



TÉCNICO LISBOA

SISTEMAS DIGITAIS (SD)

MEEC

Acetatos das Aulas Teóricas

Versão 4.0 - Português

Aula Nº 21:

Título: Memórias

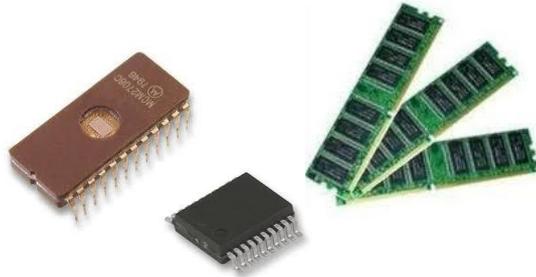
Sumário: Circuitos e tecnologias de memória (RAM estática e dinâmica, ROM); Planos de memória; Mapa de memória; Hierarquia de memória.

2015/2016

Nuno.Roma@tecnico.ulisboa.pt

Sistemas Digitais (SD)

Memórias



Aula Anterior

■ Na aula anterior:

- ▶ Exemplo (Moore)
- ▶ Projecto de circuitos sequenciais baseados em contadores



SEMANA	TEÓRICA 1	TEÓRICA 2	PROBLEMAS/LABORATÓRIO
14/Set a 19/Set	Introdução	Sistemas de Numeração e Códigos	
21/Set a 26/Set	Álgebra de Boole	Elementos de Tecnologia	P0
28/Set a 3/Out	Funções Lógicas	Minimização de Funções Booleanas (I)	L0
5/Out a 10/Out	Minimização de Funções Booleanas (II)	Def. Circuito Combinatório; Análise Temporal	P1
12/Out a 17/Out	Circuitos Combinatórios (I) – Codif., MUXs, etc.	Circuitos Combinatórios (II) – Som., Comp., etc.	L1
19/Out a 24/Out	Circuitos Combinatórios (III) - ALUs	Linguagens de Descrição e Simulação de Circuitos Digitais	P2
26/Out a 31/Out	Circuitos Sequenciais: Latches	Circuitos Sequenciais: Flip-Flops	L2
2/Nov a 7/Nov	Caracterização Temporal	Registos	P3
9/Nov a 14/Nov	Revisões Teste 1	Contadores	L3
16/Nov a 21/Nov	Síntese de Circuitos Sequenciais: Definições	Síntese de Circuitos Sequenciais: Minimização do número de estados	P4
23/Nov a 28/Nov	Síntese de Circuitos Sequenciais: Síntese com Contadores	Memórias	L4
30/Nov a 5/Dez	Máq. Estado Microprogramadas: Circuito de Dados e Circuito de Controlo	Máq. Estado Microprogramadas: Endereçamento Explícito/Implícito	P5
7/Dez a 12/Dez	Circuitos de Controlo, Transferência e Processamento de Dados de um Processador	Lógica Programável	L5
14/Dez a 18/Dez	P6	P6	L6



■ Tema da aula de hoje:

- ▶ Memórias:
 - Circuitos e tecnologias de memória:
 - RAM:
 - Estática
 - Dinâmica
 - ROM
 - Planos de memória
 - Mapa de memória
 - Hierarquia de memória

□ Bibliografia:

- M. Mano, C. Kime: Secções 8.1 a 8.5
- G. Arroz, J. Monteiro, A. Oliveira: Secções 6.8 e 13.1



CIRCUITOS E TECNOLOGIAS DE MEMÓRIA



Memórias

■ Memórias

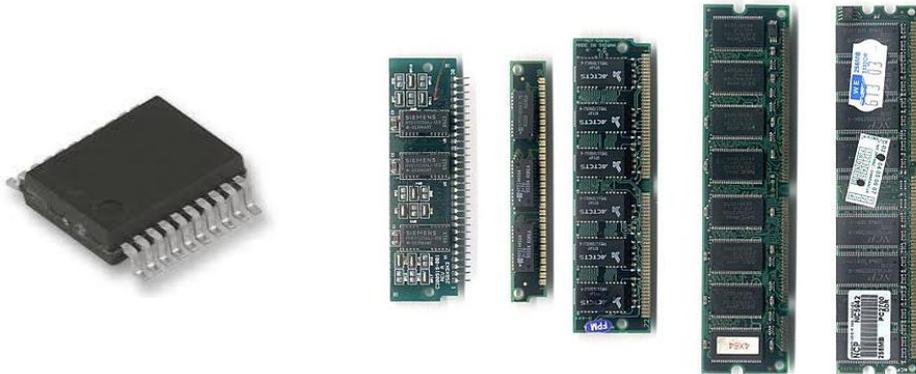
- ▶ Frequentemente, é necessário armazenar um conjunto muito grande de palavras em simultâneo

Soluções:

- Banco de Registos → limitado a poucas dezenas de palavras...
- Circuitos de memória:
 - RAM
 - ROM
- ▶ Outros tipos de memória:
 - Discos magnéticos, CD, DVD, Blu-Ray, etc..
 - Normalmente ligados a outros dispositivos (ex: PCs)

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 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.
- ▶ 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 memórias

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

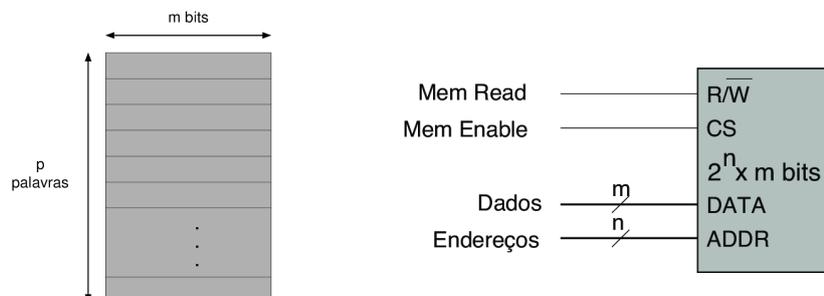
Exemplos:

- ROM
- PROM
- EPROM
- EEPROM



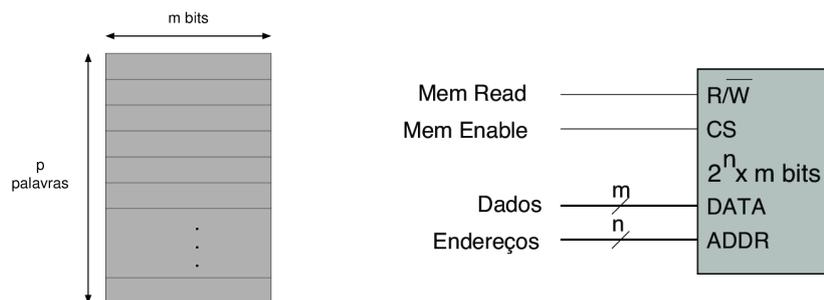
Circuito de Memória

- ▶ Circuito 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 ($p=2^n$).



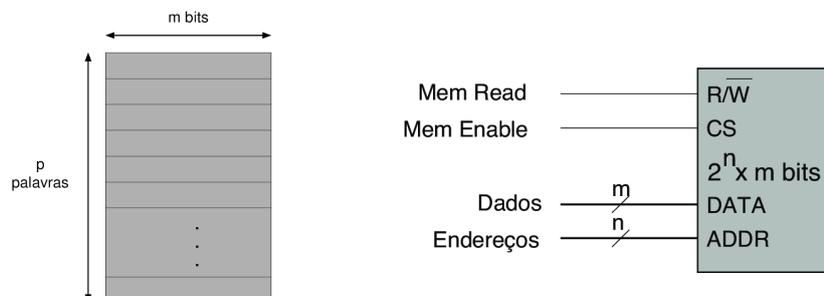
■ Circuito de Memória

- ▶ 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**)



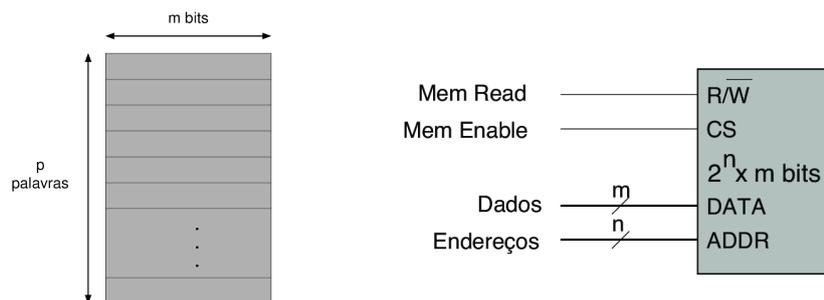
■ Circuito de Memória

- ▶ 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.

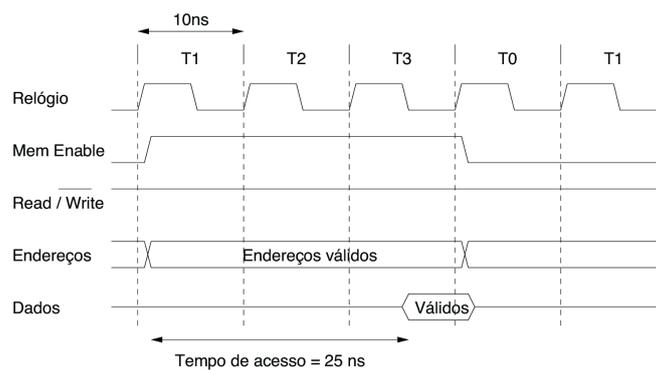


■ Circuito de Memória

- ▶ 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.

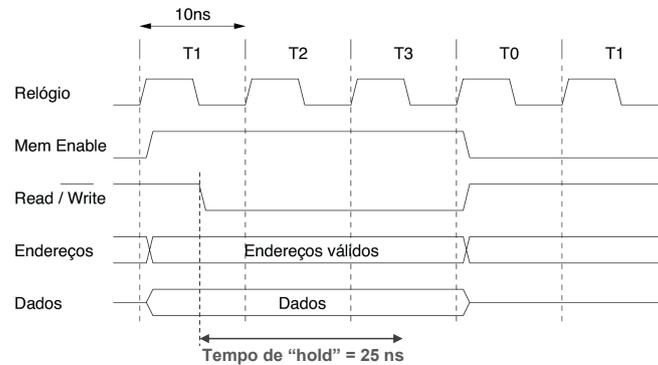


■ Acesso à memória: Leitura



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

■ Acesso à memória: Escrita



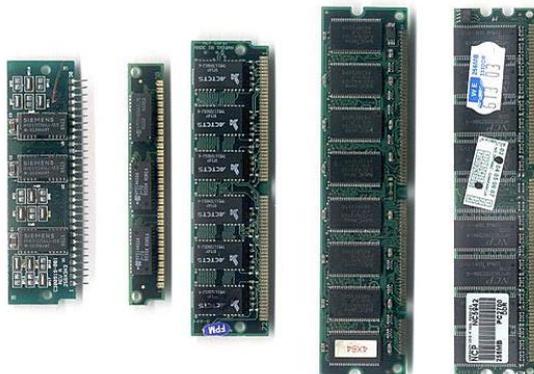
1. Coloca-se a posição que se pretende escrever no **barramento de endereços**;
2. Coloca-se no **barramento de dados** o valor que se pretende escrever nessa posição;
3. O dispositivo de memória é activado, através da entrada **Mem Enable** (ou **CS** ou **CE**);
4. O sinal **$\overline{R/W}$** é colocado a 0, para indicar uma operação de escrita;
5. Estes sinais devem manter-se estáveis, durante o tempo necessário à operação.

■ Tipos de memórias

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

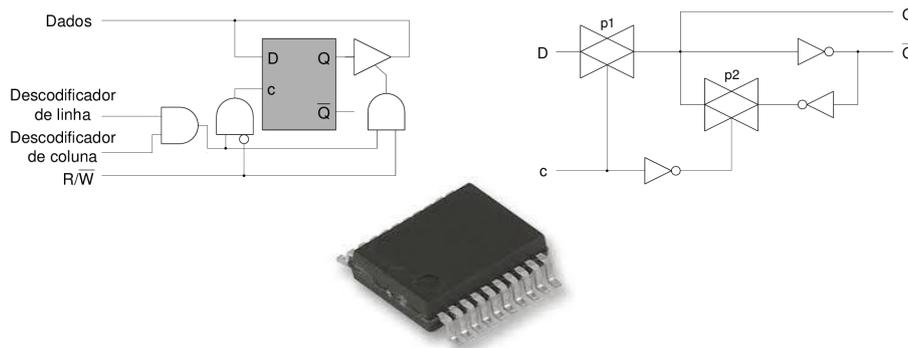
Exemplos:

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

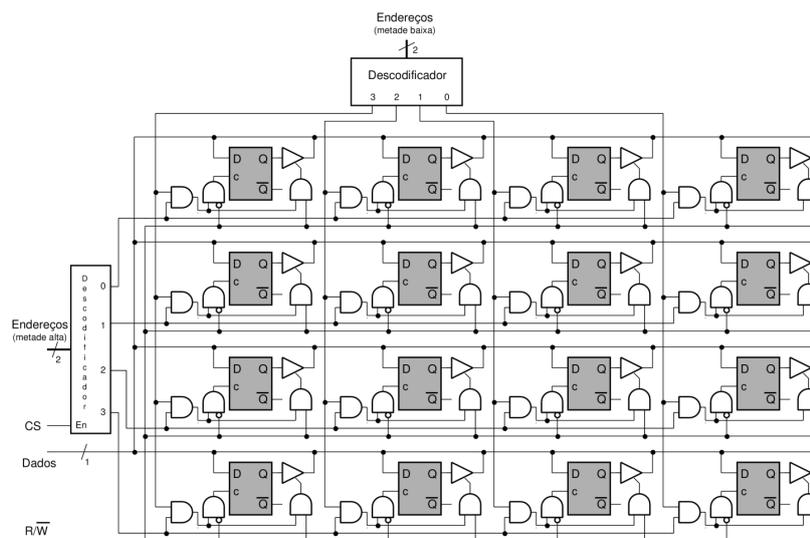


■ Memórias RAM Estáticas

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

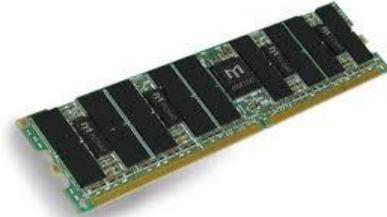
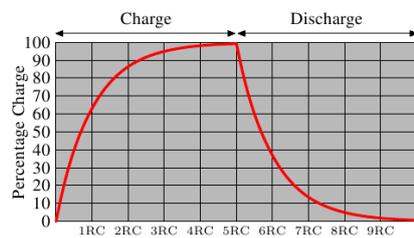
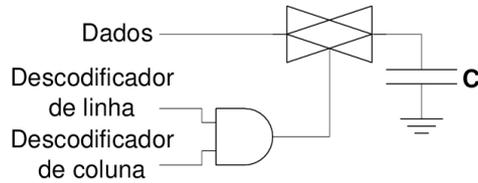


■ Memórias RAM Estáticas



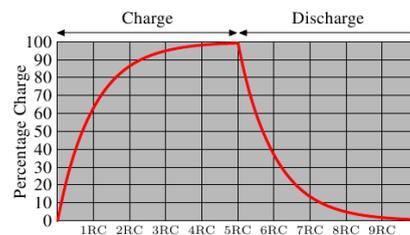
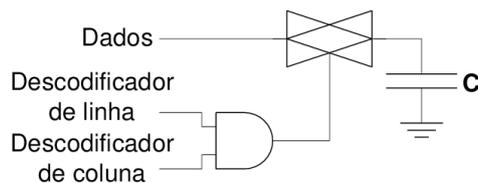
■ Memórias RAM Dinâmicas

- ▶ Os bits são representados pela carga de um pequeno condensador



■ 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 eléctrica 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

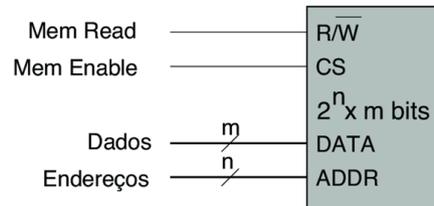
■ Memórias RAM: Dinâmicas vs. Estáticas

- ▶ 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 estáticasMas...
 - Muito mais **baratas** do que as memórias estáticas
 - Usadas como memória primária na maioria dos computadores

PLANOS DE MEMÓRIA

■ Planos de Memória

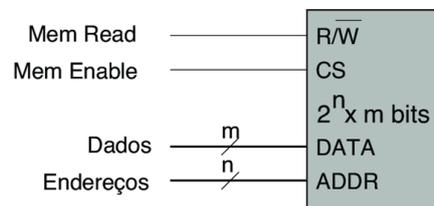
- ▶ Considerando a existência de um dado circuito de memória, constituído por 2^n palavras, em que cada palavra tem m bits...



- ▶ 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 com o Dobro da Largura

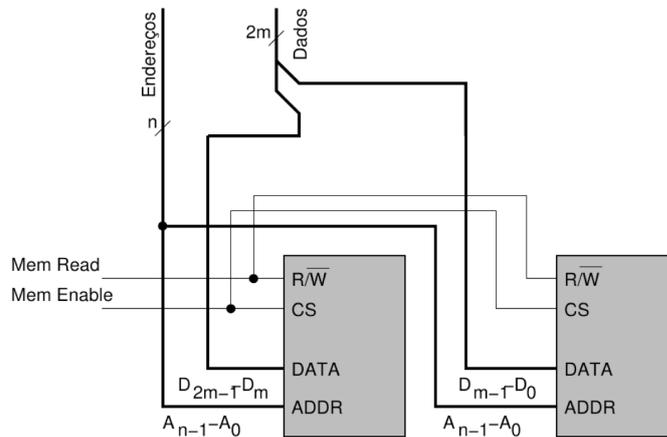
- ▶ Considerando a existência de um dado circuito de memória, constituído por 2^n palavras, em que cada palavra tem m bits...



- ▶ Exemplo 1:
 - Como construir uma memória com o dobro da largura de palavra guardada, isto é, uma memória com $2^n \times 2m$ bits ?

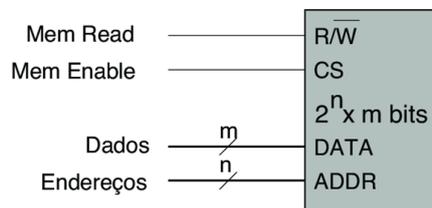
■ Planos de Memória com o Dobro da Largura

► Exemplo 1: memória com $2^n \times 2m$ bits



■ Planos de Memória com o Dobro dos Endereços

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

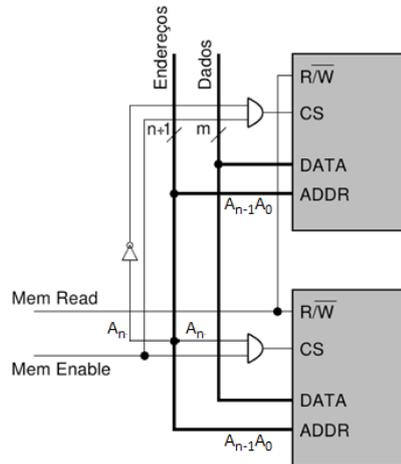


► Exemplo 2:

- 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 com o Dobro dos Endereços

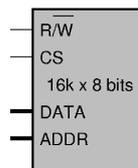
▶ **Exemplo 2:** memória com $2^{n+1} \times m$ bits



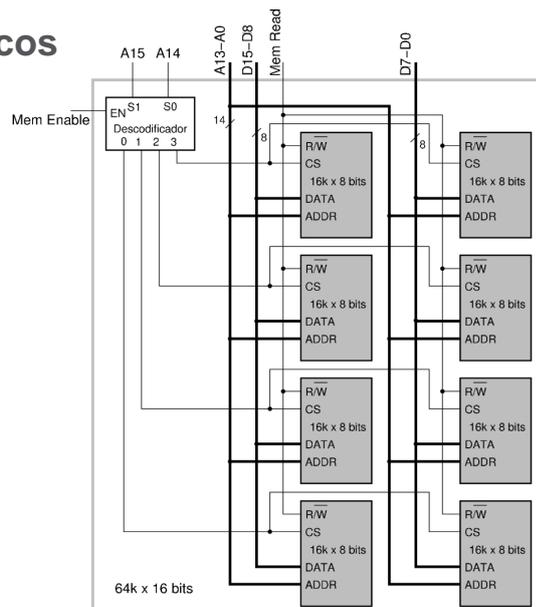
Planos de Memória Genéricos

▶ **Exemplo 3:** projectar um plano de memória de 64k palavras de 16 bits cada, utilizando circuitos de memória de 16k octetos.

▶ **Circuito base:**



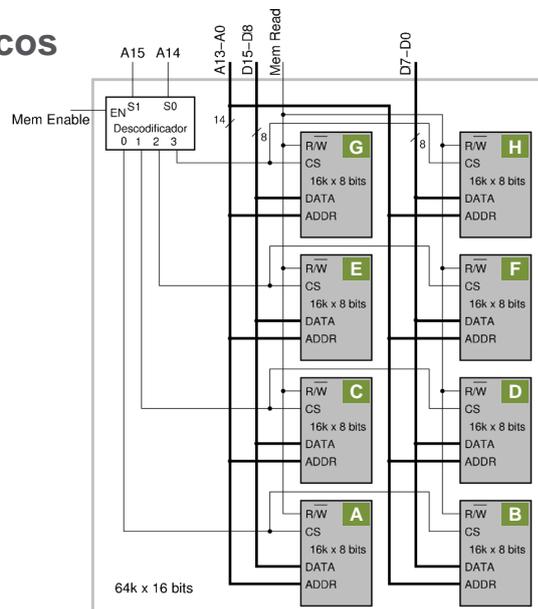
▶ Pretende-se **64k x 16 bits**



Planos de Memória Genéricos

► Pretende-se **64k x 16 bits**

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



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

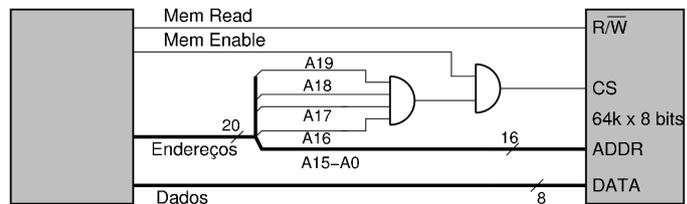
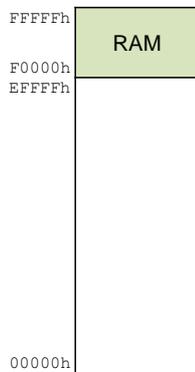
↓
Todo ocupado ?

▶ **Mapa de Memória:**

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

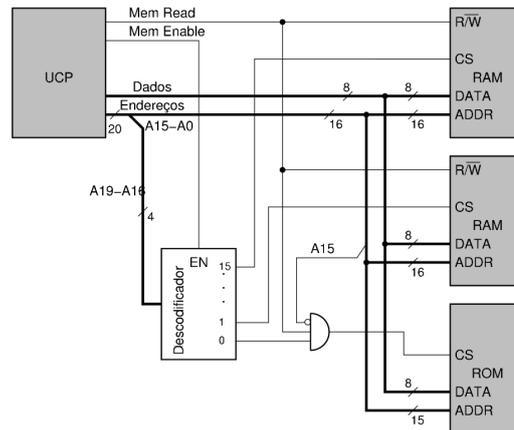
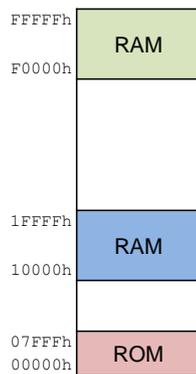
Mapas de Memória

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



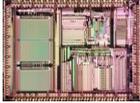
Mapas de Memória

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



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.

■ Tema da Próxima Aula:

- ▶ Projecto de circuitos sequenciais micro-programados
- ▶ Exemplos



Agradecimentos

Algumas páginas desta apresentação resultam da compilação de várias contribuições produzidas por:

- Guilherme Arroz
- Horácio Neto
- Nuno Horta
- Pedro Tomás