



# ARQUITETURA E ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES


ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO - UFC/SOBRAL

Prof. Wendley S. Silva



# MEMÓRIA PRIMÁRIA

QUAIS SÃO AS MEMÓRIAS PRIMÁRIAS (REAIS)? COMO É CONTIDO AS INFORMAÇÕES NA MEMÓRIA?



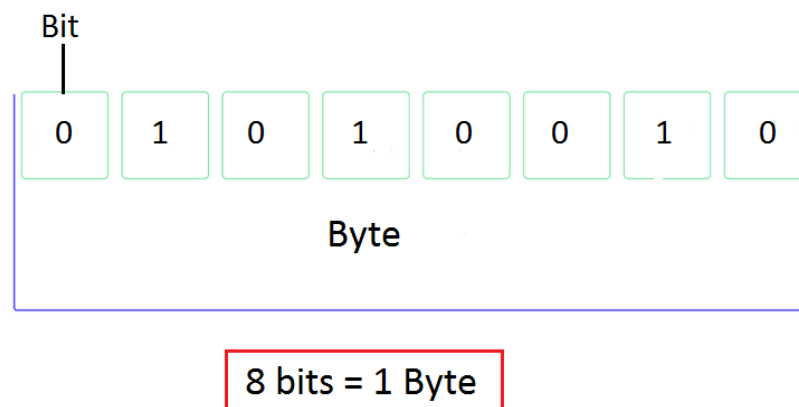
# MEMÓRIA PRIMÁRIA



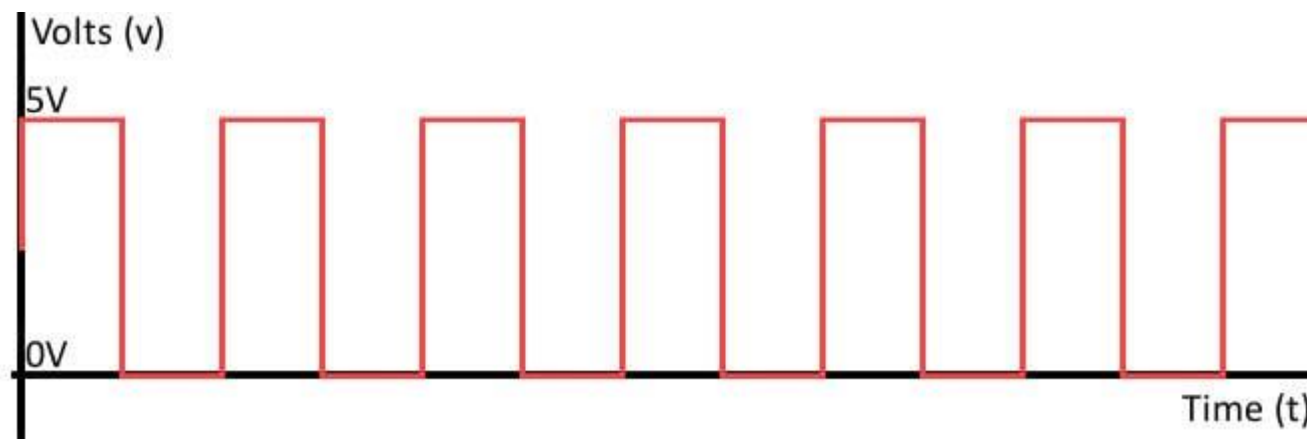
UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A **memória** é a parte do computador onde são armazenados programas e dados.
- Memória primária (ou memória principal) armazena programas de forma temporária, quando referidos pelo sistema operacional como processos.
- As memórias primárias são aquelas em que o processador endereça diretamente, como: RAM, ROM, Registradores e o CACHE.

- A unidade básica de memória é o dígito binário, denominado bit (*binary digit*), que pode armazenar o **valor 0** ou o **valor 1**
  - Um dispositivo capaz de armazenar somente zeros dificilmente poderia formar a base de um sistema de memória; são necessários pelo menos dois valores.



- Computadores usam aritmética binária porque é “eficiente”.
  - As informações digitais podem ser armazenadas distinguindo entre valores diferentes de alguma quantidade física contínua.
  - Quanto maior for o número de valores que precisam ser distinguidos, menores serão as separações entre valores adjacentes, e menos confiável será a memória.
  - O sistema numérico binário requer a distinção entre apenas dois valores.



BIT

Decimal	Binário	Octal	Hexadecimal
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
20	10100	24	14
30	11110	36	1E
40	101000	50	28
50	110010	62	32
60	111100	74	3C
70	1000110	106	46
80	1010000	120	50
90	1011010	132	5A
100	11001000	144	64
1000	1111101000	1750	3E8
2989	101110101101	5655	BAD



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Computadores IBM e seus grandes *mainframes* possuem aritmética decimal, bem como binária
  - BCD (*Binary Coded Decimal* – decimal codificado em binário)
  - Quatro bits oferecem 16 combinações, usadas para os 10 dígitos de 0 a 9, mas seis combinações não são usadas

Decimal	Binário	BCD
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0010
3	0011	0011
4	0100	0100
5	0101	0101
6	0110	0110
7	0111	0111
8	1000	1000
9	1001	1001
10	1010	0001 0000
11	1011	0001 0001
12	1100	0001 0010

- O método mais confiável para codificar informações digitais.
- Memórias consistem em uma **quantidade de células** (ou locais), cada uma das quais podendo armazenar uma informação.
- **A célula é a menor unidade endereçável.**



# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



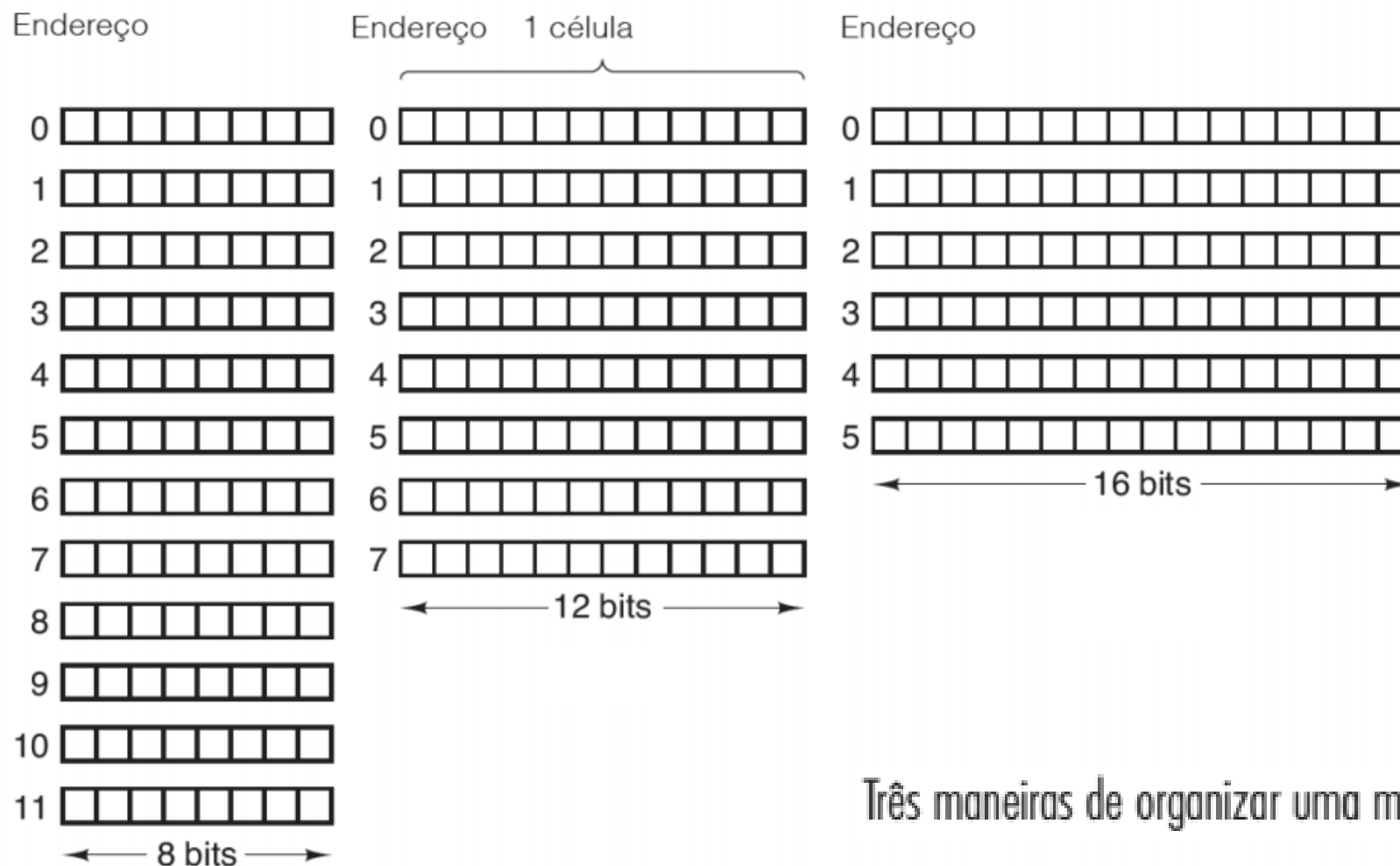
UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Cada célula tem um número (endereço), pelo qual os programas podem se referir a ela
  - Se a memória possui  $n$  células, seus endereços serão  $[0, n-1]$
  - Cada célula possui o mesmo número de bits (6, 8, 10, 12, 16, ...)
  - Uma célula com  $k$  bits pode armazenar  $2^k$  combinações diferentes de bits

# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ



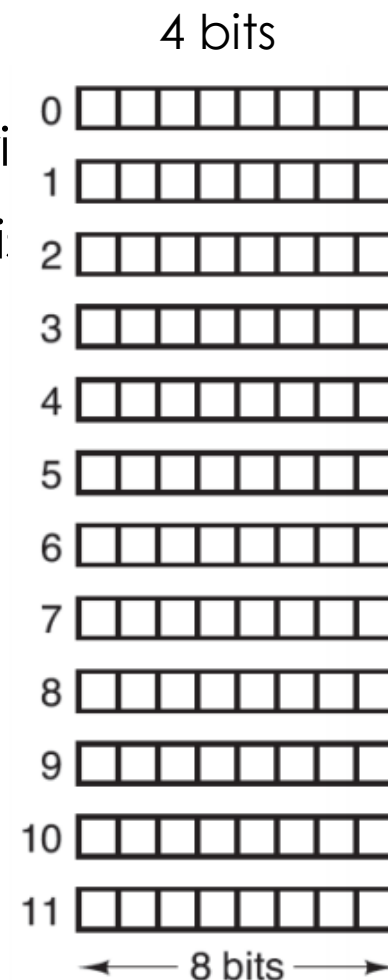
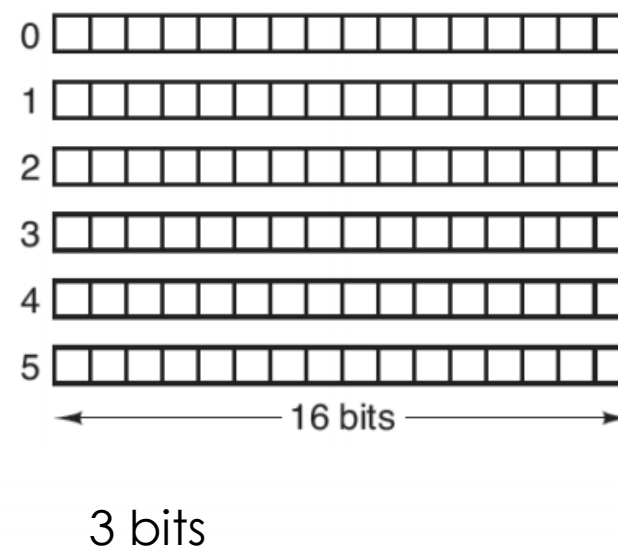
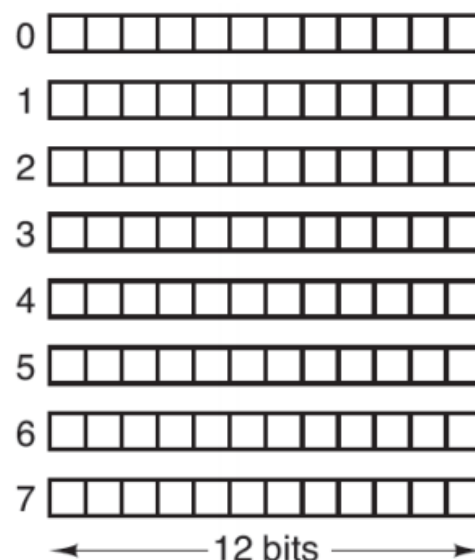
Três maneiras de organizar uma memória de 96 bits.

# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Computadores expressam endereços de memória como números binários
- Se um endereço tiver  $m$  bits, o número máximo de células endereçáveis é
- Para a memória da figura precisa de no mínimo 3 e 4 bits



# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- O número de bits no endereço determina o número máximo de células diretamente endereçáveis na memória e é independente do número de bits por célula
  - Uma memória de  $2^{12}$  células de 8 bits e uma memória com  $2^{12}$  células de 64 bits cada precisam de endereços de 12 bits
- A célula é a menor unidade endereçável

# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

Número de bits por célula para alguns computadores comerciais historicamente interessantes.

- Há poucos anos, praticamente todos os fabricantes de computadores padronizaram células de 8 bits, que é denominada um **byte** (octeto).

Computador	Bits/célula
Burroughs B1700	1
IBM PC	8
DEC PDP-8	12
IBM 1130	16
DEC PDP-15	18
XDS 940	24
Electrologica X8	27
XDS Sigma 9	32
Honeywell 6180	36
CDC 3600	48
CDC Cyber	60

# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

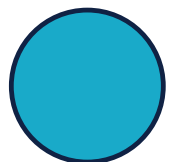
- Bytes são agrupados em palavras (sequência de bits)
  - Um computador com uma palavra de 32 bits possui 4 bytes/palavra
  - Um computador com uma palavra de 64 bits possui 8 bytes/palavra
- A significância de uma palavra é que grande parte das instruções efetua operações com palavras inteiras
  - Máquina de 32 bits terá registradores de 32 bits e instruções para manipular palavras de 32 bits
  - Máquina de 64 bits terá registradores de 64 bits e instruções para manipular palavras de 64 bits
    - Movimentar, somar, subtrair, etc.

# ENDEREÇOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Para simplificar, podemos fazer uma analogia: na arquitetura de 32 bits, enquanto um processador precisa realizar duas “viagens” (uma a cada ciclo de clock) para interpretar determinadas informações, na de 64 bits, ele realizaria apenas uma
- Dessa forma, a capacidade de um hardware do gênero poder trabalhar com uma quantidade maior de bits, não influenciará diretamente em sua velocidade de operação, mas em um melhor desempenho geral da plataforma
  - A velocidade eventualmente será menor, mas a quantidade de instruções por ciclo será maior





← DDR2



← DDR3



← DDR4

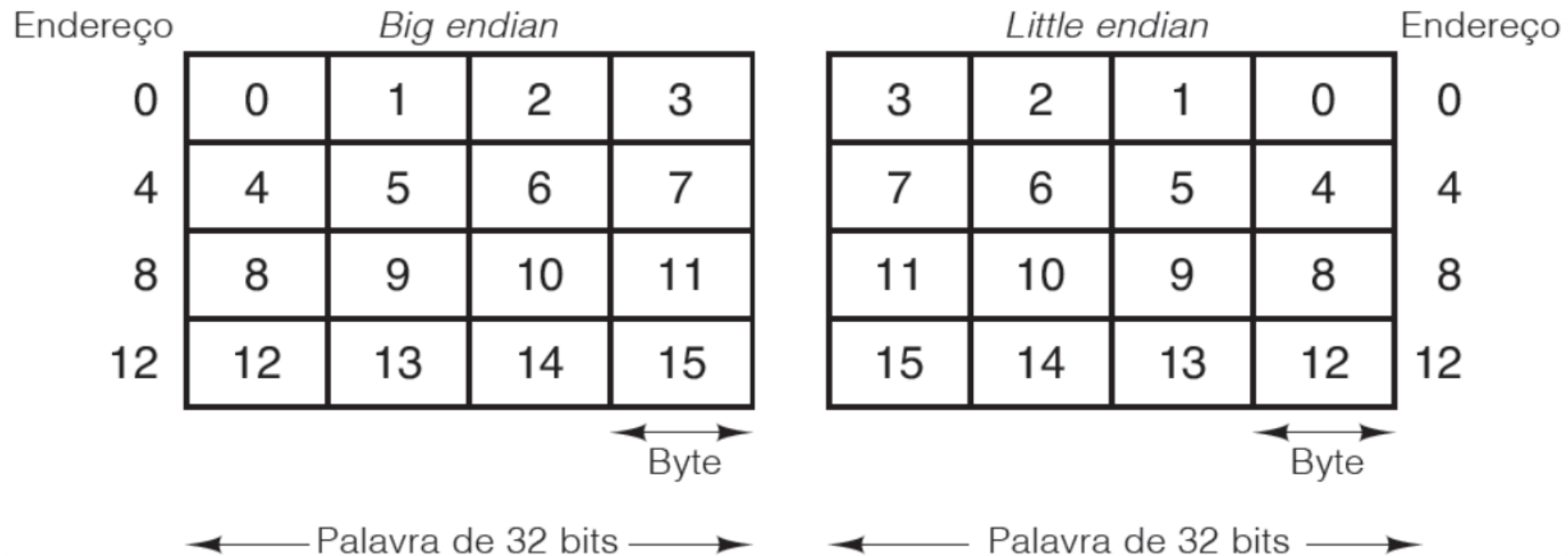


# ORDENAÇÃO DE BYTES



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Os bytes em uma palavra podem ser numerados da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda
- Memória *big endian* e memória *little endian*



# ORDENAÇÃO DE BYTES



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Suponha que tenhamos o valor hexadecimal de 32 bits 12345678 e que ele seja armazenado em uma palavra de 32 bits na memória endereçável por byte, no local de byte 184
- O valor consiste em 4 bytes, com o byte menos significativo contendo o valor 12345678 e o byte mais significativo contendo o valor 12345678

Endereço	Valor
184	12
185	34
186	56
187	78

*Big endian*

Endereço	Valor
184	78
185	56
186	34
187	12

*Little endian*

# ORDENAÇÃO DE BYTES



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Muitas aplicações requerem uma mistura de inteiros, cadeias de caracteres e outros tipos de dados
- Exemplo: um simples registro de pessoal composto de uma cadeia (nome do empregado) e dois inteiros (idade e número do departamento)
  - “Jim Smith, idade 21, departamento 260 ( $1 \times 256 + 4 = 260$ )”

*Big endian*

0	J	I	M	
4	S	M	I	T
8	H	0	0	0
12	0	0	0	21
16	0	0	1	4

*Little endian*

	M	I	J
T	I	M	S
0	0	0	H
0	0	0	21
0	0	1	4

Transferência de  
*big endian* para  
*little endian*

0		M	I	J
4	T	I	M	S
8	0	0	0	H
12	21	0	0	0
16	4	1	0	0

Transferência  
e troca

J	I	M		0
S	M	I	T	4
H	0	0	0	8
0	0	0	21	12
0	0	1	4	16

# ORDENAÇÃO DE BYTES



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Não há uma solução simples
- Um modo que funciona, mas ineficiente é incluir um cabeçalho
- A falta de um padrão para a ordenação de bytes é um grande aborrecimento quando há troca de dados entre máquinas diferentes.

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Memórias de computador podem cometer erros de vez em quando devido a picos de tensão na linha elétrica, por exemplo
- É preciso empregar métodos de detecção e até mesmo de correção de erros
  - Nesse caso, bits extras são adicionados às palavras de modo especial, para a validação
  - Ex.: A uma palavra de  $m$  bits de dados são adicionados  $r$  bits redundantes ( $n = m + r$ )
  - Palavra de código

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A partir de duas palavras, é possível determinar quantos bits são diferentes
  - Ex.: 10001001 e 10110001 → Há três bits diferentes
- O número de posições cujos bits são diferentes em duas palavras é a **distância de Hamming**
  - As propriedades de detecção de erro e correção de erro de um código dependem de sua distância de Hamming

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Número de bits de verificação para um código que pode corrigir um erro único

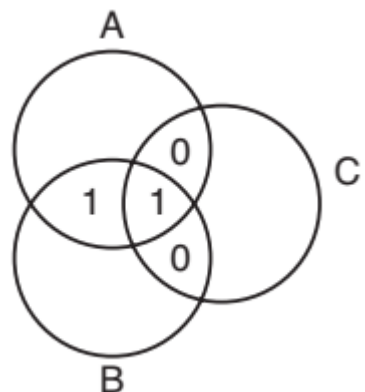
Tamanho da palavra	Bits de verificação	Tamanho total	Acréscimo percentual
8	4	12	50
16	5	21	31
32	6	38	19
64	7	71	11
128	8	136	6
256	9	265	4
512	10	522	2

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Codificar a palavra de 4 bits 1100  $\rightarrow AB = 1$ ;  $ABC = 1$ ;  $AC = 0$ ;  $BC = 0$



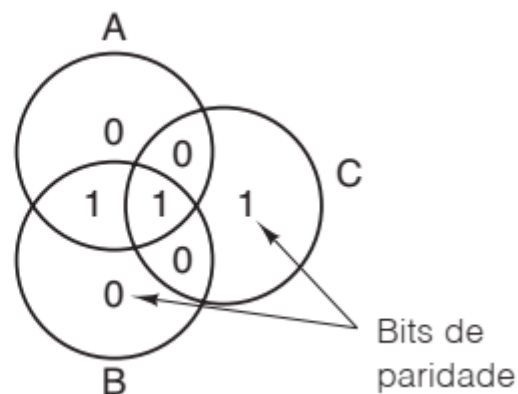
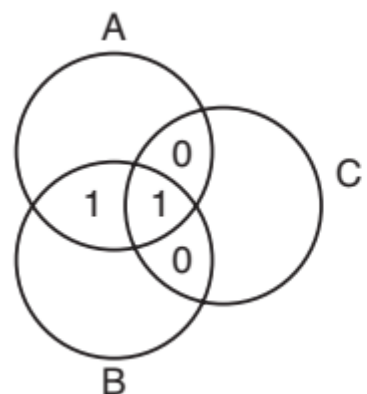


# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A, B e C armazenam bits de paridade par (ou ímpar)
  - A soma dos bits em cada círculo é par (ou ímpar)

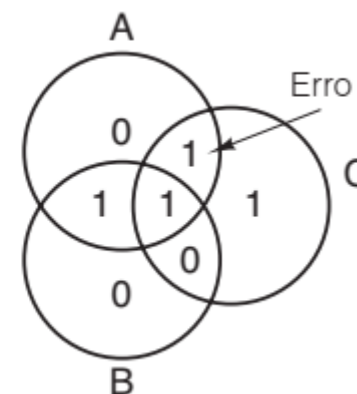
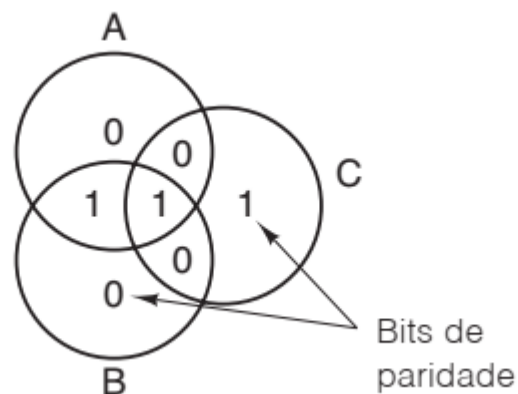
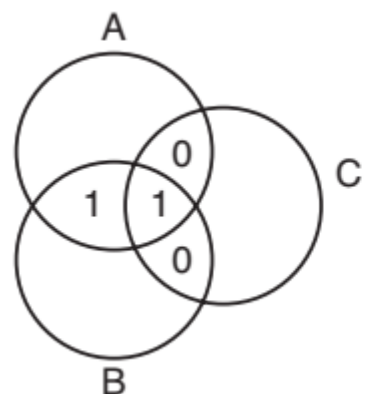


# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Se um bit da sequência 1100 for trocado para 1110, através dos bits de paridade é possível identificar que há um bit errado e qual o bit foi trocado, podendo ser feita sua correção

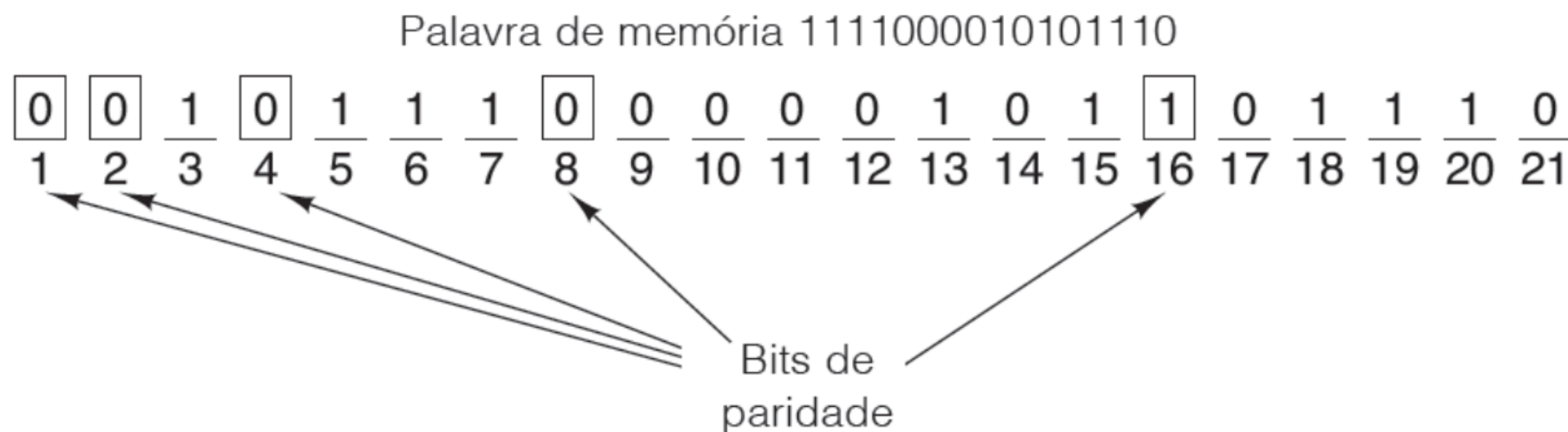


# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A figura a seguir mostra a construção de um código de Hamming para a palavra de memória de 16 bits 1111000010101110
- Todo bit potência de 2 é paridade
- A palavra de código de  $(16+5)$  21 bits é 001011100000101101110
- Um bit  $b$  é verificado pelos bits de paridade  $(b_1, b_2, b_3, \dots)$  de forma que  $b_1 + b_2 + \dots = b$



# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Bit 1 verifica bits 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21.
- Bit 2 verifica bits 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19.
- Bit 4 verifica bits 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 20, 21.
- Bit 8 verifica bits 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.
- Bit 16 verifica bits 16, 17, 18, 19, 20, 21.

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A figura a seguir mostra a construção de um código de Hamming para a palavra de memória de 16 bits **1111000010101110**
- A palavra de código de  $(16+5)$  21 bits é **001011100000101101110**
- Para ver como funciona a correção de erros, considere o que aconteceria se o bit 5 fosse invertido por uma sobrecarga elétrica na linha de força
- A nova palavra de código seria **001001100000101101110**

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Os bits são numerados começando de 1 (em vez de zero)

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Bits cujas posições corresponderem à potência de 2 são de paridades

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

- A palavra sem os códigos de paridade: 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0
- Em seguida, fazemos as somas para cada bit de paridade

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Os 5 bits de paridade serão verificados com os seguintes resultados:
  - Bit de paridade 1 incorreto (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 contêm **cinco** 1s)
  - Bit de paridade 2 correto (2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19 contêm seis 1s)
  - Bit de paridade 4 incorreto (4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 20, 21 contêm **cinco** 1s)
  - Bit de paridade 8 correto (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 contêm dois 1s)
  - Bit de paridade 16 correto (16, 17, 18, 19, 20, 21 contêm quatro 1s)



# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- O bit incorreto deve ser um dos bits verificados pelo bit de paridade 1  
1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 ou 21
- juntamente com um dos bits verificados pelo bit de paridade 4  
4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 20 ou 21
- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	
	4	5	6	7		12	13	14	15	20	21

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Contudo, o bit 2 está correto  
2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19
- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
	4	5	6		12	13	14		20	21

The diagram shows two rows of bit positions. The first row contains bits 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, and 21. The second row contains bits 4, 5, 6, 12, 13, 14, 20, and 21. Bits 5, 7, 13, and 15 are highlighted in red. Bits 7 and 15 are also circled with a red 'X' over them, indicating they are invalid or in error.

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Da mesma forma, o bit 8 está correto  
8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
	4	5	6		12		14		20	21

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Por fim, o bit 16 está correto  
16, 17, 18, 19, 20, 21
- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
	4	5	6		12		14		20	

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Restando apenas o bit 5. O que é necessário para corrigi-lo?

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

1	3	5			9	11			17	19	
	4	5	6			12		14		20	

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO











UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Restando apenas o bit 5.

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

- Como os bits de paridade inválidos são o 1 e o 4, o bit incorreto é verificado por ambos

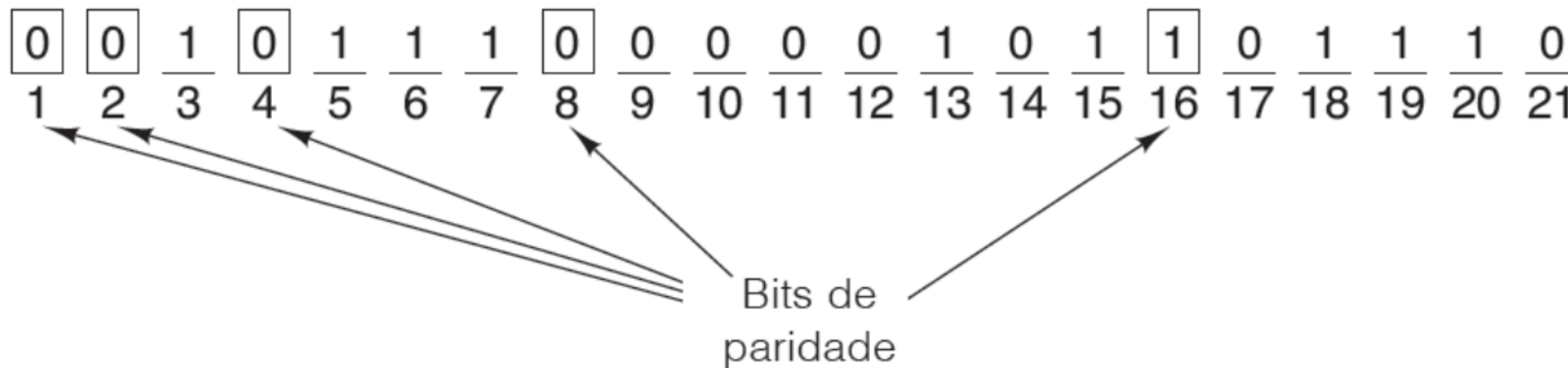
1	3	5			9	11			17	19		
	4	5	6			12		14			20	

# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

Palavra de memória 1111000010101110



# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Como são definidos os bits de paridade?

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

- Bit de paridade 1 somam-se os bits 1 em (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21)  $6\%2 = 0$
- Bit de paridade 2 somam-se os bits 1 em (2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19)  $6\%2 = 0$
- Bit de paridade 4 somam-se os bits 1 em (4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 20, 21)  $6\%2 = 0$
- Bit de paridade 8 somam-se os bits 1 em (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)  $2\%2 = 0$
- Bit de paridade 16 somam-se os bits 1 em (16, 17, 18, 19, 20, 21)  $3\%2 = 1$



# CÓDIGOS DE CORREÇÃO DE ERRO - ATIVIDADE



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Determine os bits de paridade

—	—	<u>1</u>	—	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	—	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

—	—	<u>1</u>	—	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	—	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

- Verificar se a palavra foi alterada

<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

# MEMÓRIA PRIMÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A memória principal é um circuito eletrônico integrado do tipo "DRAM" (Dynamic Random Access Memory) e é designada de "banco de memória"(memory board).
  - É uma memória de rápido acesso e que armazena os dados /informações (programas, objetos, dados de entrada e saída, dados do sistema operacional, etc.).
- Apesar de ter acesso extremamente rápido, permitir ser gravada, desgravada e lida, a memória principal, apresenta um grande inconveniente: ela é **volátil**.
  - Ser volátil significa dizer que se gravamos uma série de informações e o computador for desligado por qualquer motivo, ela "esquece" todo o seu conteúdo.

# MEMÓRIA PRIMÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A grande velocidade da memória RAM deve-se a três registros que permitem um acesso aos dados necessários de forma direta.
  - 1º registro - *Memory Address Register*
    - Guarda o endereço onde se encontra ou será colocado um dado/informação.
  - 2º registro - *Memory Buffer register*
    1. Se a operação desejada for de leitura, ele recebe a informação localizada pelo registro de endereço e a envia ao processador;
    2. Se a operação desejada for uma saída(gravação),ele transfere o dado para a posição de memória indicada pelo registro de endereço.
  - 3º registro - Conector de Ligação
    - Conecta o buffer (armazenador de dados utilizado para compensar a diferença de velocidade entre dois dispositivos), após cada operação (leitura/gravação), à posição de memória indicada pelo registro de memória, permitindo assim a comunicação (transferência) de dados em ambos os sentidos.

# MEMÓRIA DE LEITURA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Outro tipo de circuito integrado de memória é a **não-volátil**.
  - Estes circuitos conservam os dados que estavam sob sua custódia mesmo que a máquina esteja desligada.
  - Em compensação o microcomputador em operação normal não consegue escrever nenhuma informação neles, apenas a leitura é possível.
- É o circuito do tipo "ROM" (*Read Only Memory* ou Memória Apenas para Leitura).
- Este tipo de memória já vem instalada de fábrica na placa-mãe e traz gravadas em seus circuitos as informações básicas para o funcionamento da máquina, ativando os dispositivos necessários para a inicialização das tarefas.

# MEMÓRIA DE LEITURA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Há várias espécies de memória do tipo ROM:
  1. PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Exclusiva para Leitura) = pode ser programada através de um equipamento específico e gravada uma única vez;
  2. EPROM (*Electrically Programmable Read Only Memory* ou Memória Exclusiva para Leitura Programável Eletricamente) ou (Eraseble Programmable Read Only Memory ou Memória Exclusiva para Leitura, Programável e Apagável) = pode ser gravada, apagada e regravada, por equipamento específico;
  3. EAROM (*Electrically Alterable Read Only Memory* ou Memória Alterável Eletricamente) = seus dados podem ser alterados;
  4. EEPROM (*Electrical Eraseble Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Apagável) = seu conteúdo pode ser apagado através de processos elétricos.
- Os componentes de hardware que vem gravados de fábrica ou que possibilite gravação permanente (que não pode ser mudada) é considerado como uma fusão de hardware e software.

# PROBLEMAS DE DESEMPENHO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Historicamente, as CPUs sempre foram mais rápidas do que a memória
  - A medida que a memória melhora, a CPU também é aperfeiçoada, contribuindo para o desequilíbrio entre CPU e memória
  - Projetistas de memória costumam usar nova tecnologia para aumentar a capacidade
- Qual o significado desse desequilíbrio?
  - CPUs gastam muitos ciclos ociosas aguardando informações (instruções, dados) serem lidos/escritos da/na memória – quanto mais lenta a memória, mais ciclos a CPU terá de aguardar

# PROBLEMAS DE DESEMPENHO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- É possível criar memórias que trabalhem tão rápidas quanto a CPU, mas para executarem, precisam se localizar dentro do chip da CPU – o uso dos barramentos contribui para a lentidão do acesso à memória
- Por que isso não é feito?
  - Por fatores econômicos
    - Adicionar uma memória na CPU deixaria esta muito maior e mais cara
  - Ou se tem uma memória pequena e rápida ou uma memória grande e lenta
  - O que na prática precisamos é de muita memória a um preço baixo

# MEMÓRIA CACHE



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A ideia básica de uma cache é simples: as palavras de memória usadas com mais frequência são mantidas na cache
- Quando a CPU precisa de uma palavra, ela examina em primeiro lugar a cache.
- Somente se a palavra não estiver ali é que ela recorre à memória principal
- Se uma fração substancial das palavras estiver na cache, o tempo médio de acesso pode ser muito reduzido

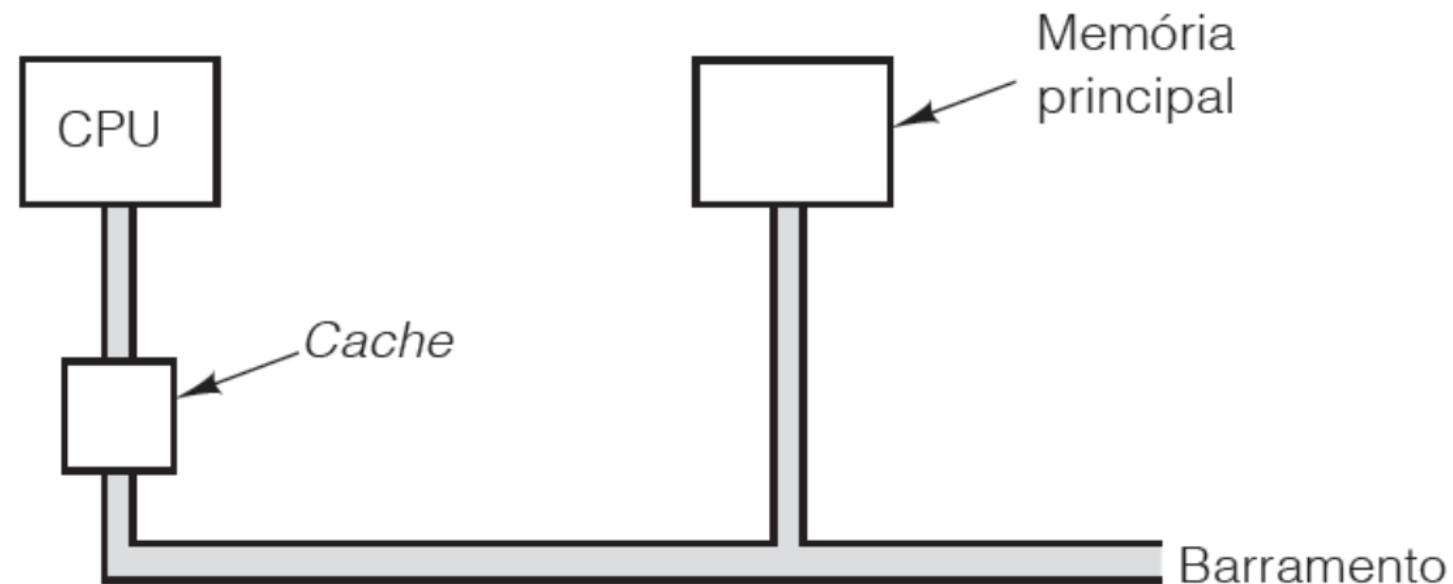


# MEMÓRIA CACHE



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A localização lógica da cache é entre a CPU e a memória principal
- Em termos físicos, há diversos lugares em que ela poderia estar localizada



# MEMÓRIA CACHE



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- $k$  : qtde vezes palavra foi lida em um curto intervalo de tempo
- $h$  : taxa de acerto
- $c$  : tempo de acesso à cache
- $m$  : tempo de acesso à memória
  
- $h = (k - 1)/k$
- tempo de acesso médio =  $c + (1 - h) m$

# EMPACOTAMENTO E TIPOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

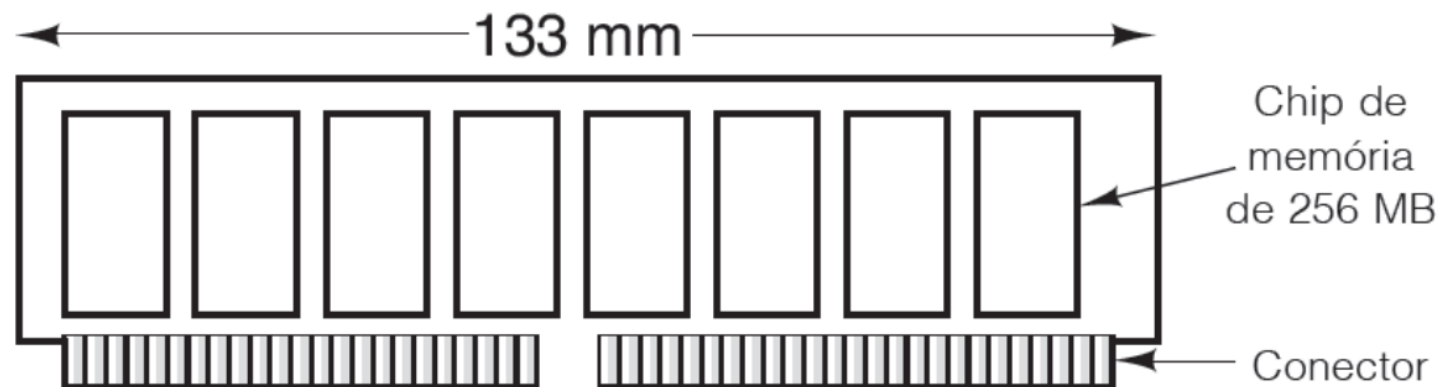
- Desde o início da década de 1990, usa-se um grupo de chips, em geral 8 ou 16, montado em uma minúscula placa de circuito impresso e vendido como uma unidade.
- Essa unidade é denominada de SIMM (*Single Inline Memory Module* – módulo único de memória em linha) ou DIMM (*Dual Inline Memory Module* – módulo duplo de memória em linha).
- Os SIMMs têm um conector de borda com 72 contatos e transferem 32 bits por ciclo de clock.
- Os DIMMs em geral têm conectores de borda com 120 contatos em cada lado da placa, perfazendo um total de 240 contatos e transferem 64 bits por ciclo de clock.

# EMPACOTAMENTO E TIPOS DE MEMÓRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Uma configuração típica de DIMM poderia ter oito chips de dados com 256 MB cada. O módulo inteiro conteria 2 GB (ou 16 chips, totalizando 4GB)
- Muitos computadores têm espaço para quatro módulos, o que dá uma capacidade total de 8 GB se forem usados módulos de 2 GB, ou mais se forem usados módulos maiores





# MEMÓRIA SECUNDÁRIA

MEMÓRIA EXTERNA OU MEMÓRIA AUXILIARES

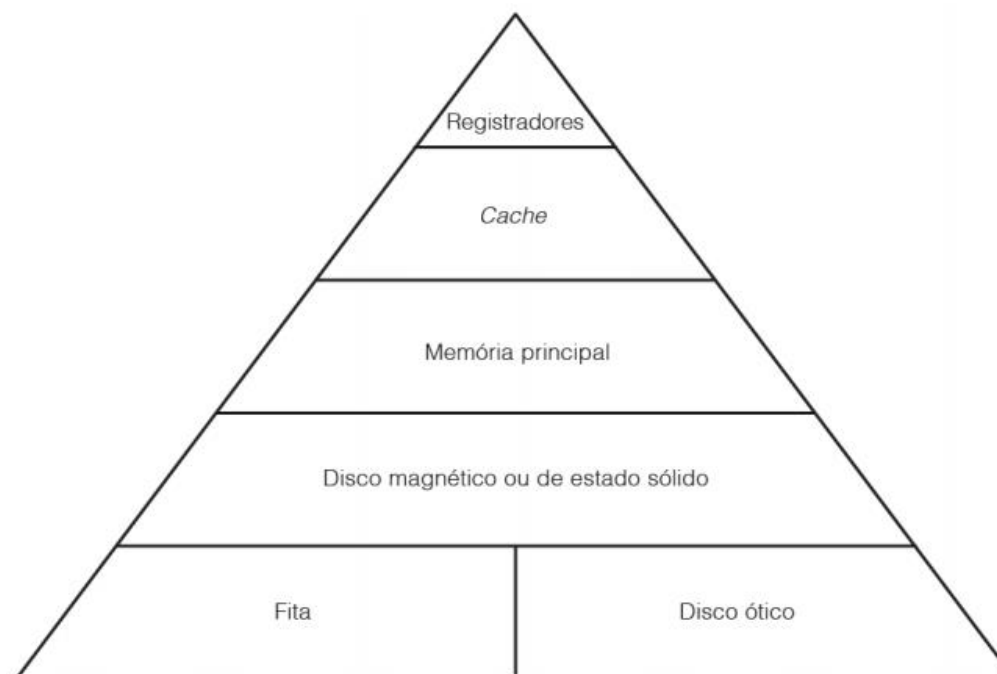


# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Seja qual for o tamanho da memória principal, ela sempre será muito pequena.
- A solução tradicional para armazenar grandes quantidades de dados é uma hierarquia de memória:



# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

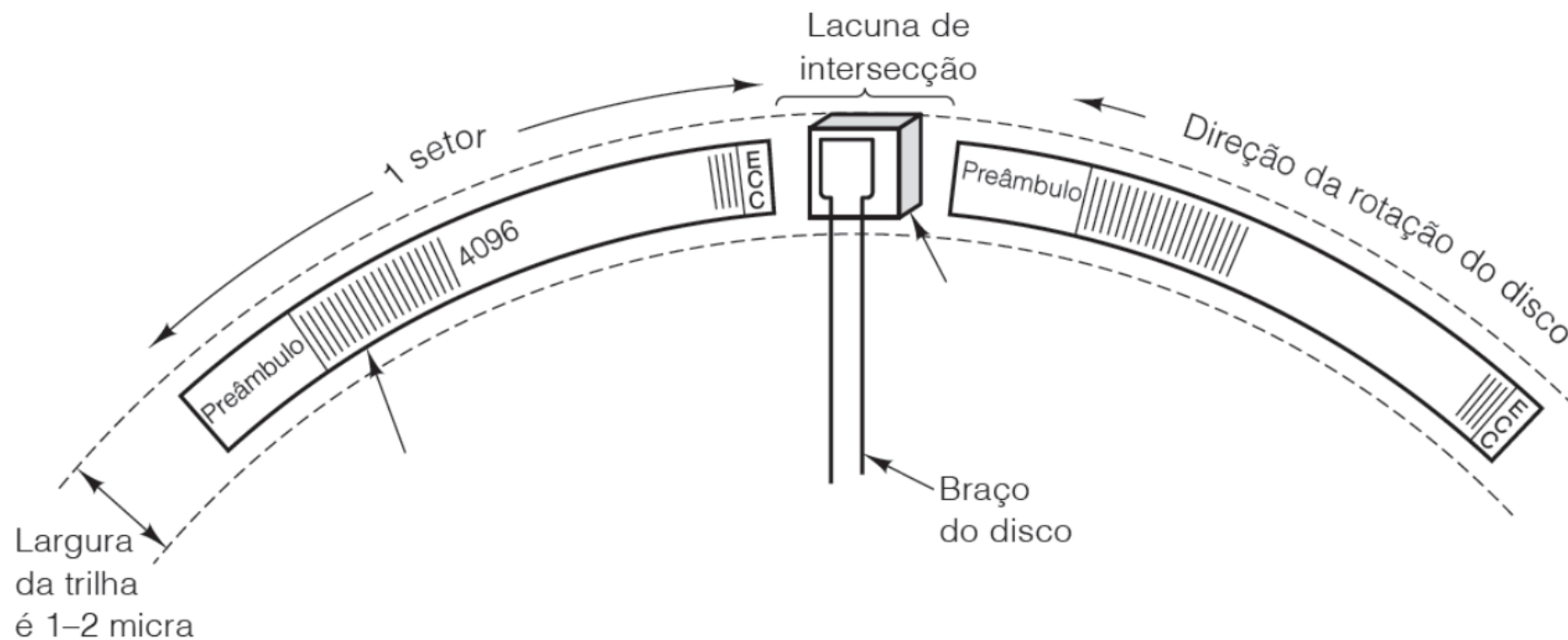
- Um disco magnético é composto de um ou mais pratos de alumínio com um revestimento magnetizável
  - No início, esses pratos tinham até 50 cm de diâmetro, mas agora têm normalmente de 3 a 9 cm, e discos para notebooks já estão com menos de 3 cm e continuam encolhendo.
- Um cabeçote de disco que contém uma bobina de indução flutua logo acima da superfície.
- Quando o cabeçote passa sobre uma área magnetizada, uma corrente positiva ou negativa é induzida nele, o que possibilita a leitura dos bits armazenados antes.
- Assim, à medida que o prato gira sob o cabeçote, uma corrente de bits pode ser escrita e mais tarde lida.

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

Porção de uma trilha de disco. Dois setores são ilustrados.



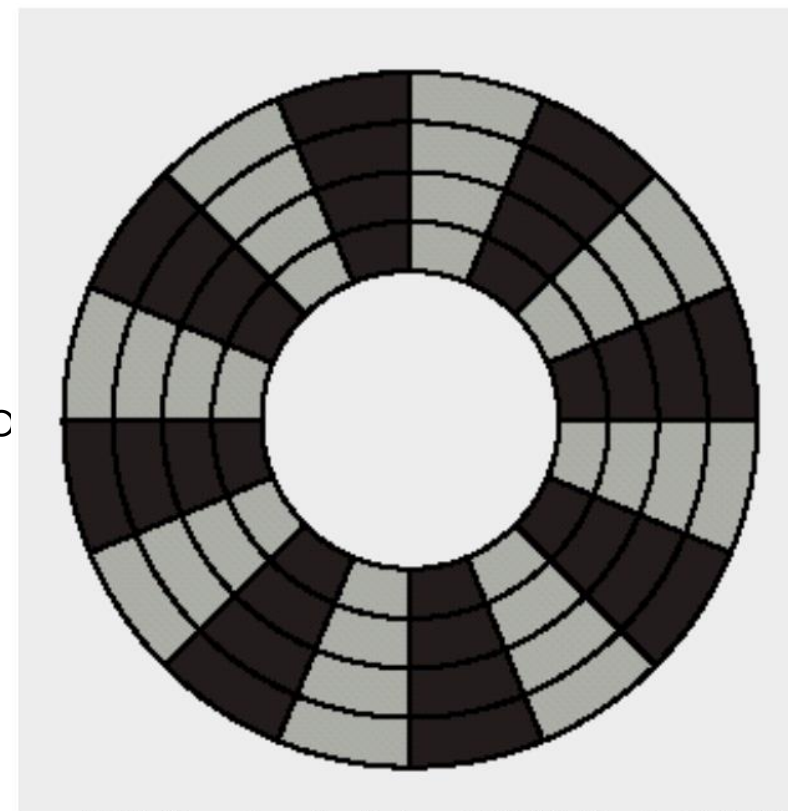


# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Duas tecnologias definem o número de bits por trilhas
  1. O número de bits por trilha é constante
    - Trilhas mais internas possuem uma densidade maior bits/pç
    - Discos com tecnologia CAV (*Constant Angular Velocity*)

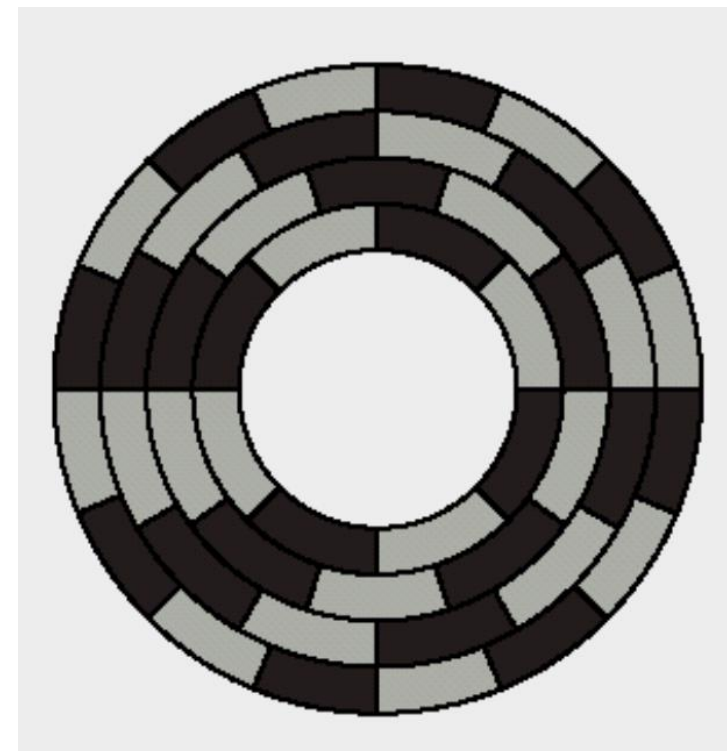


# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

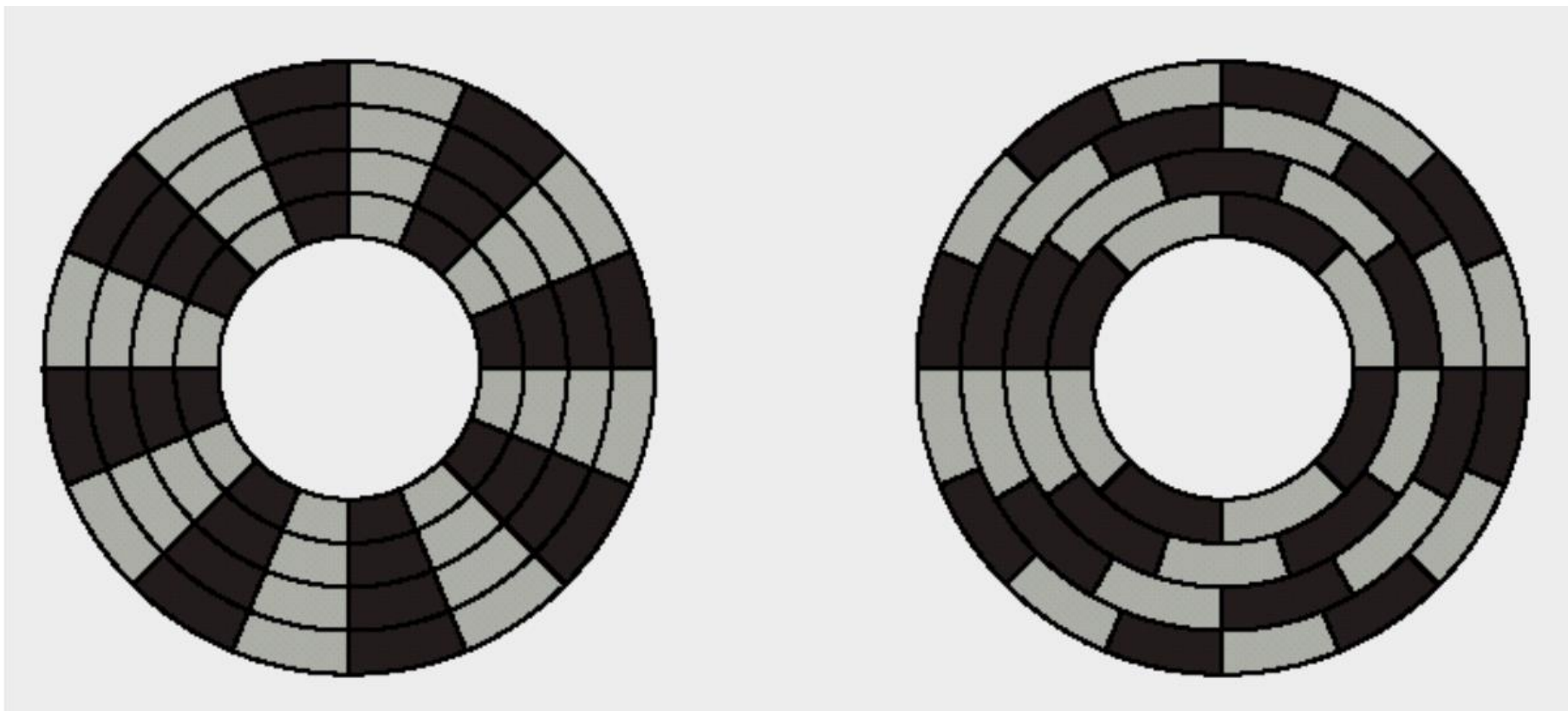
- Duas tecnologias definem o número de bits por trilhas
- 2. O número de bits por trilha depende se ela é mais interna ou mais externa
  - Discos com tecnologia CLV (Constant Linear Velocity)
    - CDROM



# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ



# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Para atingir densidades ainda mais altas, os fabricantes de discos estão desenvolvendo tecnologias nas quais a dimensão “longa” dos bits não está ao longo da circunferência do disco, mas na direção vertical, dentro do óxido de ferro.
  - Essa técnica é denominada gravação perpendicular e demonstrou-se que pode oferecer densidades de dados de até 100 gigabits/cm. É provável que essa se torne a tecnologia dominante nos próximos anos.

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

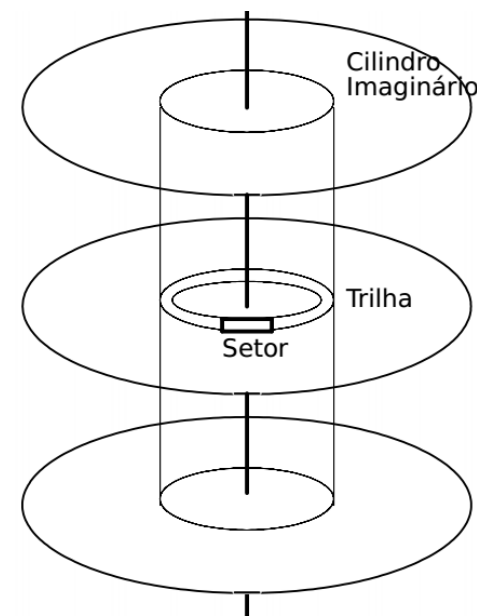
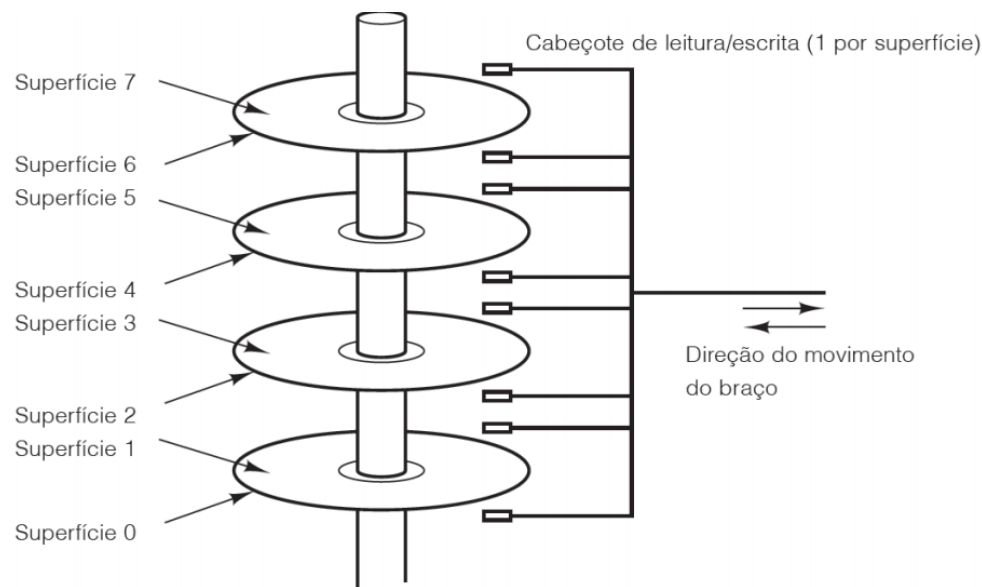
- Múltiplos pratos (disk pack)
  - Vários pratos empilhados e centrados
  - Para cada prato, um cabeçote de leitura/escrita (braço móvel)
  - Cilindro: conjunto de trilhas de mesmo número em pratos diferentes

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A maioria dos discos é composta de vários pratos empilhados na vertical. Cada superfície tem seu próprio braço e cabeçote.
- Os braços são agrupados de modo que todos se movimentem para diferentes posições radiais ao mesmo tempo. O conjunto de trilhas em uma dada posição radial é denominado **cilindro**.

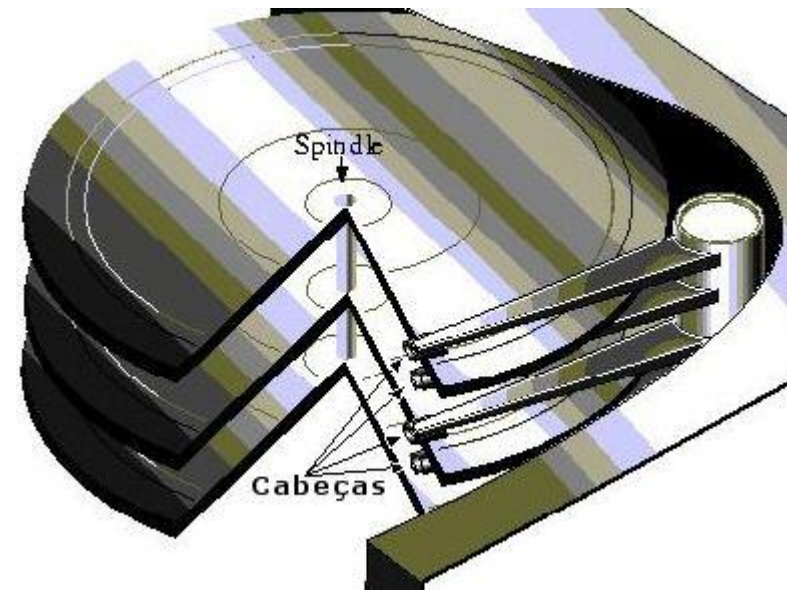


# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- A maioria dos discos é composta de vários pratos empilhados na vertical:



# DESEMPENHO DO DISCO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Para ler/escrever dados é necessário que o cabeçote de leitura e escrita esteja posicionada na trilha e no início do setor desejados.
- O desempenho do disco depende de vários fatores. Para ler ou escrever um setor, primeiro o braço deve se deslocar até a posição radial correta.



# DESEMPENHO DO DISCO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Essa ação é denominada busca (**seek**). Tempos médios de busca (entre trilhas aleatórias) estão na faixa de 5 a 10 ms.
- Logo que o cabeçote estiver posicionado radialmente, há um atraso, denominado **latência rotacional**.
- O tempo de transferência depende da densidade linear e da velocidade de rotação.

# DESEMPENHO DO DISCO



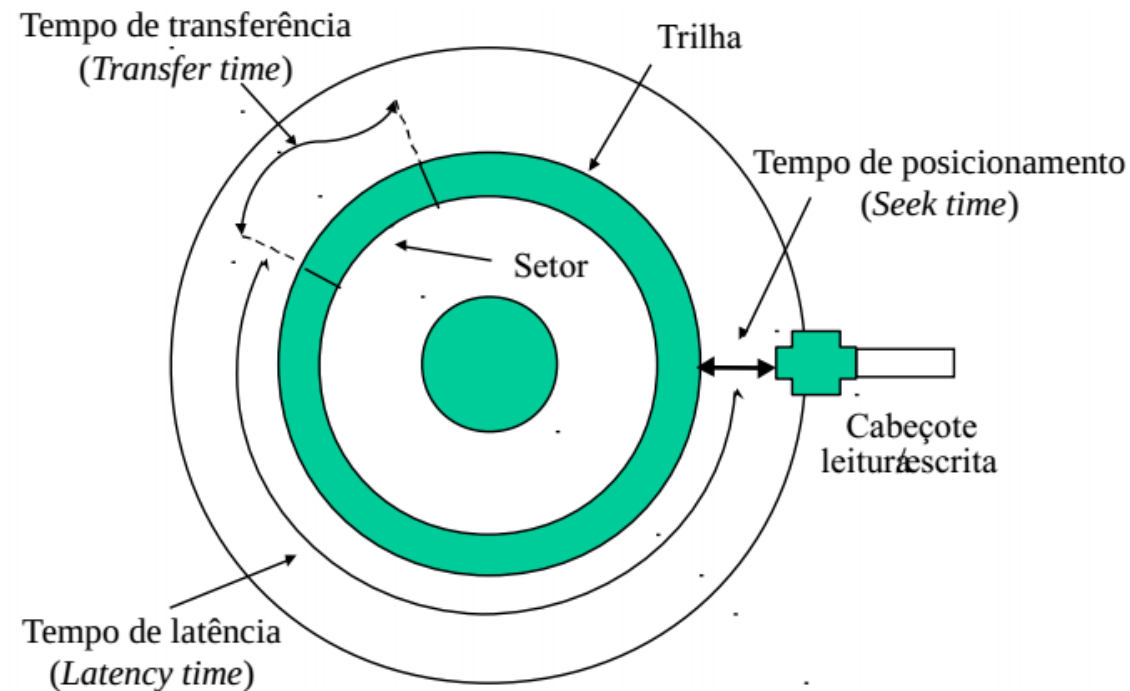
UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Três tempos envolvidos:
  - Tempo de posicionamento (*seek time*)
    - Tempo necessário para posicionar o cabeçote de leitura/escrita na trilha desejada
  - Tempo de latência rotacional
    - Tempo necessário para atingir o início do setor a ser lido/escrito
  - Tempo de transferência
    - Tempo para escrita/leitura efetiva dos dados

# TEMPORIZAÇÃO DO ACESSO AO DISCO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ



$$t_{\text{acesso}} = t_{\text{seek}} + t_{\text{latência}} + t_{\text{trasnf}}$$

# TEMPO DE POSICIONAMENTO (SEEK)



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Possui duas componentes:
  - Tempo de acionamento e aceleração do braço do cabeçote
  - Tempo de deslocamento até a trilha desejada
- Tempo médio de seek
  - Dado fornecido pelo fabricante
  - 5 a 10 ms (tecnologia anos 2000-2010)

# TEMPO DE LATÊNCIA ROTACIONAL



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Definido pela velocidade de rotação do motor
- Considera-se o tempo médio
  - Metade do tempo de uma rotação
  - A maioria dos discos gira a 5.400 RPM, 7.200 RPM, 10.800 RPM ou 15.000 RPM, portanto, o atraso médio (meia rotação) é de 3 a 6 ms.

# TEMPO DE TRANSFERÊNCIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Tempo de transferência de dados de/para disco depende da velocidade de rotação

$$T = \frac{b}{rN}$$

- $T$  = tempo de transferência
- $b$  = número de bytes a serem transferidos
- $N$  = número de bytes em uma trilha
- $r$  = velocidade de rotação, número de rotações por segundo

# TEMPO MÉDIO DE ACESSO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Tempo médio de acesso é dado por:

$$T_{\text{acesso}} = t_{\text{seek\_médio}} + \frac{1}{2r} + \frac{b}{rN}$$

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA

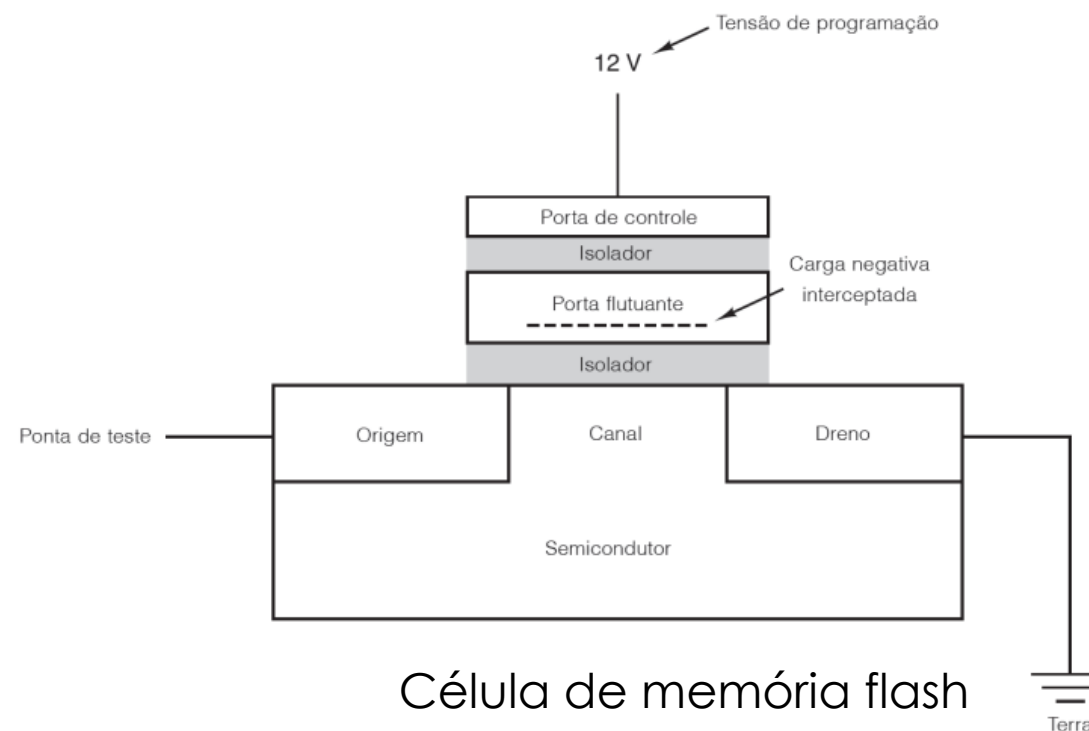


UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Discos feitos de memória flash não volátil, geralmente denominados discos em estado sólido (SSDs – Solid-State Disks).
  - Os discos flash são compostos de muitas células de memória flash em estado sólido



SSD





# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Vantagens do SSD em relação ao HD
  - O drive é 3 vezes menor, ou seja, ocupa pouco espaço
  - É totalmente silencioso e mais rápido (chega a ser 5 vezes mais veloz que um HDD)
  - É ideal para quem necessita de velocidade, pois carrega programas e arquivos rapidamente e melhora a performance do sistema
  - Não possui uma grande estrutura de discos mecânicos
  - É mais resistente em caso de queda, mas isso não quer dizer que seja indestrutível
  - Utiliza menor temperatura e menos consumo de eletricidade

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

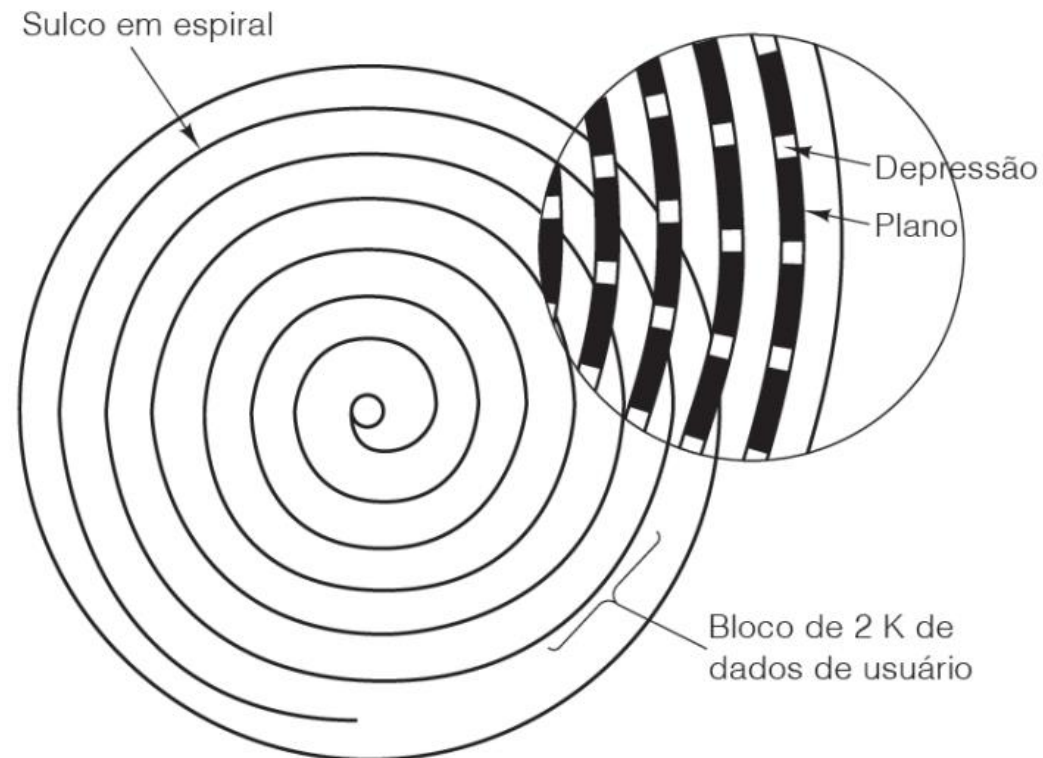
- Desvantagens do SSD em relação ao HD
  - Preço alto, armazenamento baixo
  - Vida útil: toda vez que a memória recebe uma nova gravação (uma nova tensão elétrica), a célula vai perdendo um pouco a capacidade de segurar a carga elétrica. Depois de uma quantidade de vezes que isso ocorre, a memória “morre”.
  - Por ser uma tecnologia recente, é difícil de saber como será seu comportamento por um longo tempo

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA: CD-ROM



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- O formato básico de um CD-ROM consiste em codificar cada byte em um símbolo de 14 bits

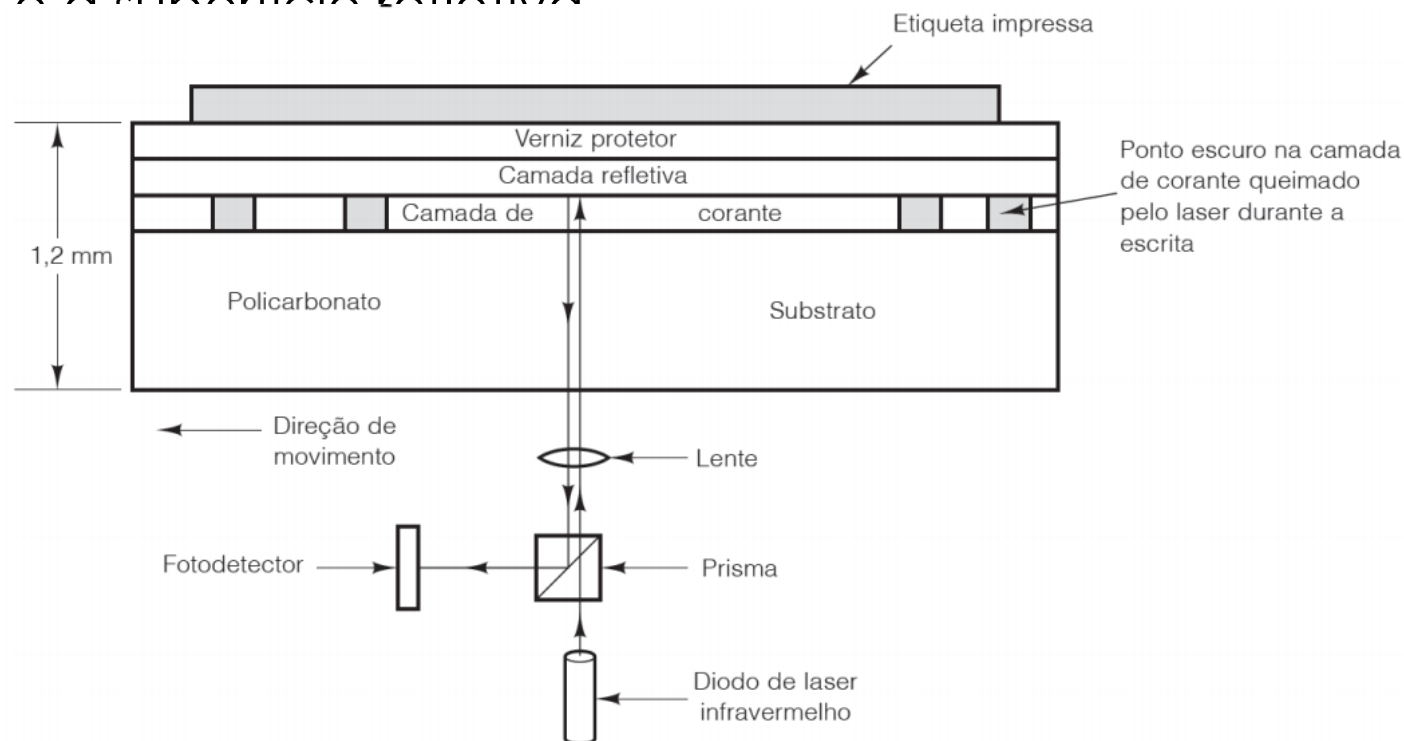


# MEMÓRIA SECUNDÁRIA: CD-ROM



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Nos CD-Rs são graváveis e as diferentes refletividades das depressões e dos planos têm de ser simuladas. Isso é feito com a adição de uma camada de corante entre o policarbonato e a superfície refletiva.



# MEMÓRIA SECUNDÁRIA: CD-ROM



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Uma tecnologia disponível agora é o **CD-RW** (CDs regraváveis), que usa um meio do mesmo tamanho do CD-R
- Contudo, o CD-RW usa uma liga de prata, índio, antimônio e telúrio para a camada de gravação
- Essa liga tem dois estados estáveis: cristalino e amorfo, com diferentes refletividades

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA: CD-ROM



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

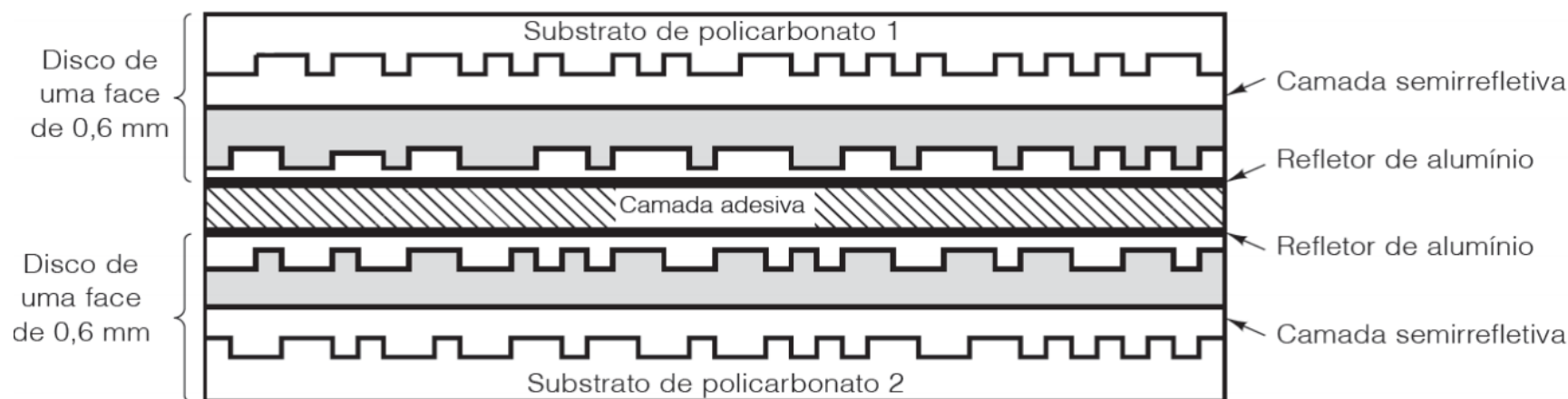
- Lasers com três potências diferentes:
  - Alta potência: o laser funde a liga fazendo-a passar do estado cristalino para o estado amorfo;
  - Potência média: a liga se funde e volta a seu estado natural cristalino para se tornar novamente um plano;
  - Baixa potência: o estado do material é sondado (para leitura), mas não ocorre qualquer transição de fase;
- Uma combinação de tecnologia e demanda por três indústrias imensamente ricas e poderosas resultou no **DVD**

# MEMÓRIA SECUNDÁRIA: DVD



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- Disco de DVD de dupla face, dupla camada



- O DVD mal acabara de ser lançado e seu sucessor já ameaçava torná-lo obsoleto
- O Blu-ray (raio azul), assim chamado porque usa um laser azul, em vez do vermelho usado por DVDs

# REFERÊNCIAS



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

- TANENBAUM, A. S. Organização Estruturada de Computadores. Editora LTC, 5 ed, Rio de Janeiro, 2007.
- STALLINGS, W. Arquitetura e Organização de Computadores. Editora Prentice Hall, 5 edição, 2002.