para escrever (input) e ler (output) informação;
- Nas memórias **ROM** o **barramento de dados** é unidireccional, i.e., é utilizado apenas para ler (output) informação.

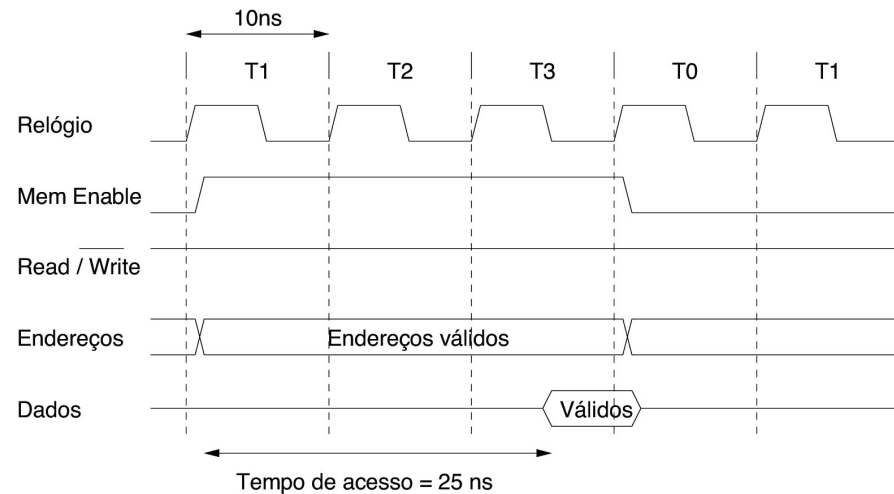


Ciclo de Leitura

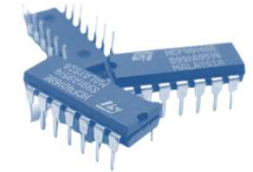


- Acesso à memória: Leitura

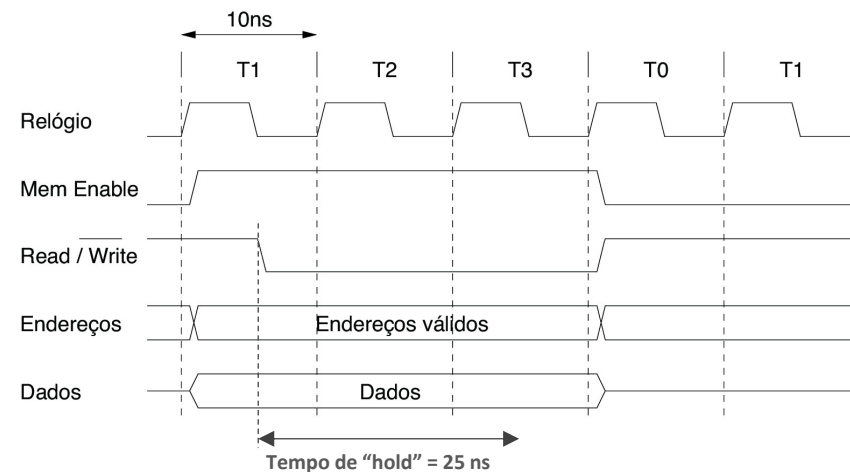
- A indicação da posição que se pretende ler é colocada no **barramento de endereços**;
- O dispositivo de memória é activado, através da entrada **Mem_Enable** (ou **CS** ou **CE**);
- O sinal **R/W** é colocado a 1, para indicar uma operação de leitura;
- Algum tempo depois (tempo de acesso), a memória apresenta os dados pretendidos, no **barramento de dados**.



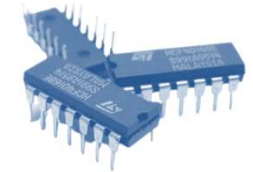
Ciclo de Escrita



- **Acesso à memória: Escrita**
 - Coloca-se a posição que se pretende escrever no **barramento de endereços**;
 - Coloca-se no **barramento de dados** o valor que se pretende escrever nessa posição;
 - O dispositivo de memória é activado, através da entrada **Mem Enable** (ou **CS** ou **CE**);
 - O sinal **R/W** é colocado a 0, para indicar uma operação de escrita;
 - Estes sinais devem manter-se estáveis, durante o tempo necessário à operação



Tipos de Memória



- Tipos de memórias

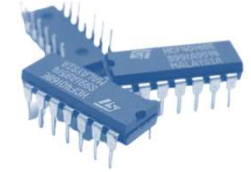
- **RAM** (*Random Access Memory*) – é possível ler e escrever dados, na sequência normal de funcionamento de um dado sistema digital.

Exemplos:

- **Estáticas (SRAM)**
- **Dinâmicas (DRAM)**

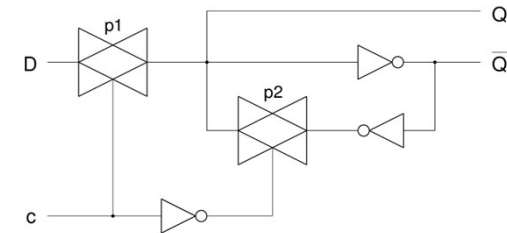
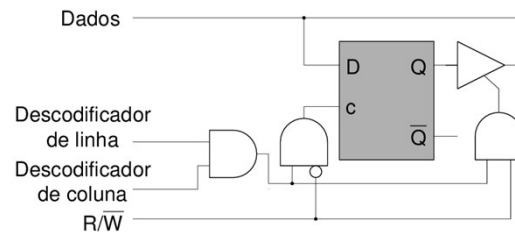


Tipos de Memória

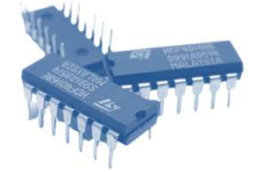


- Memórias RAM Estáticas

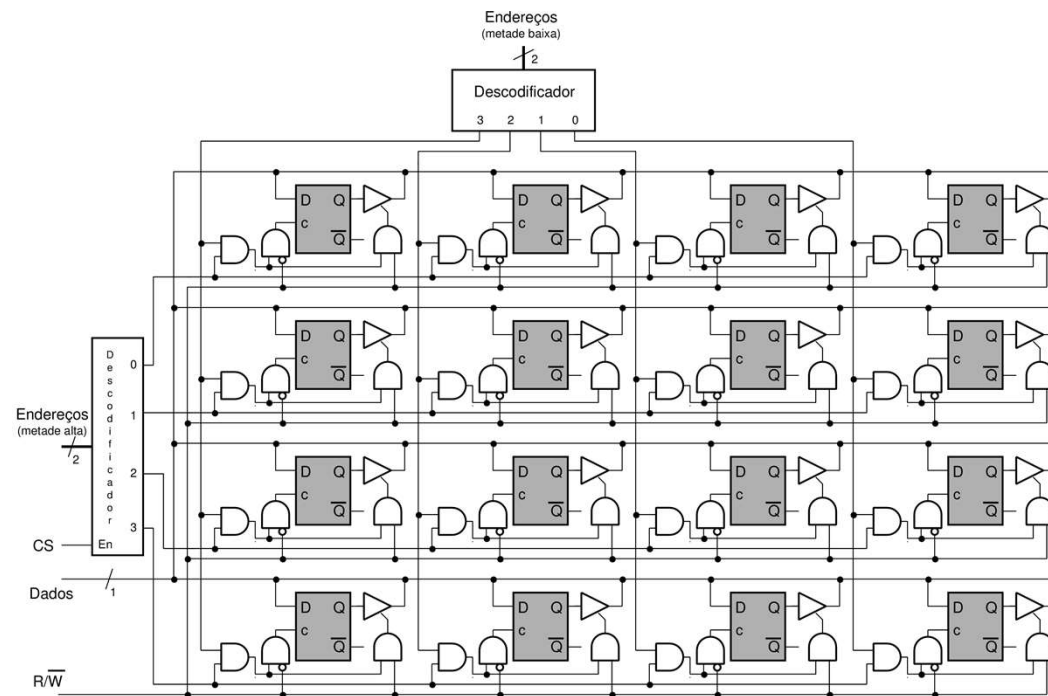
- Os bits são armazenados em dispositivos do tipo **latch** (ainda que estruturalmente muito simplificados), que podem manter indefinidamente o seu conteúdo (enquanto estiverem alimentadas eletricamente).



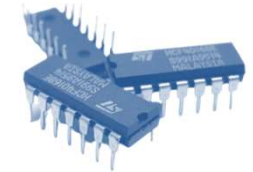
Tipos de Memória



- Memórias RAM Estáticas

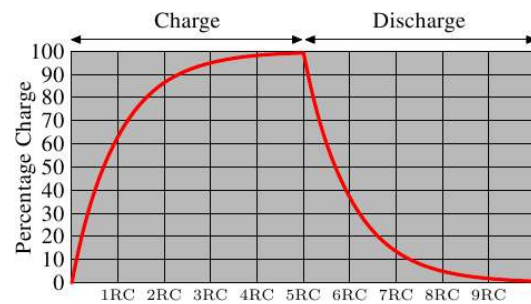
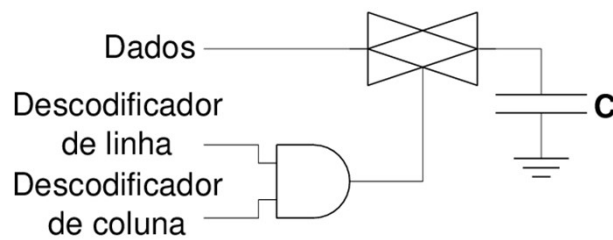


Tipos de Memória

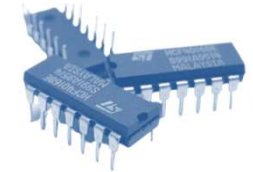


- Memórias RAM Dinâmicas

- Os bits são representados pela carga de um pequeno condensador

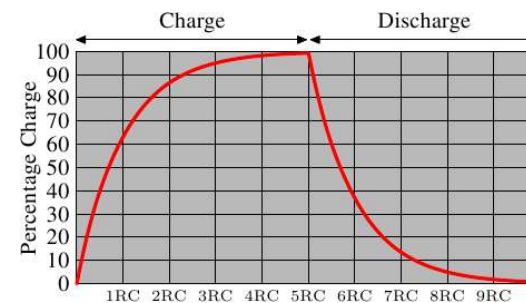
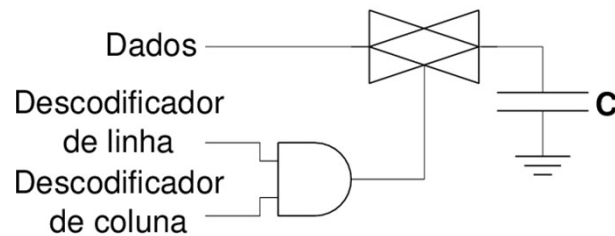


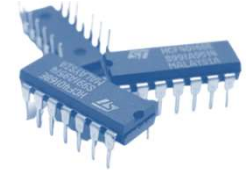
Tipos de Memória



- **Memórias RAM Dinâmicas**

- Como todos os condensadores, estes têm fugas, pelo que apenas mantêm a carga durante um tempo muito limitado.
- Para evitar perder a informação, é necessário manter um processo permanentemente de refrescamento (através de re-escrita) de todas as células da memória, para que os condensadores nunca percam totalmente a sua carga.





- Memórias RAM: Dinâmicas vs. Estáticas

- Requisitos de hardware muito diferentes:

- Estática: 20 transístores/bit
 - Dinâmica: 5 transístores/bit

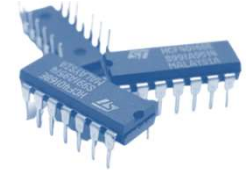
- É possível fabricar **memórias dinâmicas** de maior capacidade e com um custo mais reduzido do que memórias estáticas

- Problemas:

- Os condensadores têm **perdas**: carga armazenada vai-se perdendo!



- A memória tem de ser refrescada periodicamente: percorre todas as posições de memória e re-escreve o valor lá guardado, com periodicidade $\approx 100\text{ms}$



- Memórias RAM: Dinâmicas vs. Estáticas

- Requisitos de hardware muito diferentes:

- Estática: 20 transístores/bit
 - Dinâmica: 5 transístores/bit

- É possível fabricar **memórias dinâmicas** de maior capacidade e com um custo mais reduzido do que memórias estáticas

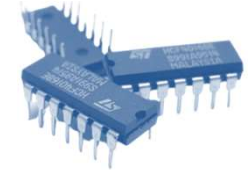
- Problemas:

- A operação de leitura é **destrutiva**: parte da carga elétrica do condensador é perdida pela porta de passagem



- Após cada operação de leitura, é automaticamente desencadeada uma operação de escrita, de modo a repor o valor lógico nessa posição de memória

Tipos de Memória



- Memórias RAM: Dinâmicas vs. Estáticas

- Requisitos de hardware muito diferentes:

- Estática: 20 transístores/bit
- Dinâmica: 5 transístores/bit

- É possível fabricar **memórias dinâmicas** de maior capacidade e com um custo mais reduzido do que memórias estáticas

- Problemas:

- **Menor desempenho**: cerca de 10 vezes mais lentas do que as memórias estáticas

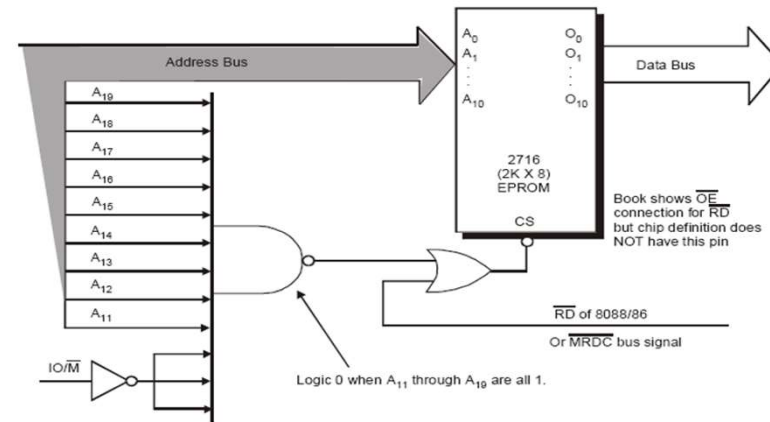
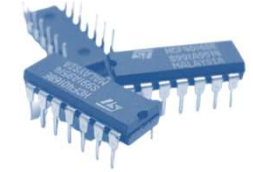
Mas...

- Muito mais **baratas** do que as memórias estáticas



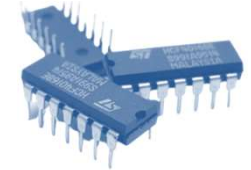
- Usadas como memória primária na maioria dos computadores

Planos de memória

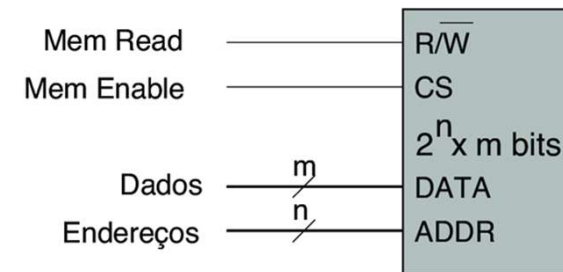


- Agregados de memória
- Descodificação de endereços

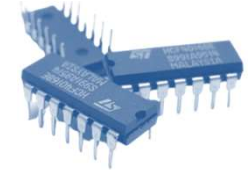
Planos de Memória



- Planos de Memória
 - Considerando a existência de um dado circuito de memória, constituído por 2^n palavras, em que cada palavra tem m bits...
- Como construir uma memória caracterizada por:
 - Mais bits por palavra?
 - Mais palavras do que as endereçáveis no circuito original?
 - Ambos os casos?



Planos de Memória

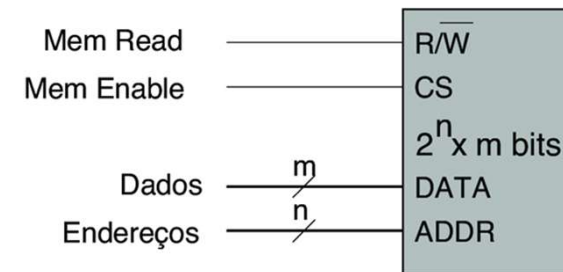


- Planos de Memória

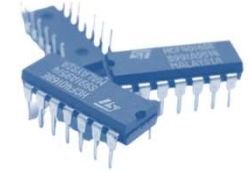
- Considerando a existência de um dado circuito de memória, constituído por 2^n palavras, em que cada palavra tem m bits...

Exemplo 1:

- Como construir uma memória com o dobro da largura de palavra guardada, isto é, uma memória com $2^n \times 2m$ bits ?



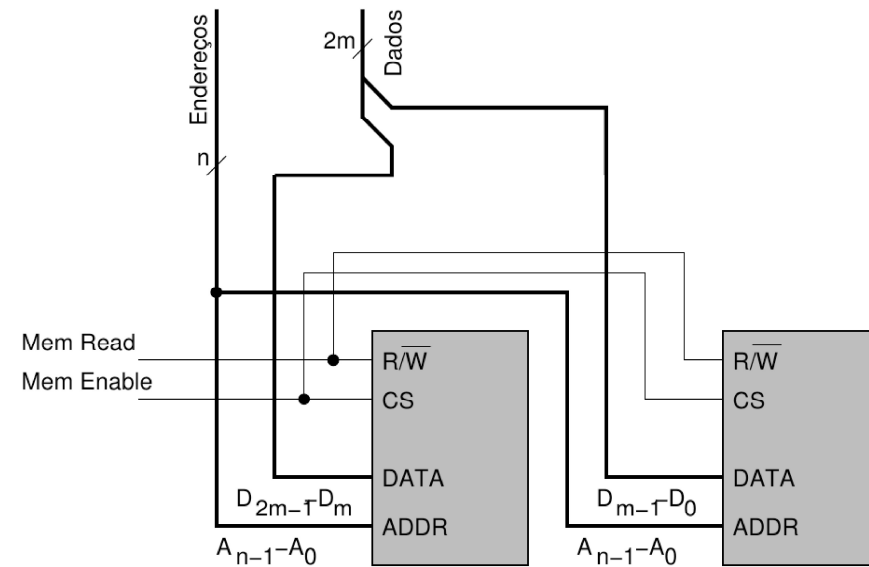
Planos de Memória



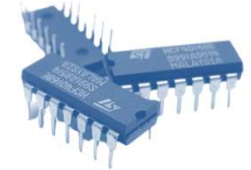
- Planos de Memória com o Dobro da Largura

Exemplo 1:

- memória com $2^n \times 2m$ bits



Planos de Memória

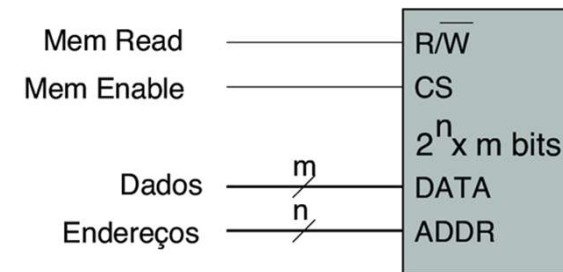


- Planos de Memória

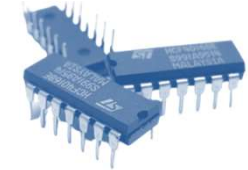
- Considerando a existência de um dado circuito de memória, constituído por 2^n palavras, em que cada palavra tem m bits...

Exemplo 2:

- Como construir uma memória com o dobro do espaço de endereçamento, isto é, uma memória com $2^{n+1} \times m$ bits ?



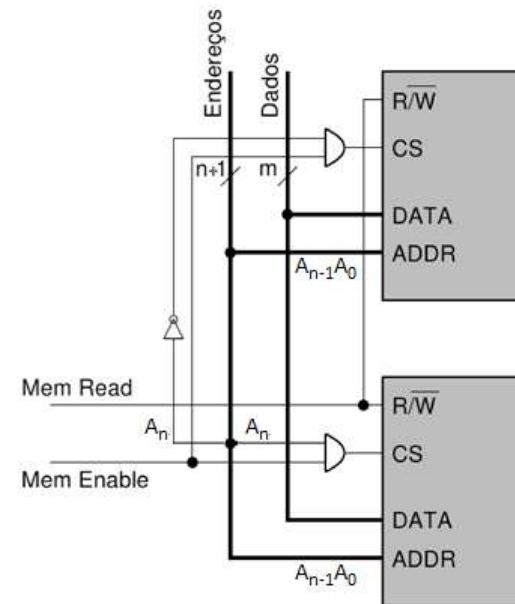
Planos de Memória

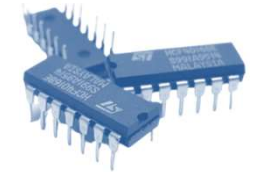


- Planos de Memória com o Dobro dos Endereços

Exemplo 2:

- memória com $2^{n+1} \times m$ bits





- Planos de Memória

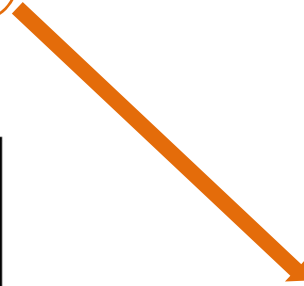
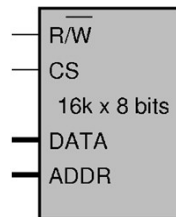
Exemplo 3:

- Projetar um plano de memória de **64k** palavras de 16 bits cada, utilizando circuitos de memória de **16k** octetos.

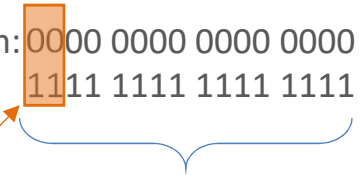


64k endereços = 64 x 1k endereços
 = $2^6 \times 2^{10}$ endereços
 = 2^{16} endereços => **16 bits** de endereço

- Circuito base:



Endereços começam em: 0000 0000 0000 0000
 Terminam em: 1111 1111 1111 1111



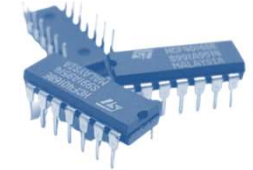
16 bits de endereço

16k endereços = $\frac{1}{4}$ de 64k endereços

Os 2-bits mais significativos {00,01,10,11} identificam cada uma das 4 zonas de 16k endereços dentro do espaço de 64k endereços

- Pretende-se **64k x 16** bits

Planos de Memória

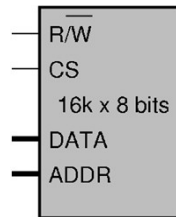


- Planos de Memória

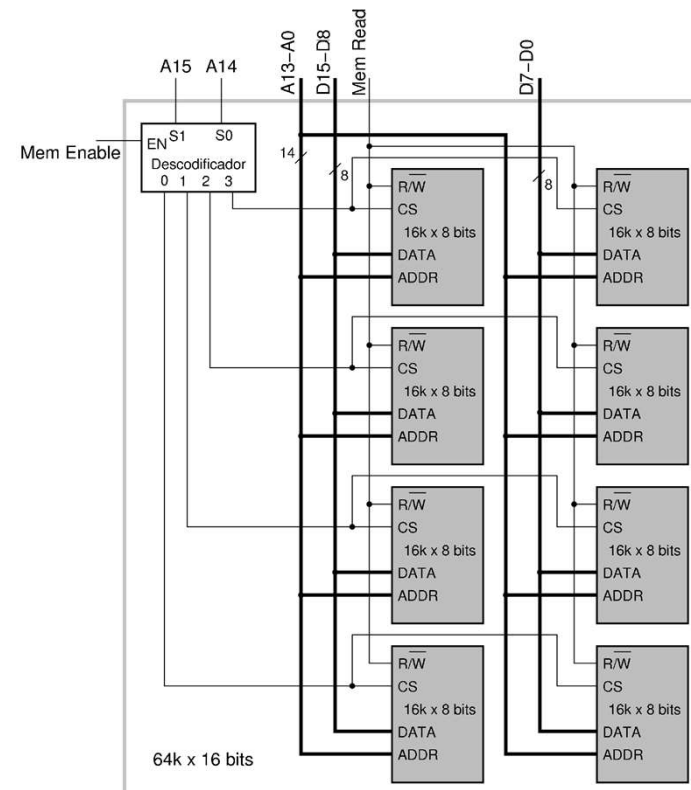
Exemplo 3:

- Projetar um plano de memória de 64k palavras de 16 bits cada, utilizando circuitos de memória de 16k octetos.

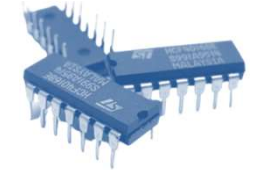
- Circuito base:



- Pretende-se **64k x 16** bits

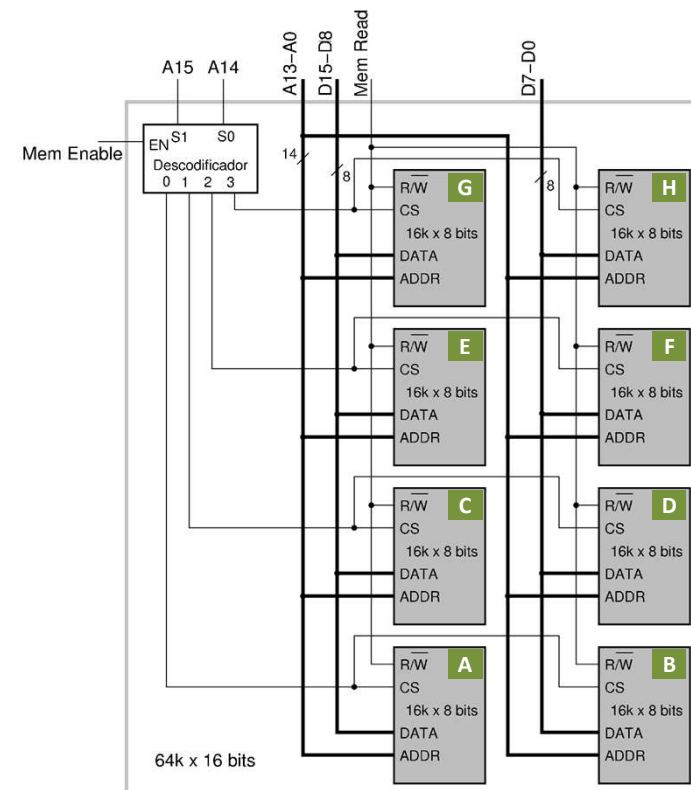


Planos de Memória

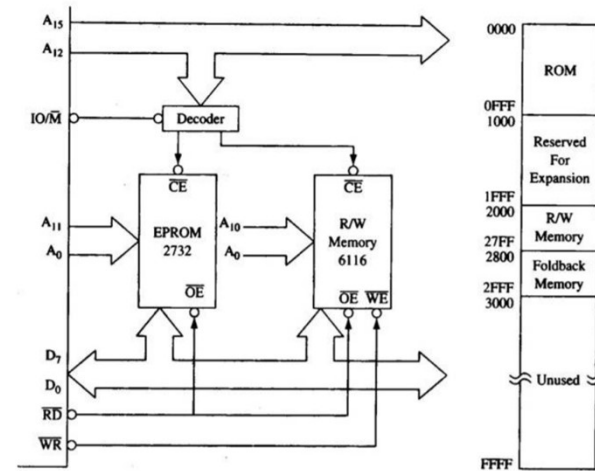
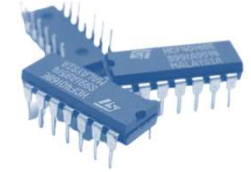


- Planos de Memória
 - Pretende-se **64k x 16** bits

Endereços	Memórias Activas
0000 0000 0000 0000 (...)	A e B
0011 1111 1111 1111	
0100 0000 0000 0000 (...)	C e D
0111 1111 1111 1111	
1000 0000 0000 0000 (...)	E e F
1011 1111 1111 1111	
1100 0000 0000 0000 (...)	G e H
1111 1111 1111 1111	

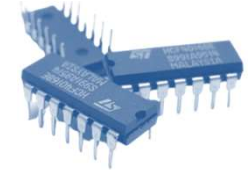


Mapas de memória



- Descodificação dos endereços

Mapas de Memória



- Mapas de Memória

- Muitas vezes, nem todo o espaço de endereçamento está preenchido.

Exemplo:



- Intel Core i7-2620M CPU @ 2.70GHz
- Barramento de endereços: 36 bits
- Espaço de endereçamento: $2^{36} = 64$ Giga Palavras

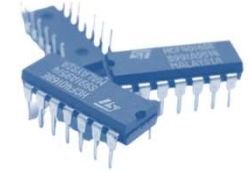


Todo ocupado ?

- Mapa de Memória:

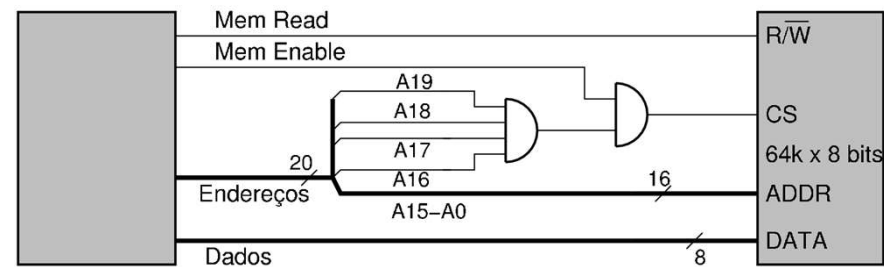
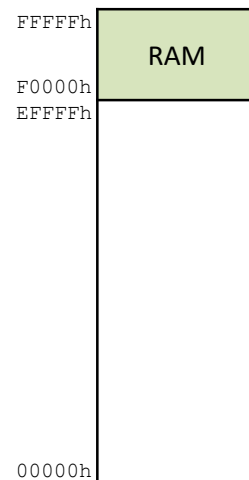
- Correspondência entre endereços de memória e os respectivos módulos instalados.

Mapas de Memória

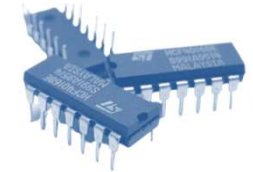


- Mapas de Memória

- **Exemplo 1:** processador com 20 bits de endereço (espaço de endereçamento de $2^{20}=1\text{M}$) e apenas um circuito de memória de 64k instalado na gama de endereços mais elevados.

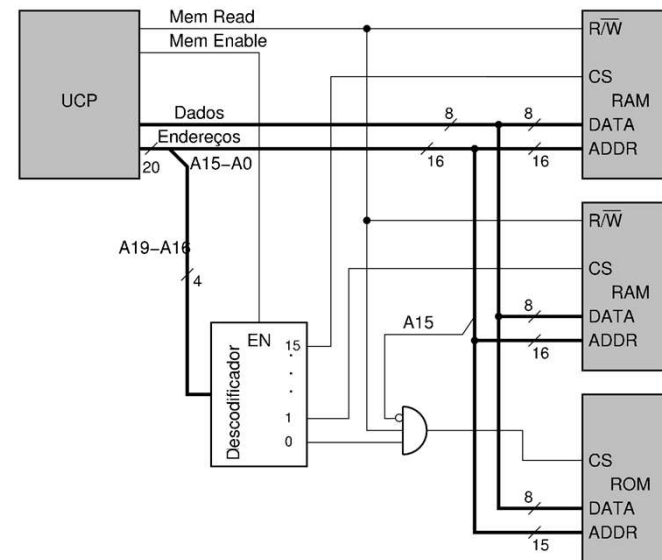
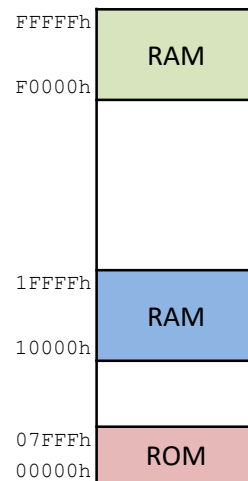


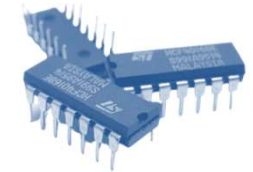
Mapas de Memória



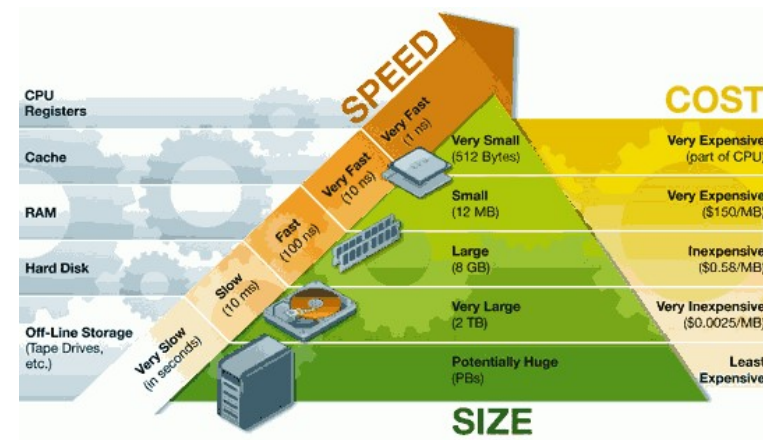
- Mapas de Memória

- **Exemplo 2:** espaço de memória fragmentado e/ou composto por diferentes tipos de memórias.



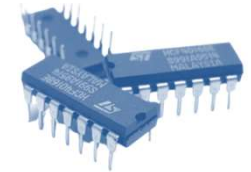


Hierarquia de Memória


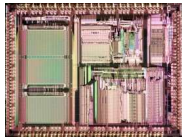




- Latência
- Tempos de acesso

Hierarquia de Memória



- Hierarquia de Memória num Processador

Nível	1	2	3	4
Nome	Registos	Cache	Memória	Disco
				
Capacidade	<1kB	<16MB	<32GB	>500GB
Tecnologia	CMOS	CMOS SRAM	CMOS DRAM	Disco Magnético
Acesso [ns]	0,25 a 0,5	0,5 a 25	80 a 250	5.000.000

CURIOSIDADE: O sistema de memória está estruturado por forma a que os dados e instruções mais comumente utilizados estejam em memórias mais rápidas e próximas do processador.



TÉCNICO LISBOA