

SBL0082 - Microprocessadores

Aula 03 - Memórias

Prof. Me. Alan Marques da Rocha

Universidade Federal do Ceará (*Campus Sobral*)
Bacharelado em Engenharia Elétrica e Computação

24 de setembro de 2025



Roteiro da Aula

- 1 Breve resumo do que vimos
- 2 Introdução aos Dispositivos de Memória
- 3 Memórias Voláteis e Não Voláteis
- 4 Tipos de Memórias



- 1 Breve resumo do que vimos
- 2 Introdução aos Dispositivos de Memória
- 3 Memórias Voláteis e Não Voláteis
- 4 Tipos de Memórias



Resumo da aula anterior

- Bits, bytes, flip-flops e flags na visão de sistema.
- Diferenças práticas entre RISC e CISC.
- Barramentos: dados, endereços e controle.
- Arquiteturas Von Neumann e Harvard.



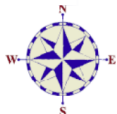
- 1 Breve resumo do que vimos
- 2 Introdução aos Dispositivos de Memória
- 3 Memórias Voláteis e Não Voláteis
- 4 Tipos de Memórias



Introdução

- São componentes em um computador capazes de **armazenar** informações (dados e instruções).
- Existem diferentes tipos. A escolha é feita de acordo com os requisitos de **custo** e **desempenho**.
- Possuem um papel crítico no desempenho do computador.





Localização



Método de acesso



Características físicas



Capacidade



Desempenho



Organização



Unidade de transferência



Tipo físico

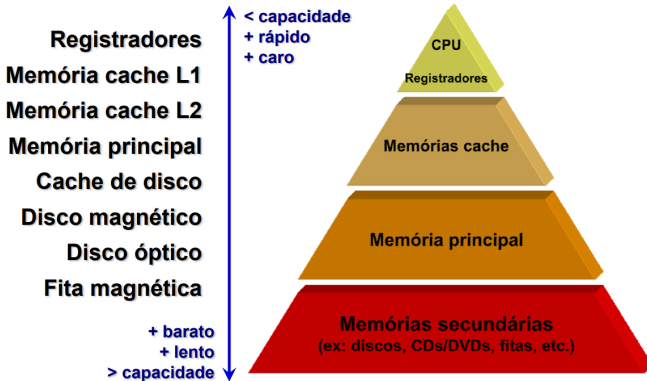


Papel da memória no sistema

- Memória como elo entre CPU e periféricos.
- **Hierarquia:** registradores, caches, memória principal, armazenamento.
- **Compromissos:** latência, largura de banda, capacidade, custo, energia.



Hierarquia de memória: visão geral



<i>Nível</i>	<i>Tecnologia</i>	<i>Tamanho</i>	<i>Tempo de acesso típico</i>	<i>Custo/MB (US\$)</i>
Registrador	Flip-Flop D	32 - 64 bits	2 - 3 ns	N/A
Cache L1	SRAM	512 Kbytes	12 - 25 ns	400,00
Cache L2	SRAM	1 - 6 Mbytes	12 - 25 ns	400,00
Memória principal	DRAM	1 – 8 Gbytes	60 - 70 ns	50,00
Memória secundária	Disco magnético	80–500 Gbytes (≡ Tbytes)	8 - 10 ms	0,50



Métricas fundamentais

Latência: tempo para completar um acesso.

Largura de banda: taxa de transferência.

Energia por acesso: consumo por leitura/escrita.

Endurance: número de ciclos suportados (NVM).

Retenção: tempo de preservação de dados (NVM).



Latência e largura de banda

Tempo médio de acesso à memória:

$$AMAT = T_{hit} + M_{miss} \times P_{miss}$$

Onde: T_{hit} é a latência em caso de acerto, M_{miss} é o custo do erro, P_{miss} é a taxa de faltas.

Largura de banda efetiva para blocos:

$$BW = \frac{B}{T_{lat} + \frac{B}{R_{sust}}}$$

Onde: B é o tamanho do bloco, T_{lat} a latência fixa, R_{sust} a taxa sustentada.



Temporal: dados usados recentemente serão usados de novo.

Espacial: dados próximos tendem a ser acessados juntos.

Conceitos que motivam caches, linhas de cache e pré-busca.



- 1 Breve resumo do que vimos
- 2 Introdução aos Dispositivos de Memória
- 3 Memórias Voláteis e Não Voláteis**
- 4 Tipos de Memórias



Memórias voláteis

- Perdem conteúdo sem alimentação elétrica (**Desligou, perdeu!!!!**).
- **Exemplos:** memória cache e memória principal.
- **Uso típico:** memória principal, *buffers*, caches.



Memórias não voláteis

- Preservam dados sem energia.
- **Exemplos:** ROM, PROM, EPROM, EEPROM, Flash, FRAM, MRAM.
- **Uso típico:** firmware, armazenamento permanente.

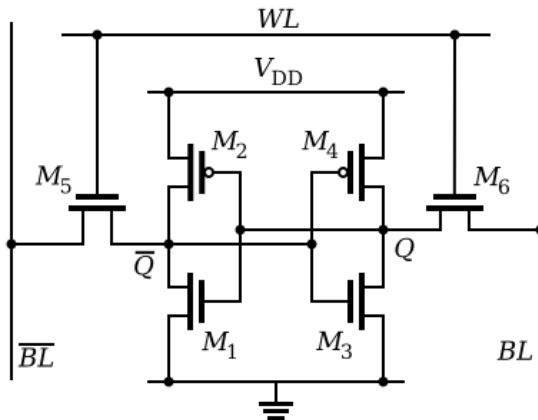


Células básicas

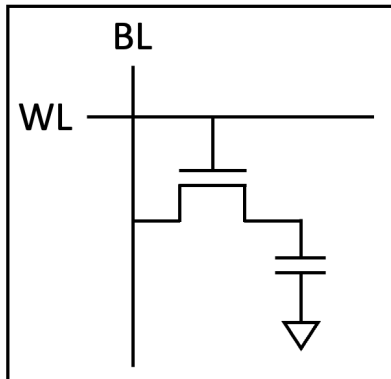
- **SRAM 6T**: dois inversores cruzados + 2 transistores de acesso.
- **DRAM 1T1C**: um transistor e um capacitor.
- **ROM** por máscara: conectividade fixa do diodo/transistor.

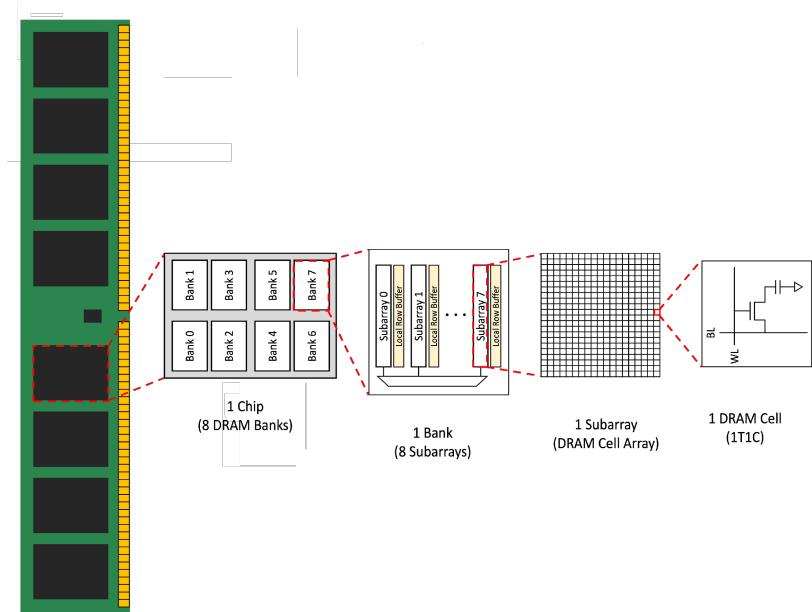


Célula SRAM 6T



Célula DRAM 1T1C





Equilíbrio energia vs desempenho

Energia por acesso:

$$E = \frac{1}{2} C_{\text{linha}} V^2 \cdot N_{\text{transições}}$$

Onde: C_{linha} é a capacitância efetiva, V a tensão, $N_{\text{transições}}$ é o número de comutações.



- 1 Breve resumo do que vimos
- 2 Introdução aos Dispositivos de Memória
- 3 Memórias Voláteis e Não Voláteis
- 4 Tipos de Memórias**



Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório (RAM)

- Leitura e escrita (armazenamento temporário).
- Acesso aleatório a qualquer posição com latência uniforme.
- **SRAM**: rápida, cara, usada em caches.
- **DRAM**: densa, barata, usada como memória principal.



Static RAM (SRAM) vs Dynamic (DRAM)

SRAM:

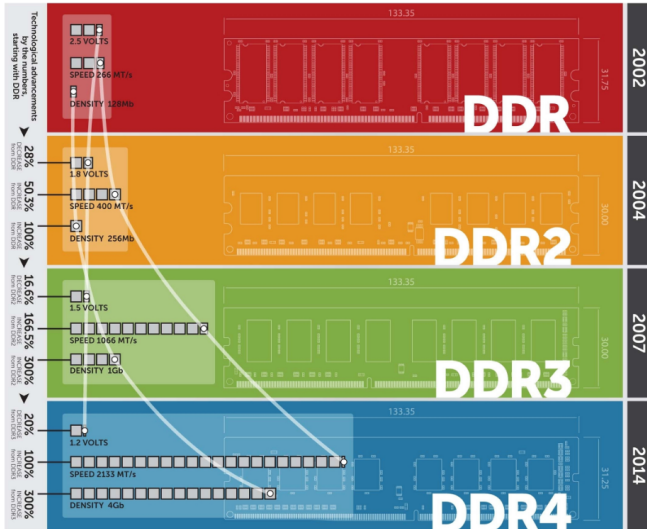
- Composta por circuitos do tipo flip-flop D.
- Seu **conteúdo é conservado** enquanto houver energia.
- São **memórias rápidas**.
- Ex: Memórias cache L2.



DRAM: Composta por arranjos de células, cada uma contendo um transistor e um pequeno capacitor.

- Precisa de renovação periódica do conteúdo (*refreshing*).
- Interface mais complexa.
- São memórias mais densas ($>$ capacidade), + baratas e + lentas.
- Ex: Memória principal.





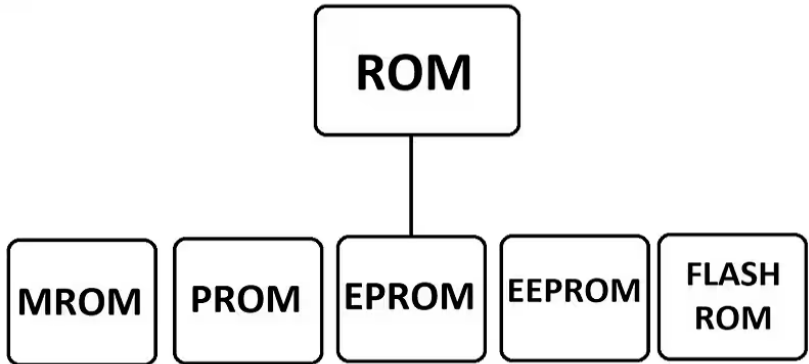
Read-Only Memory (ROM)

ROM ou Memória Somente de Leitura: Seu conteúdo é gravado no processo de fabricação e **NÃO PODE SER ALTERADO!!**

- Leitura, apenas.
- Usadas na microprogramação e em outras aplicações.

EXEMPLOS??





Mask ROM (MROM)

MROM: Memória Somente Leitura por Máscara — conteúdo definido na fabricação (fotomáscaras). **NÃO PODE SER ALTERADO!!**

- Leitura apenas; altíssima confiabilidade e retenção.
- Custo unitário baixo em *alto volume*.
- Sem risco de corrupção por escrita accidental.
- **Aplicações:** microprogramação fixa, consoles/arcades clássicos, boot ROMs.



PROM (Programmable ROM)

PROM: programável uma única vez pós-fabricação, por fusíveis/an-tifusíveis. APENAS UMA GRAVAÇÃO; SEM APAGAMENTO!!

- Leitura apenas após a programação inicial.
- Flexibilidade de *late binding* (gravar já perto da produção).
- **Vantagem:** sem necessidade de máscaras; ideal para lotes médios.
- **Limite:** erro de programação é definitivo.
- **Aplicações:** chaves de configuração, calibração de fábrica, IDs de dispositivo.



EPROM (Erasable Programmable ROM)

EPROM: regravável com apagamento por luz UV (janela de quartzo). **APAGAMENTO GLOBAL; PROCESSO LENTO!!**

- Programação elétrica; apagamento UV típico de 20–30 min.
- **Endurance:** $\sim 10^3$ ciclos; **retenção:** 10–20 anos.
- Requer retirar o CI do soquete para apagar.
- **Aplicações:** prototipagem de firmware, desenvolvimento de microprogramas.



EEPROM (Electrically Erasable PROM)

EEPROM: regravável eletricamente em granularidade de bytes/-palavras. **ESCRITA MAIS LENTA E COM DESGASTE!!**

- Apagamento/escrita *in-circuit*, sem remover o CI.
- **Endurance** típico: 10^5 ciclos/byte; **retenção**: ~ 10 anos.
- **Aplicações**: parâmetros de configuração, *logs* de eventos de baixo volume, calibração.



Flash ROM (Flash Memory)

Flash: derivada de EEPROM, mas com apagamento em blocos/páginas. **APAGA POR BLOCOS; GERENCIAR DESGASTE!!**

- **NOR**: leitura aleatória rápida; possível *execute-in-place* (firmware).
- **NAND**: maior densidade e custo/GB menor; acesso por páginas (armazenamento).



Flash ROM (Flash Memory)

Flash: derivada de EEPROM, mas com apagamento em blocos/páginas. **APAGA POR BLOCOS; GERENCIAR DESGASTE!!**

- **Endurance:** 10^3 – 10^5 ciclos/bloco; uso de FTL, ECC e *wear leveling*.
- **Aplicações:** bootloaders, atualizações OTA, SSDs, eMMC, pendrives.



NOR vs NAND

- NOR: leitura aleatória rápida, execução *in-place* de código.
- NAND: densidade e custo melhores, ideal para armazenamento.



OTP (One-Time Programmable)

- Programação única via fusíveis antifusíveis.
- Uso em chaves de configuração, *trim*, *device ID*.



Exercício em Grupo — Escolha de Memórias

Cenário: Um dispositivo contador de pulsos precisa ter:

- **Boot** imutável: 4 KiB.
- **Firmware** principal: 32 KiB.
- **Parâmetros de calibração:** 128 B, regravados 1 vez por mês.
- **Logs de eventos:** 10 eventos/dia por 1 ano; cada evento ocupa 16 B.

Memórias disponíveis:

- MROM, EPROM, EEPROM 2 KiB, Flash NOR SPI 1 Mbit (128 KiB), página 256 B, bloco 4 KiB.



Tarefas (entregar 4 bullets):

- 1 Alocar *boot*, *firmware*, *parâmetros* e *logs* nas memórias disponíveis, com 1 frase de justificativa para cada.
- 2 Calcular o espaço de **logs** para 1 ano:

$$\text{Capacidade (B)} = N_{\text{eventos}} \times T_{\text{evento}}$$

onde N_{eventos} = número total de eventos no período e T_{evento} = tamanho por evento.



- 1 Dizer se a Flash de 128 KiB comporta **firmware** + **logs** ao mesmo tempo.
- 2 (Opcional) Desenhar um mini “mapa de memória” com retângulos e tamanhos.



Na Próxima Aula

- Organização e Enderçamento;
- Memória Cache;
- Integridade de Dados;
- Pilhas (Stack).



Muito Obrigado!!

E-mail: eng.alanmarquesrocha@gmail.com

