



QXD-005 - Arquitetura de Computadores

# Memória Externa

Prof. Pedro Botelho

# Nas Aulas Passadas...

- Visão de Alto Nível do Computador
- Memória Cache
- Memória Interna
- Questão: Como armazenar **grandes quantidades** de dados e/ou de maneira **móvel**?

# Nesta Aula...

- Unidade de Disco Rígido (HDD)
- Unidade de Estado Sólido (SSD)
- Memória Óptica (CD, DVD e Blu-Ray)
- Fita Magnética



# Memória Externa

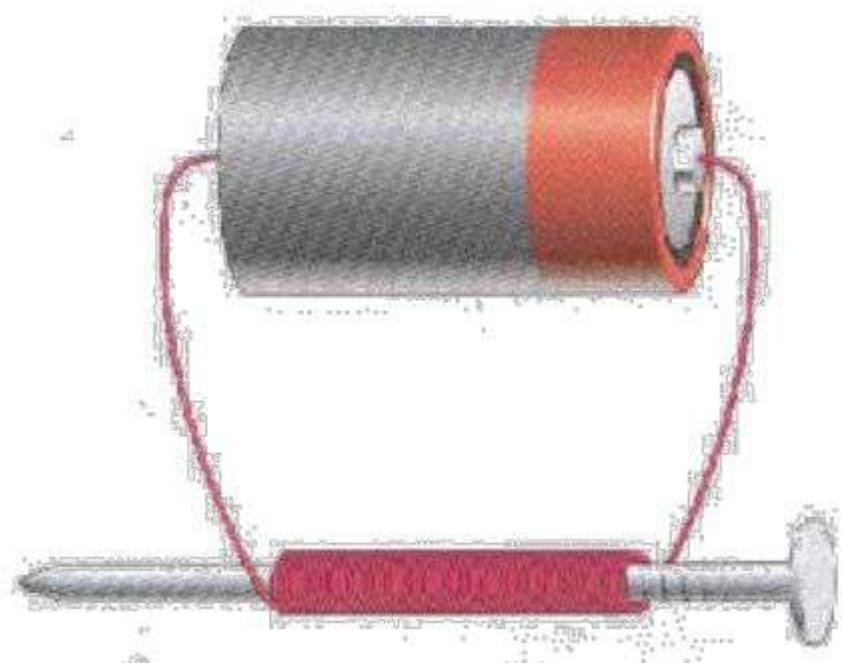
## Unidade de Disco Rígido (HDD)

# Disco Magnético

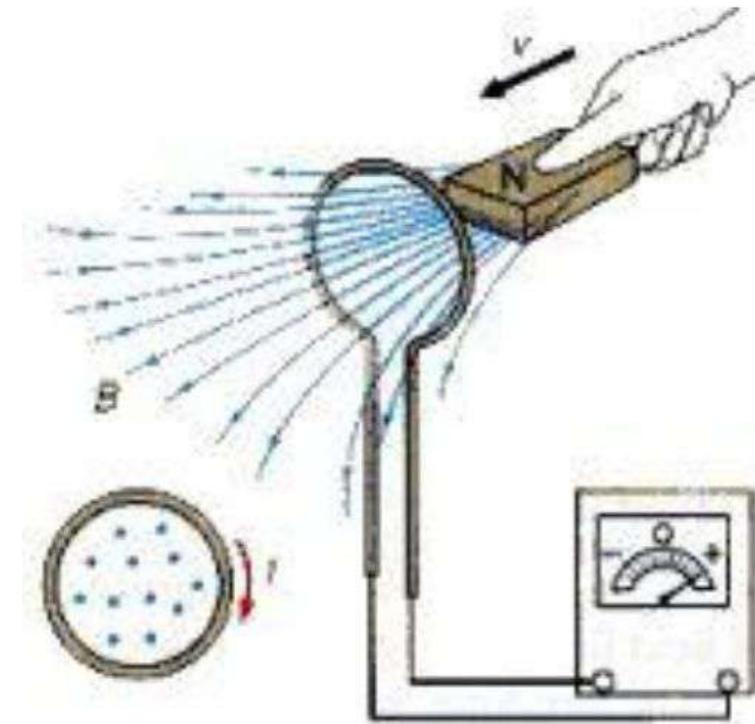
- Unidade principal da unidade de disco rígido (HDD): Memória externa mais comum
- Substrato de disco de material não magnético revestido com **material magnetizável**
- O substrato costumava ser alumínio: Agora é **vidro**
  - Uniformidade de superfície melhorada: Aumenta a confiabilidade
  - Redução de defeitos de superfície: Redução de erros de leitura/gravação
  - Alturas de *voo* mais baixas (veja mais adiante)
  - Melhor rigidez
  - Melhor resistência a choques/danos



# Física do Mecanismos de Leitura e Escrita



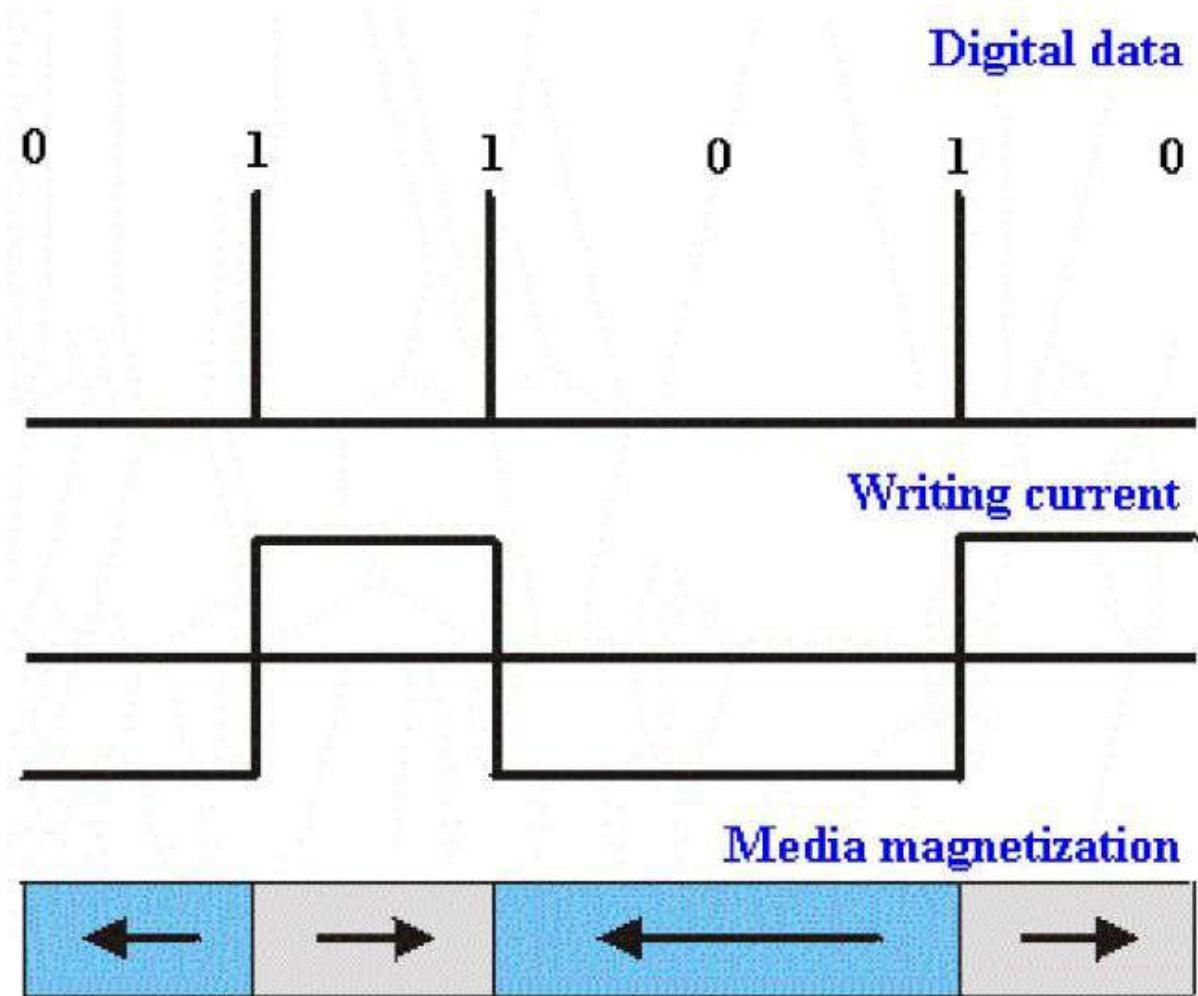
A **corrente** que flui através de uma **bobina** condutora cria um campo magnético que orienta os domínios magnéticos sobre o metal



Mudanças na intensidade do **campo magnético** induzem uma **corrente** em uma **bobina**

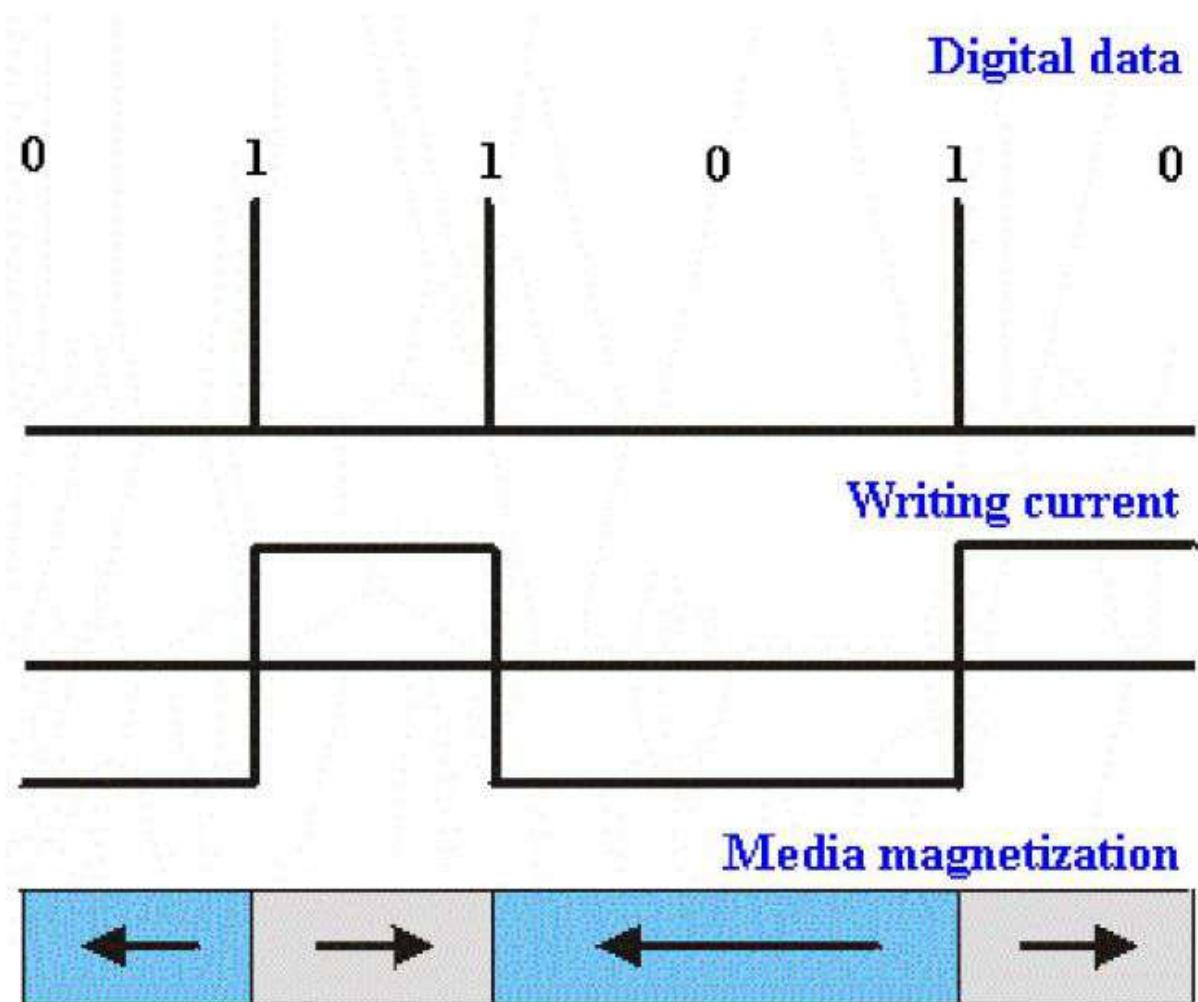
# Operação de Escrita

- O componente eletrônico do drive recebe **dados binários** e os converte em uma **corrente** que flui através da bobina.
- A  **de corrente muda em cada “1” e permanece inalterada em cada “0”**
- A interação com o meio **, cuja direção depende da direção da corrente na bobina**
- Comportamento visual do mecanismo



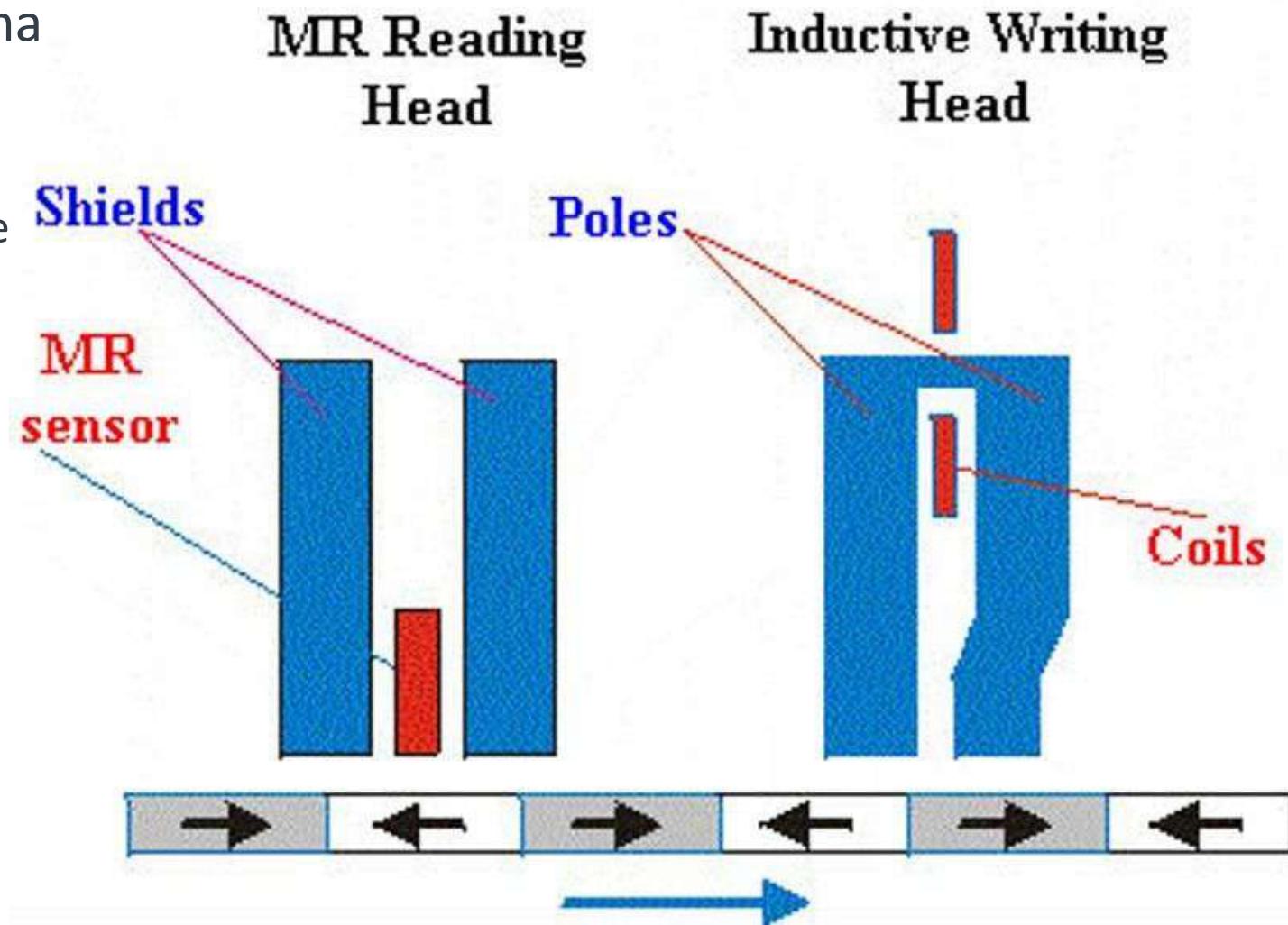
# Operação de Leitura (Tradicional)

- A mesma bobina para leitura e escrita
- A variação do campo magnético devido ao movimento relativo à bobina produz corrente
- A direção da corrente induzida indica o dado registrado
- Comportamento visual do mecanismo

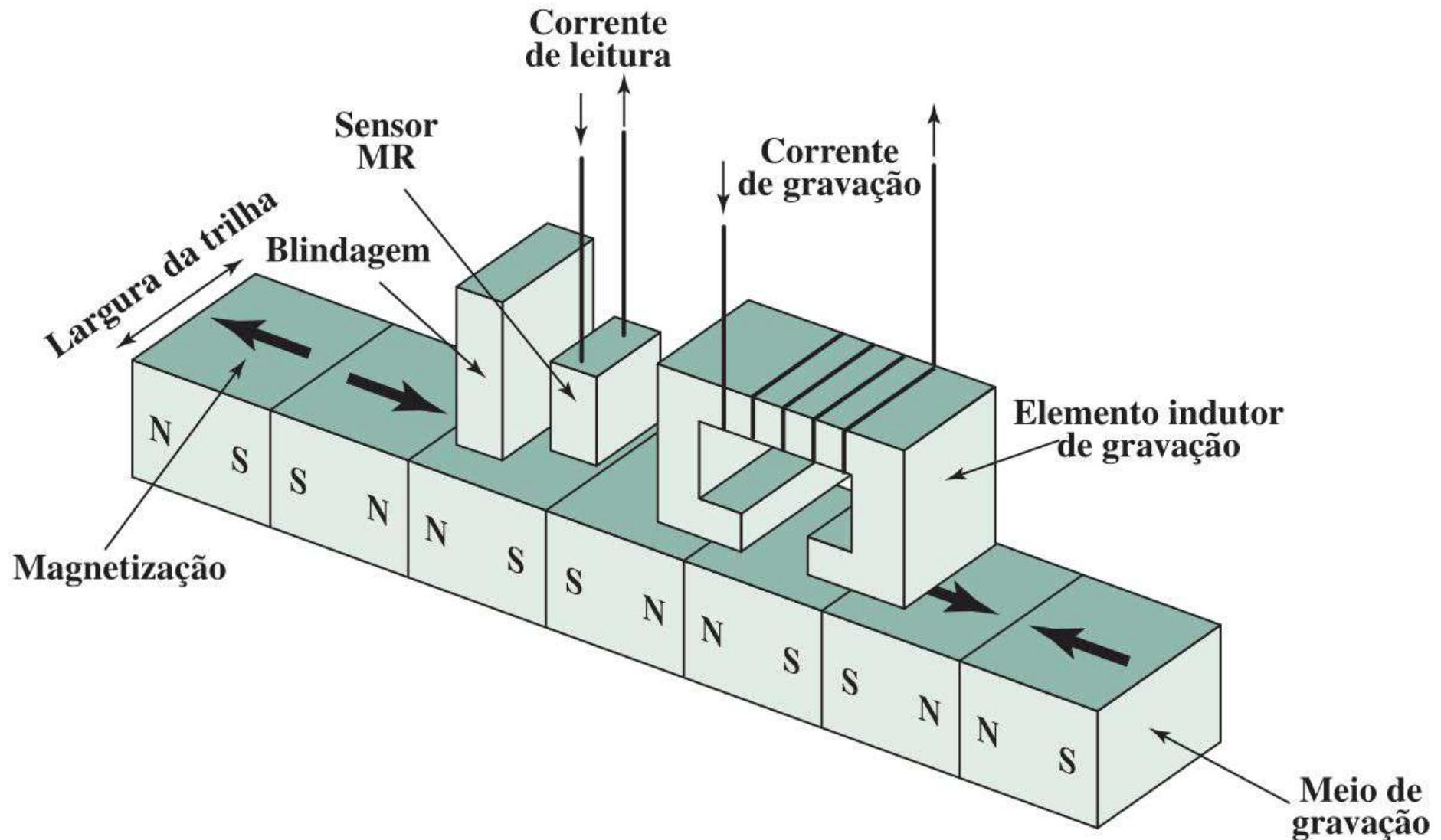


# Operação de Leitura (Moderno)

- Cabeça de leitura **separada**, próxima à cabeça de gravação
  - Bobina de gravação gera um campo magnético no espaço entre os polos e magnetiza a mídia abaixo
- **Sensor magnetoresistivo (MR)** parcialmente blindado
  - Resistência elétrica depende da **direção do campo magnético**
- Operação de **alta frequência**
  - Maior densidade e velocidade de armazenamento
  - Mais resistente à ruído

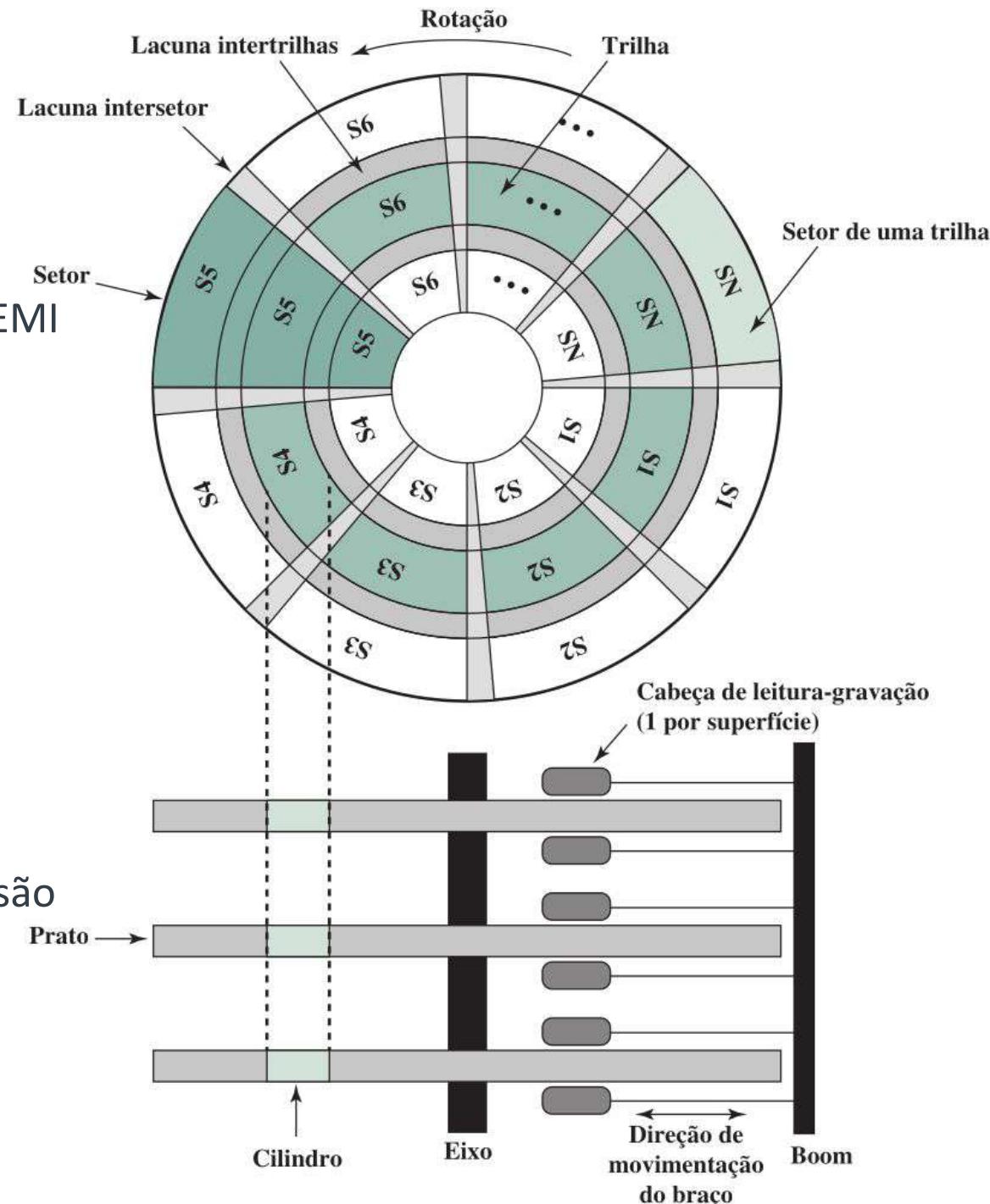


# Estrutura da Cabeça de Leitura e Escrita



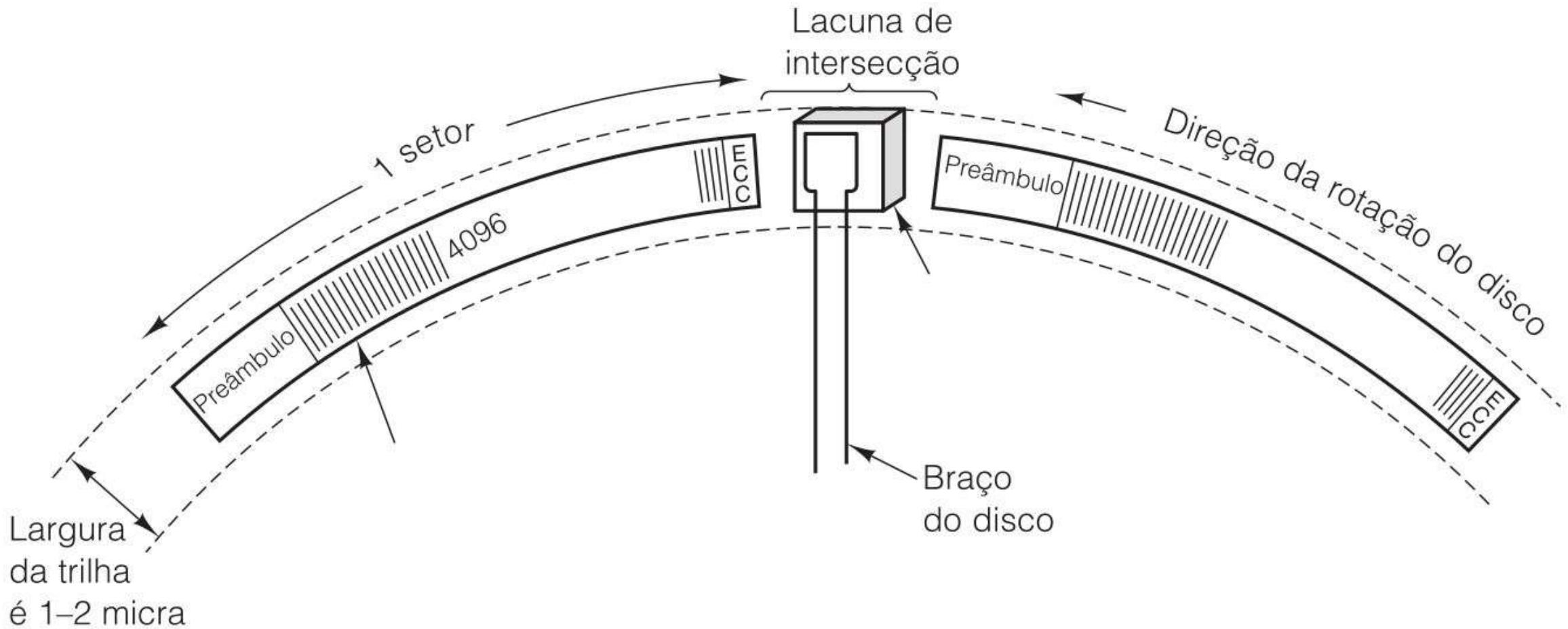
# Layout do Disco

- Faixas, ou **trilhas**, concêntricas
  - Lacunas entre as trilhas: Erros de alinhamento e EMI
  - Reduzir a lacuna para aumentar a **capacidade**
  - **Mesmo número de bits** por trilha (densidade de compactação variável)
  - Velocidade angular constante (CAV)
- Trilhas divididas em setores
  - Tamanho de bloco mínimo é de um setor (512B)
  - Pode haver mais de um setor por bloco
  - Lacunas entre setores: Menor requisitos de precisão



# Percorrendo uma Trilha do Disco

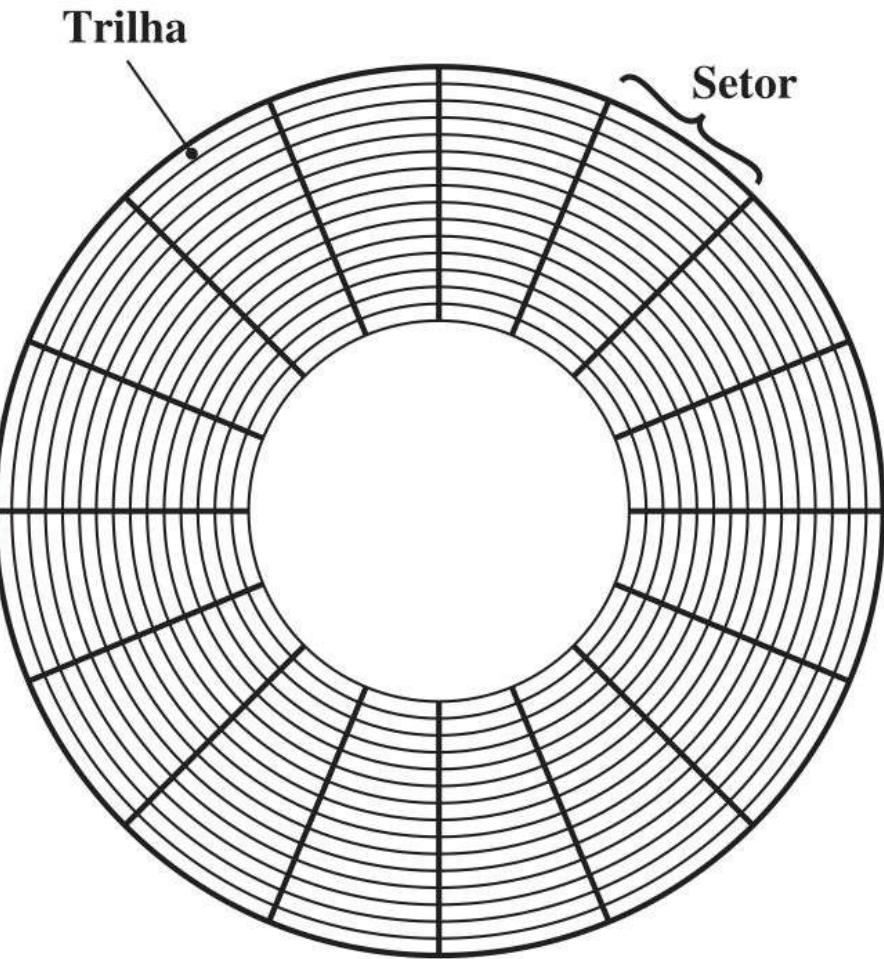
- Cabeça percorre uma trilha setor-a-setor:



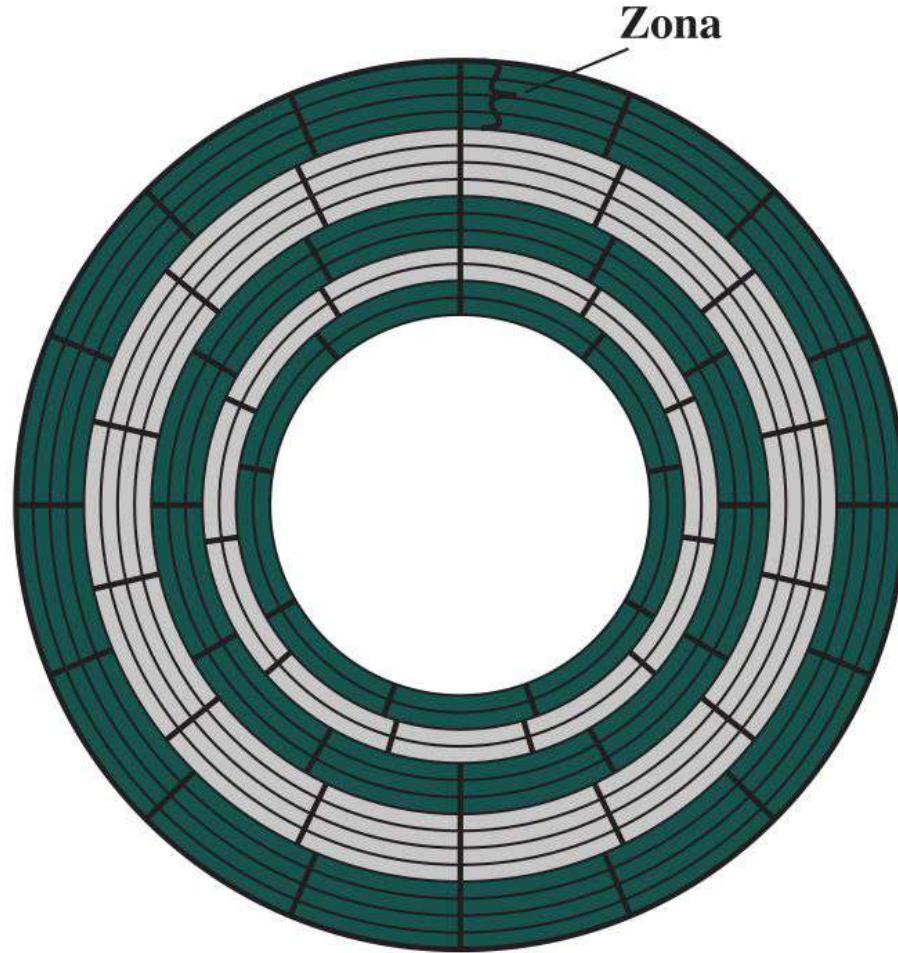
# Velocidade do Disco

- Um bit próximo ao centro do disco giratório passa por um ponto fixo mais lentamente do que um bit na parte externa do disco
  - Solução: Espaçamento variável entre bits (maior em trilhas externas)
- O disco gira em velocidade angular constante (CAV)
  - Fornece setores em formato de torta e trilhas concêntricas
  - **Vantagem:** Trilhas e setores individuais endereçáveis
    - Mover a cabeça para a trilha fornecida e esperar pelo setor fornecido
  - **Desvantagem:** Desperdício de espaço em trilhas externas (menor densidade de dados)
- Pode usar **zonas** para aumentar a capacidade: Geralmente 16
  - Dentro de uma zona: Bits por trilha são constantes
  - Zonas mais distantes do centro contêm mais setores: Circuitos mais complexos
  - Densidade linear de bits é aproximadamente a mesma em todas as trilhas

# Métodos de Layout do Disco

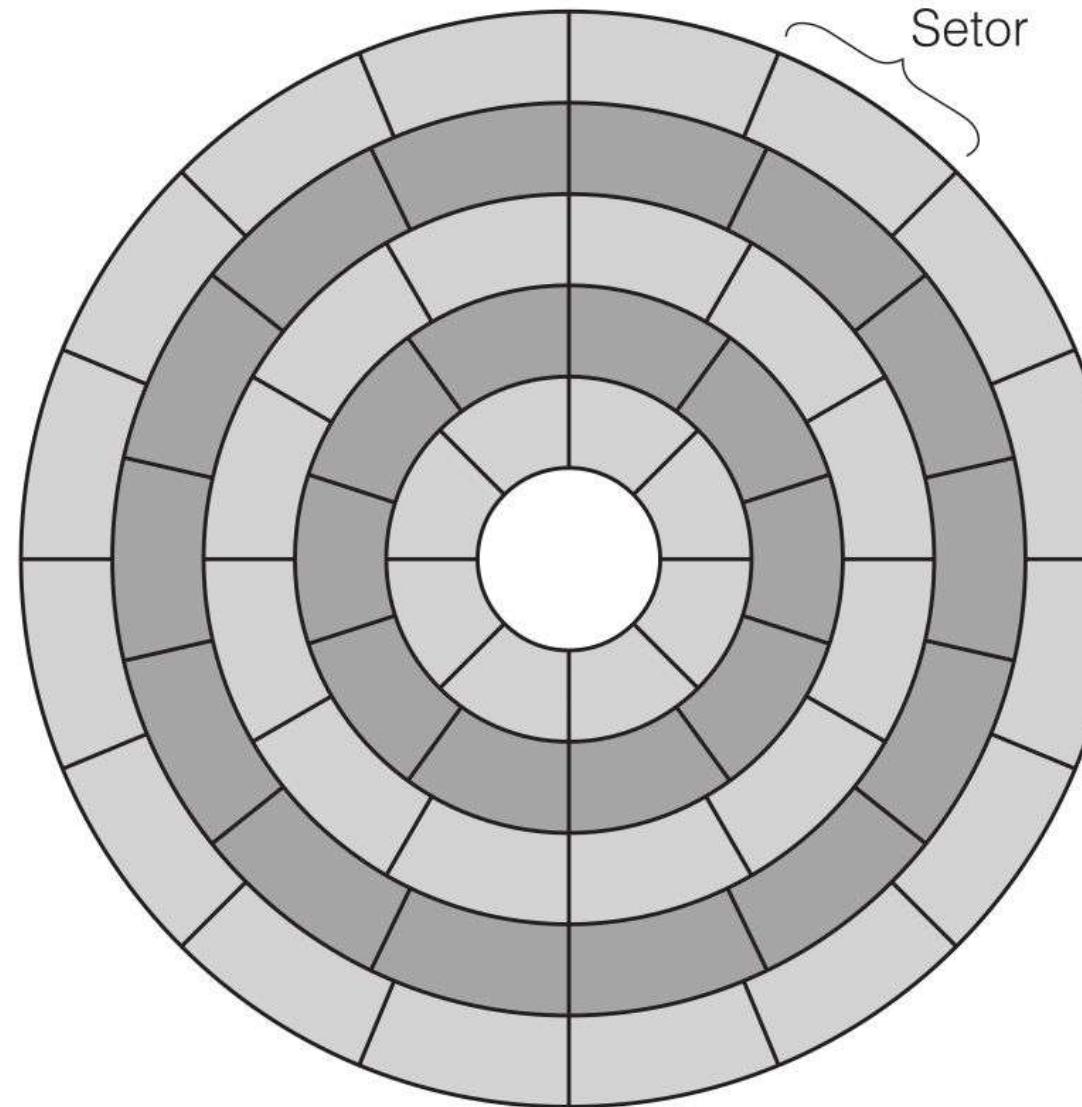


(a) Velocidade angular constante



(b) Gravação em múltiplas zonas

## Exemplo: Disco com 5 zonas

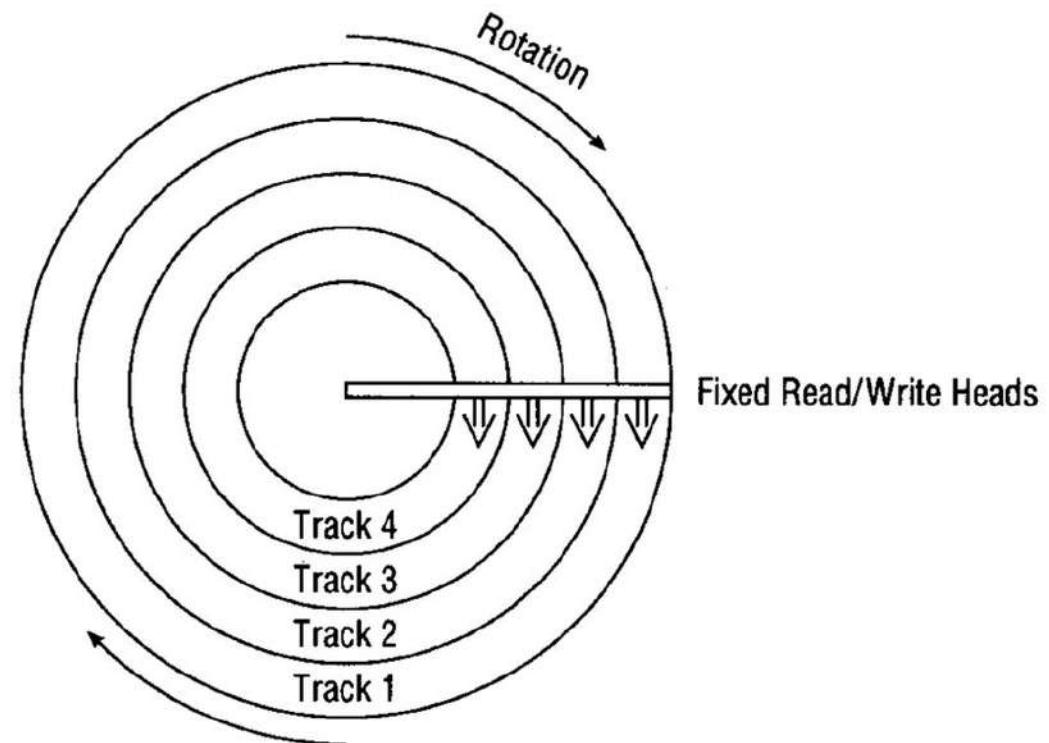


# Características do Disco Rígido

- Cabeça fixa (rara) ou móvel
- Discos removíveis (obsoleto) ou fixos
- Discos de uma ou duas (mais comum) faces
- Prato único ou múltiplos
- Mecanismo da cabeça:
  - Contato (disquete)
  - Lacuna fixa
  - Lacuna aerodinâmica (Winchester)

# Disco de Cabeça Fixa/Móvel

- **Cabeça fixa:** Uma cabeça de leitura por trilha
  - Cabeças montadas sobre braço rígido fixo
- **Cabeça móvel:** Uma cabeça de leitura e escrita por lado
  - Montada sobre um braço móvel



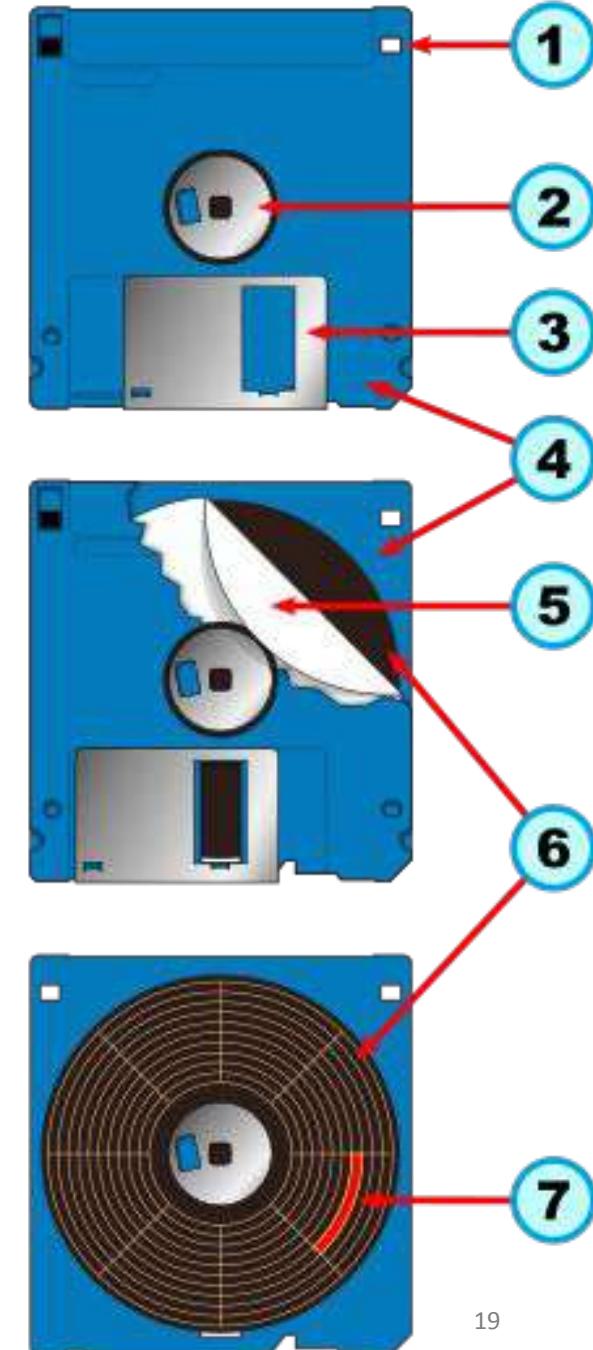
# Disco Removível ou não

- **Disco removível:** Pode ser removido da unidade e substituído por outro disco
  - Oferece capacidade de armazenamento ilimitada
  - Transferência de dados fácil entre sistemas
  - Exemplo: Disquete
- **Disco não removível:** Montado permanentemente na unidade
  - Exemplo: Disco rígido
- Mas atenção, o disco em si é montado em um *drive* (unidade) de disco
  - Um HD Externo é uma **unidade de disco removível**
  - Um Disquete é um **disco removível** : Inserido em uma unidade de disco



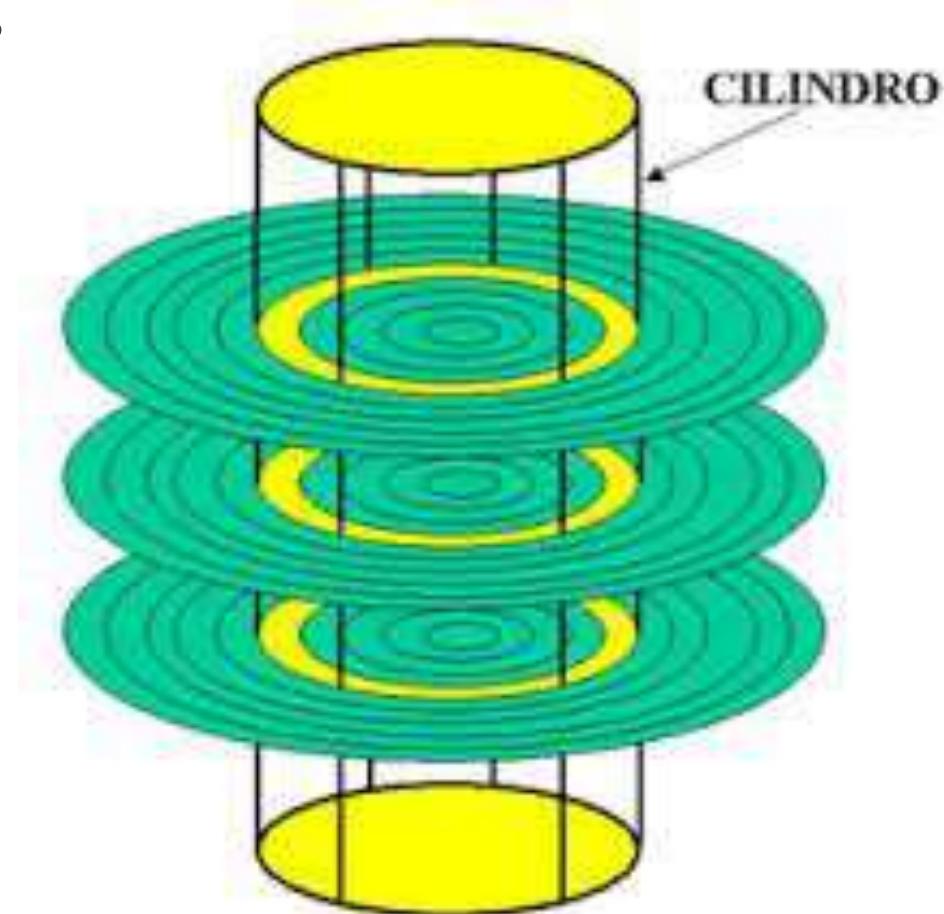
# Disquetes (Floppy)

- Disco magnético fino, flexível e removível
- Várias versões: 8", 5,25", 3,5"
- Pequena capacidade: Até 1,44 MB (2,88 MB nunca foi popular)
- Barato, porém lento e obsoleto



# Múltiplos Pratos

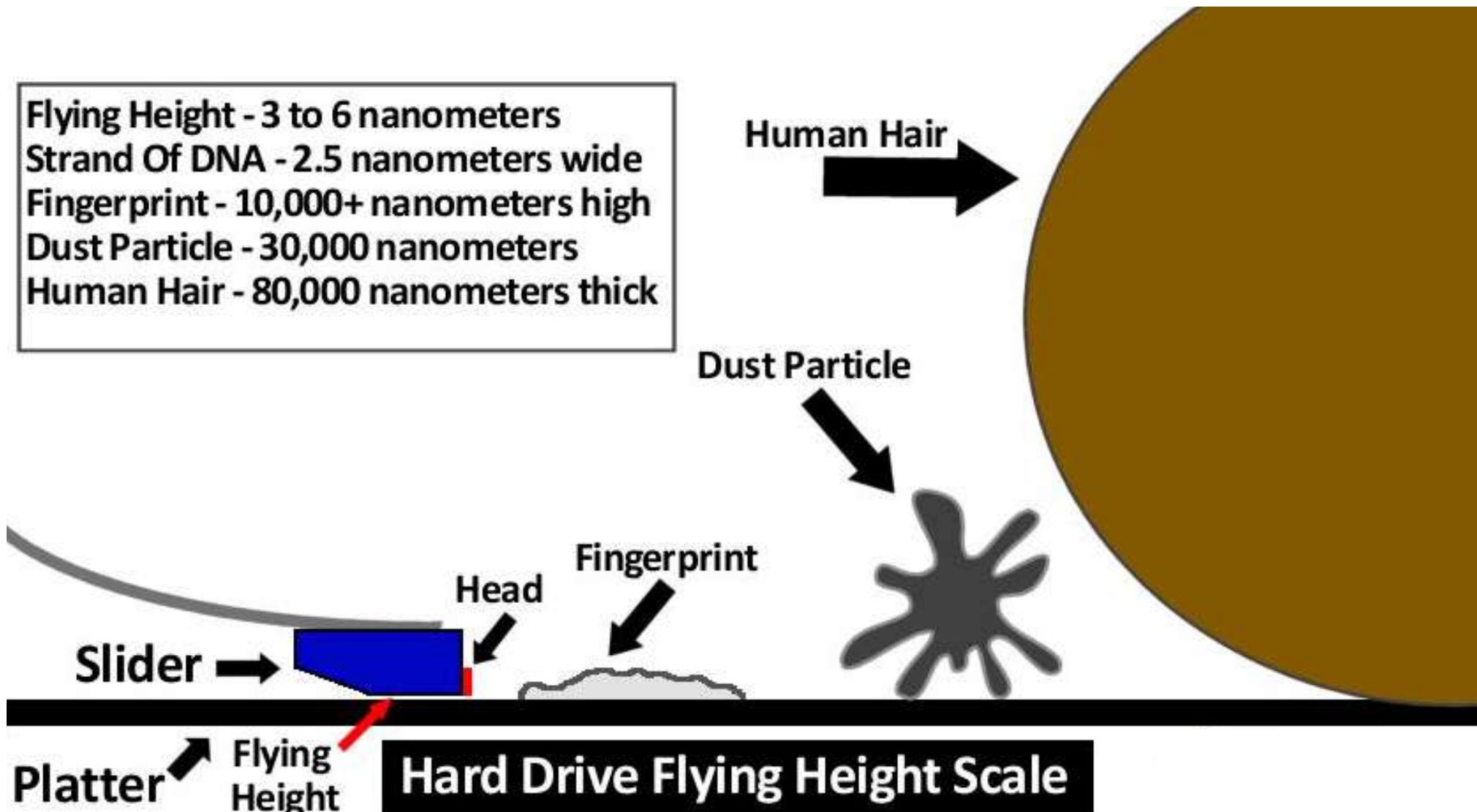
- Uma cabeça por lado: Cabeças são unidas e alinhadas
  - Trilhas alinhadas em cada prato formam **cilindros**
- Dados são espalhados pelo cilindro:
  - Reduz movimento da cabeça
  - Aumenta velocidade (taxa de transferência)



# Mecanismo da Cabeça

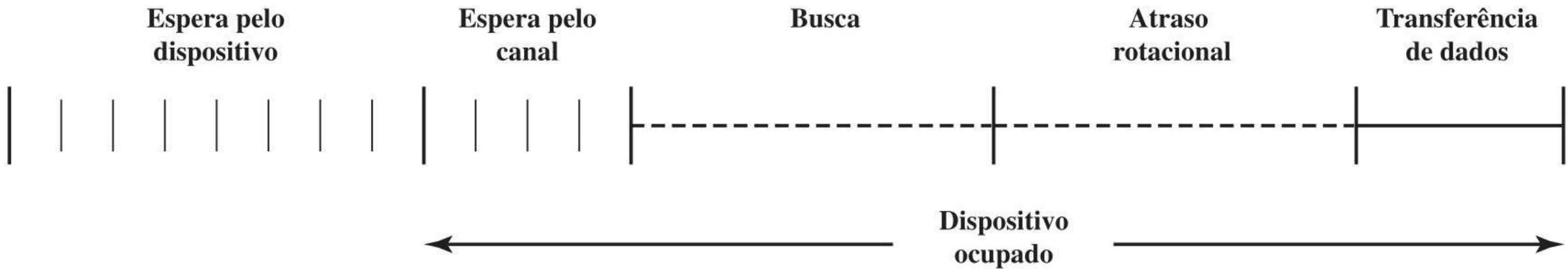
- *Wallace Spacing Loss Factor*: Cabeça deve estar o mais próximo da superfície
  - “A perda da potência de um sinal magnético é proporcional a distância.”
- **Espaçamento Fixo**: Lacuna de ar entre a cabeça e a superfície
- **Contato (*Floppy*)**: Reduz o espaçamento, sendo o disco flexível
- **Voador (Winchester)**: A cabeça *voa* próxima à superfície
  - Quanto mais perto da superfície: Mais sujeito a erros (detritos, poeira)
  - Disco parado: Cabeça é uma “folha” que se apoia no disco
  - Disco em movimento gera pressão suficiente para a folha subir
  - Permite cabeças mais estreitas (e trilhas, com densidade maior) e mais próximas da superfície
  - [Ver animação gráfica do mecanismo](#)

# Mecanismo da Cabeça Voadora



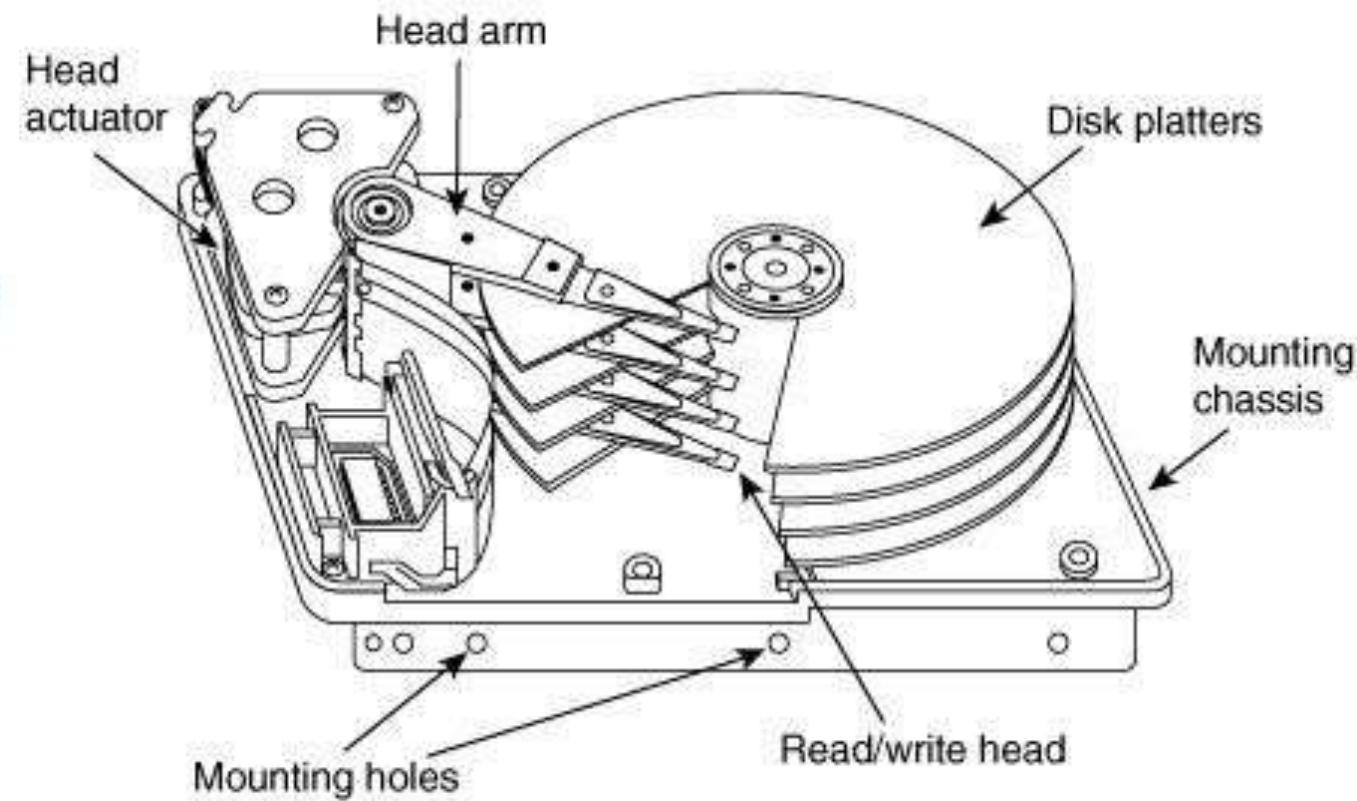
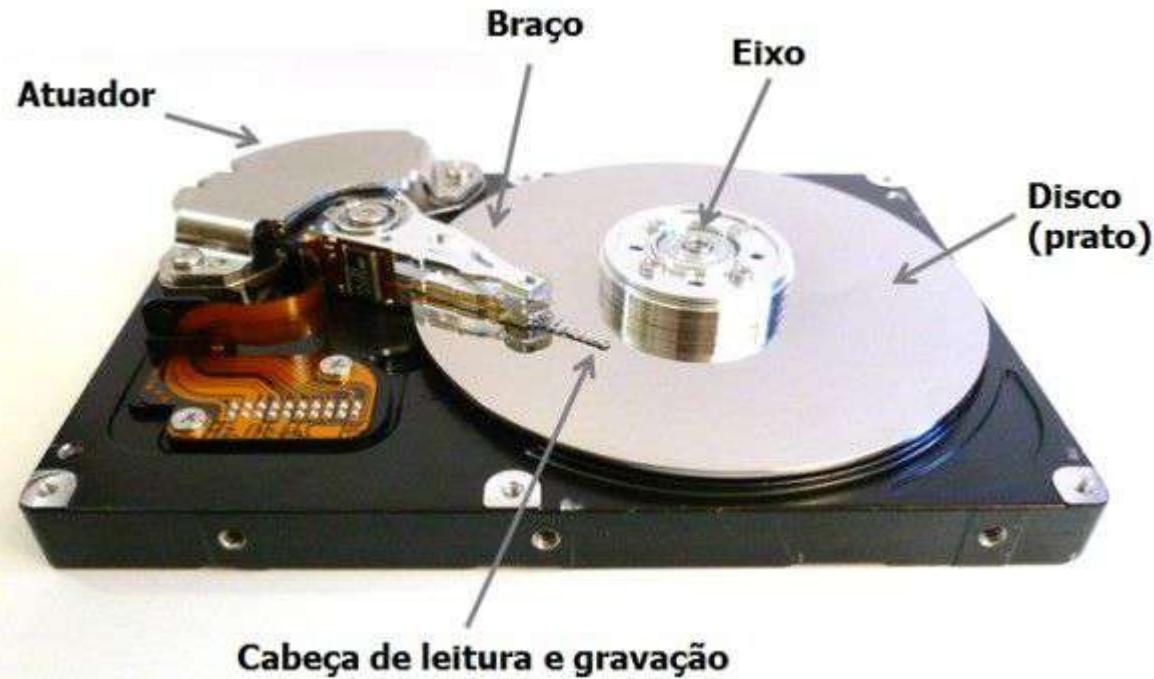
# Velocidade de Transferência do Disco

- **Tema de Busca (*Seek*):** Tempo para mover a cabeça para o caminho correto
- **Latênciam Rotacional:** Tempo que o disco leva para girar de modo que o setor desejado fique sob a cabeça de leitura/gravação
- **Tempo de Transferência:** Tempo que leva para transferir os dados
  - Uma vez que a cabeça de leitura/gravação é posicionada sobre os dados
- Tempo de acesso então é dado pelas tempos de Busca + Latênciam + Transferência



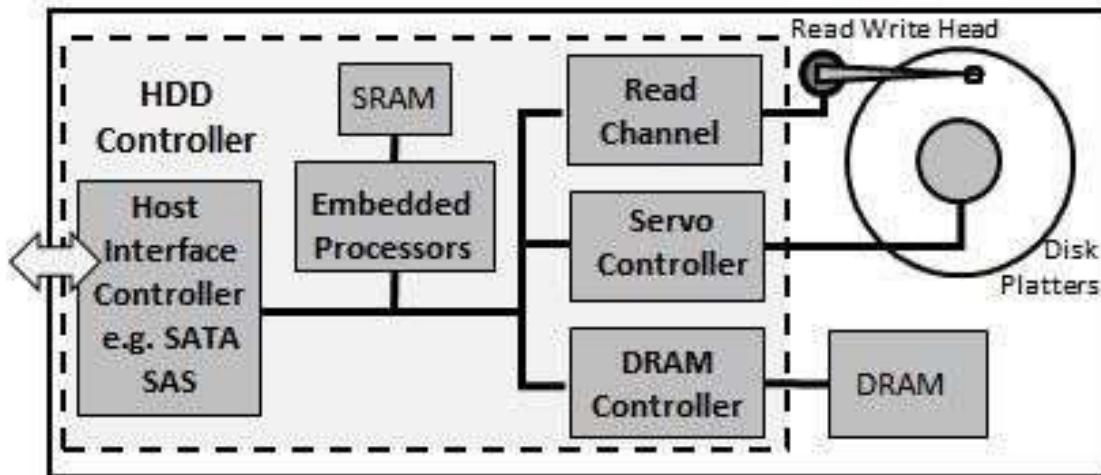
# Estrutura de uma Unidade de Disco Rígido (HDD)

- Geralmente possuem:
  - Cabeça móvel e voadora
  - Múltiplos pratos fixos, com dois lados cada



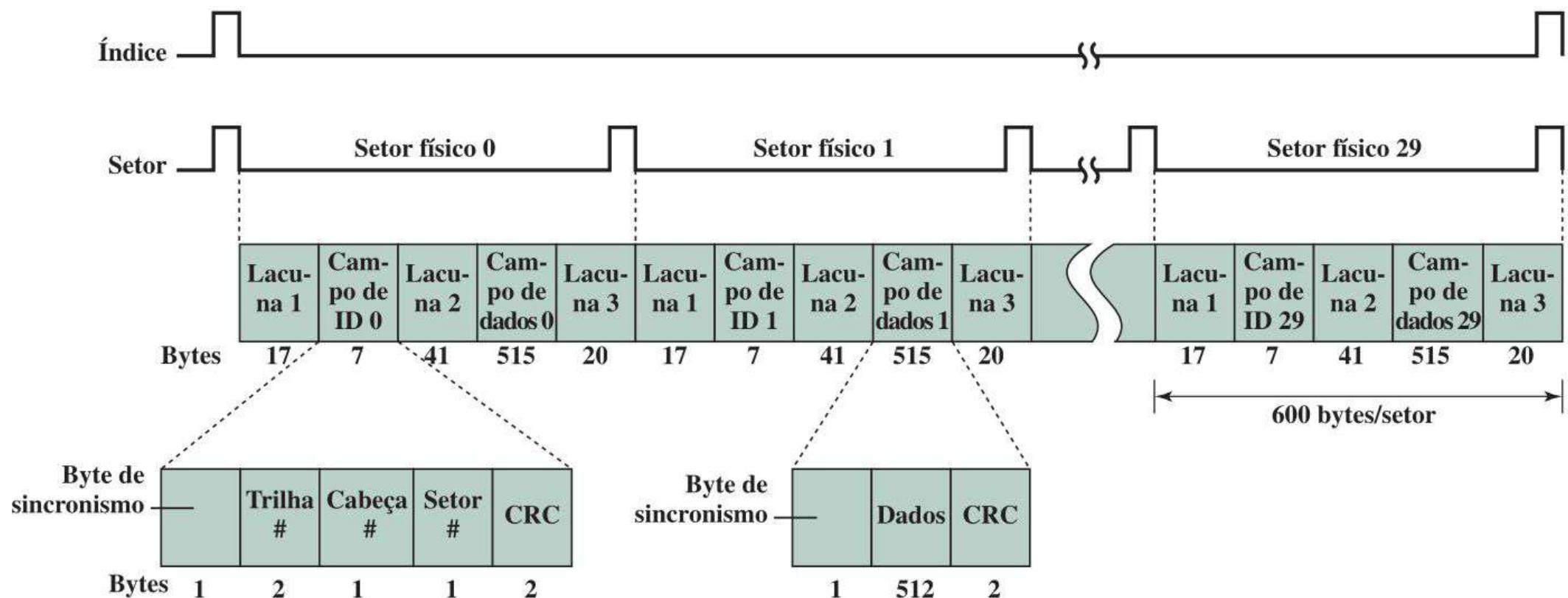
# Controladora do Disco

- Embarcada à unidade de disco: **Interface** entre a CPU e a unidade
- Geralmente possui uma **cache interna**: Mantém dados recentemente acessados
  - Mitiga o gargalo do acesso ao disco: Muito mais lento que a CPU
- Dados acessados diretamente da cache em operações de leitura e escrita
  - Operação de **Escrita**: Dados colocados na cache antes da transferência
  - Operação de **Leitura**: Dados acessados da cache após a transferência



# Porção de uma Trilha do Disco

- Controladora do disco deve ser capaz de identificar início da **trilha e setor**
- Formatar disco com informações adicionais não disponíveis ao usuário
  - Marca trilhas e setores
  - Ex: Seagate ST506, 30 setores de 600B, com 512B de dados por setor

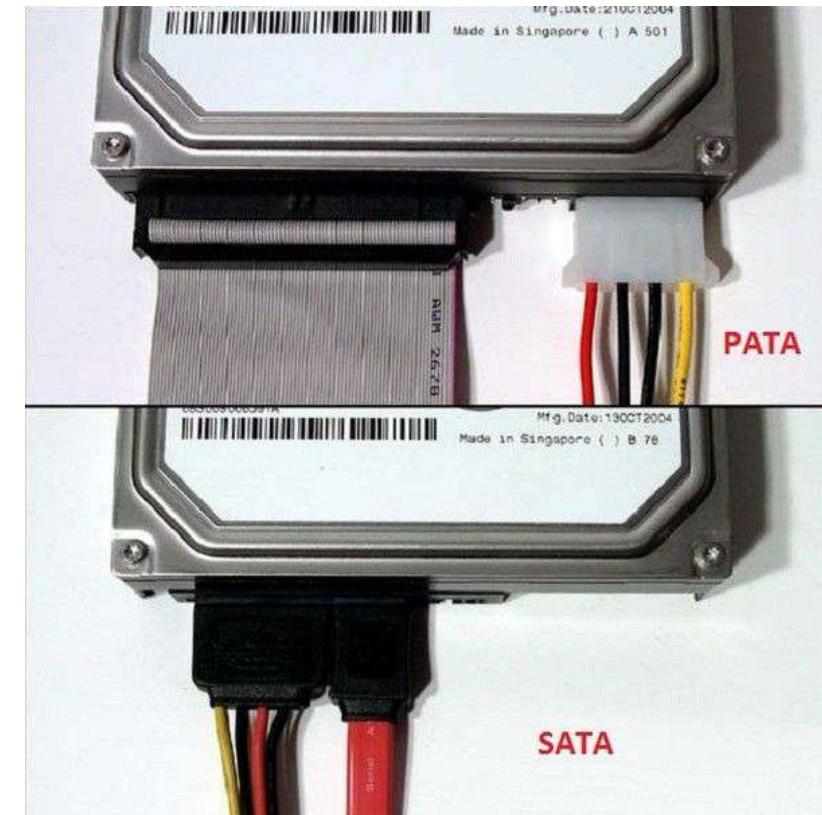


# Fragmentação

- Dados de um mesmo arquivo ficam espalhados em partes separadas no disco
  - Ao invés de estarem armazenados de forma contínua
  - O disco precisa buscar cada parte separadamente: Leitura fica mais lenta
- Dois tipos:
  - **Fragmentação de arquivos:** partes de um mesmo arquivo estão separadas
  - **Fragmentação de espaço livre:** o espaço livre está espalhado em pedaços pequenos, dificultando salvar arquivos grandes
- **Desfragmentação:** processo que reorganiza os dados para deixá-los contíguos no disco
- [Ver animação gráfica da desfragmentação](#)

# Interfaces de Comunicação

- **PATA / IDE (Parallel ATA):** Transmissão paralela de 16-bits
  - Baixa velocidade, com grande tamanho e cabos rígidos
- **SATA (Serial ATA):** Transmissão serial ponto-a-ponto em dois pares de fios
  - Dispositivos e cabos menores: Permite **hot swap** (substituir HD sem precisar desligar o computador)
  - Taxas de transferência teóricas:
    - **SATA I:** 1.5 Gbps ( $\approx$ 150 MB/s)
    - **SATA II:** 3 Gbps ( $\approx$ 300 MB/s)
    - **SATA III:** 6 Gbps ( $\approx$ 600 MB/s)



# Outras Interfaces de Comunicação

- **SAS (Serial Attached SCSI):** Transmissão serial **full duplex**
  - Substituiu o SCSI (Small Computer System Interface)
  - Compatível com SATA: Aplicável em servidores corporativos, data centers e ambientes RAID
  - Taxas por geração:
    - SAS 1.0: 3 Gbps
    - SAS 2.0: 6 Gbps
    - SAS 3.0: 12 Gbps
    - SAS 4.0: 22.5 Gbps
- **USB (Universal Serial Bus):** HD Externos usam um conversor SATA-USB
  - Permite até 5 Gbps no USB 3.0



# Estudo de Caso: HDD de 4TB

- Marca: Seagate (Modelo [ST4000DM004](#))
  - Interface: SATA 3.5"
- Capacidade: 4TB
  - Cache: 256MB
- Velocidade: 5400 RPM
  - Taxa de transferência da interface SATA: 600 MB/s
  - Taxa máxima de transferência de dados: 190 MB/s
- Bytes por setor: 4K físico emulado em setores de 512 bytes
  - Setores padrão por trilha: 63
  - Cabeças de leitura / gravação padrão: 16
- Valor médio: R\$ 699,00





# Memória Externa

## Únidade de Estado Sólido (SSD)

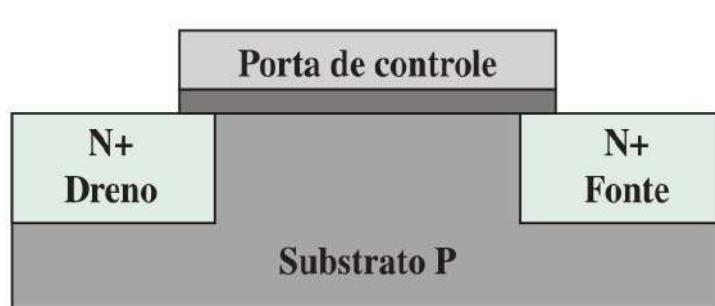
# Únidade de Estado Sólido (SSD)

- Complementar ou até mesmo substituir **unidades de disco rígido (HDDs)**
- O *estado sólido* refere-se a circuitos eletrônicos construídos com semicondutores
- Utiliza um tipo de memória semicondutora denominada **memória flash**
  - Anteriormente usava memória RAM (geralmente DRAM): **Volátil**
  - Dados precisavam ser copiados para memória não-volátil: Inclui uma **bateria** para manter a carga
- Introduzido pelo ScanDisk em 1991

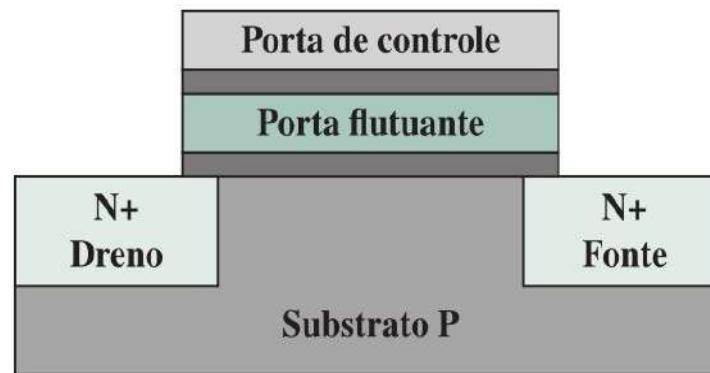


# Revisão de Memória Flash

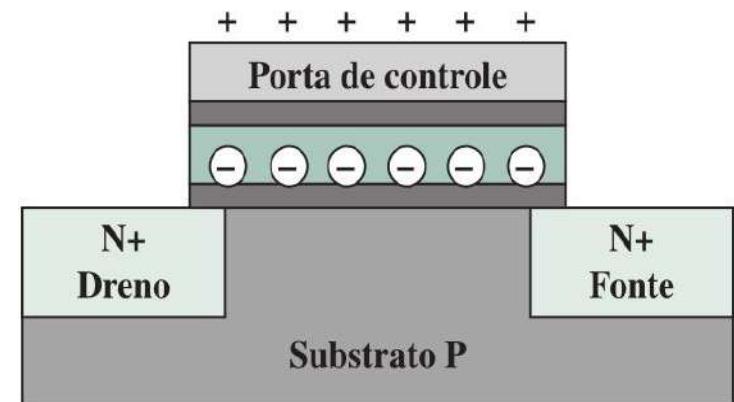
- Criado pela Toshiba na década de 1980 a partir de um **erro eletrônico** em transistores
  - Elétrons presos (portadora quente), ou não, mantém **dois estados**: Célula não-volátil
  - Impedem fluxo de elétrons (estado 0) ↔ Operação normal (estado 1)
- Alta densidade: Um transistor flash por bit
- Dois tipos: Usada tanto como memória interna e externa
  - **NAND**: Acesso em **blocos** (páginas), alta velocidade de **escrita**, mais **barato** (memória externa)
  - **NOR**: Acesso em **byte**, alta velocidade de **leitura**, mais **caro** (memória interna)



(a) Estrutura do transistor



(b) Célula de memória flash no estado 1



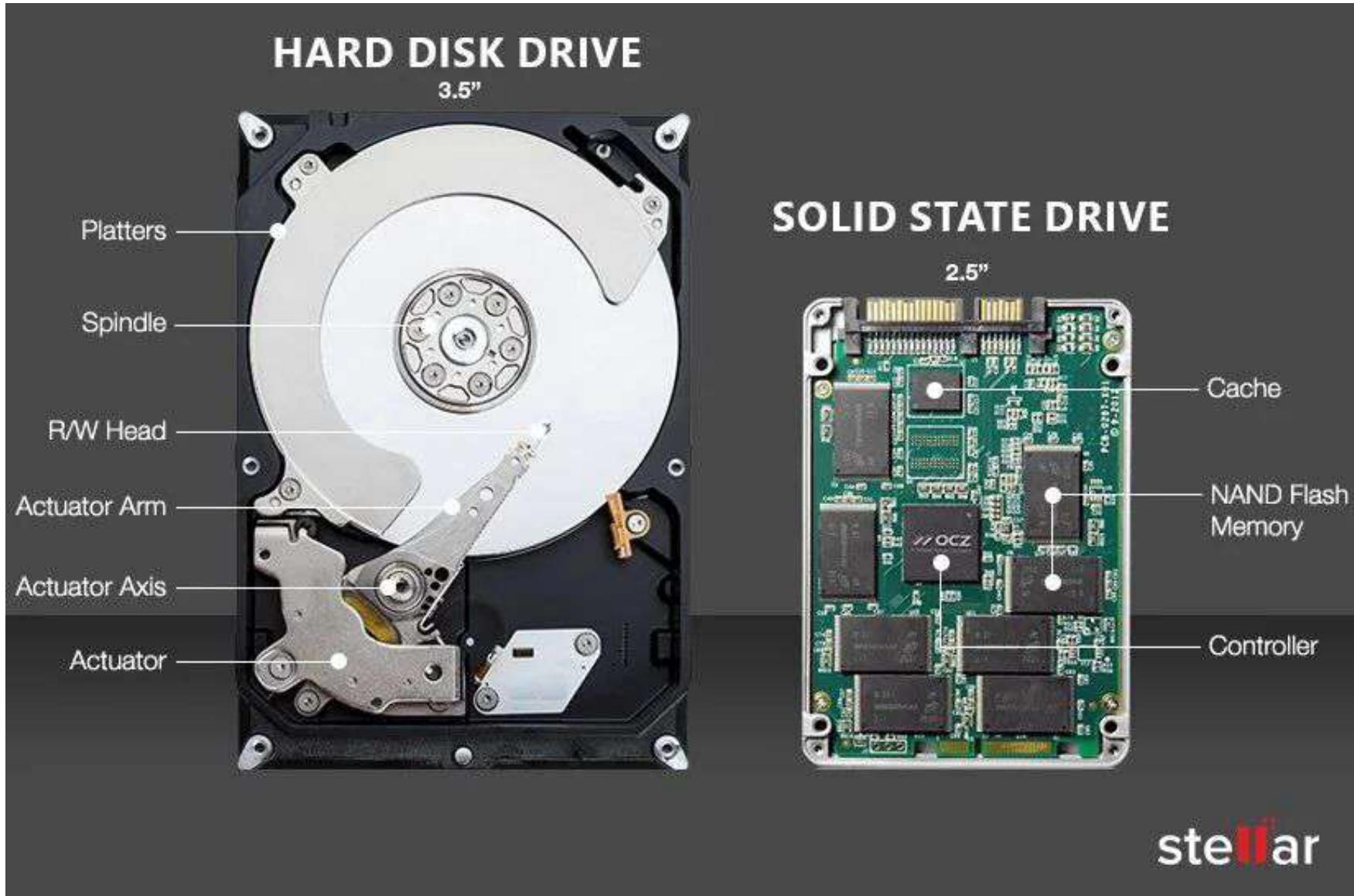
(c) Célula de memória flash no estado 0

# Padrões de Conexão em SSDs

- **SATA:** Interface antiga, criada originalmente para HDDs
  - Conectada por cabos SATA e de energia.
  - Velocidade máxima: ~600 MB/s (no SATA III).
  - Protocolo AHCI (mais lento, feito para HDs).
- **M.2 SATA:** Mesmo protocolo e velocidade do SATA III, mas em formato M.2 (sem cabos)
  - Mesmo desempenho do SATA III: Porém sem cabos
- **M.2 NVMe:** Usa o protocolo NVMe sobre o barramento PCIe e *slot* M.2
  - Pode usar PCIe x2, x4 ou mais lanes
  - Velocidades de até 7000+ MB/s (PCIe 4.0)
  - Baixa latência, ideal para sistemas que exigem alto desempenho
  - Protocolo NVMe (otimizado para SSDs, sendo muito mais rápido)



# Comparação de SSD e HDD



# Comparação de SSD e HDD

Parâmetros	HDD	SSD
<b>Custo</b>	Mais barato	De 4 a 20 vezes mais caro
<b>Tempo de Acesso</b>	5.5~8.0 ms	Menos de 0.1 ms
<b>Performance de Requisições de E/S</b>	Até 400 io/s	Até 6000 io/s
<b>Confiabilidade</b>	Taxa de falha de 2~5%	Taxa de falha de 0.5%
<b>Consumo de Energia</b>	Consome 6~5 W	Consome 2~5 W
<b>Fragilidade</b>	Mais frágil (partes mecânicas)	Mais resistente
<b>Tempo de Boot</b>	Mais de 30 segundos	Aproximadamente 8 segundos
<b>Desfragmentação</b>	Recomendada	Não recomendada

- SSD geralmente é melhor, porém HDDs possuem uma grande vantagem:
  - **Preço por GB mais baixo:** Se velocidade não é um requisito, HDDs vão ser uma melhor escolha
  - Portanto, SSDs para sistemas operacionais e aplicativos, e HDDs para arquivos e backup.

# Outras Unidades de Memória Flash



# Cartão SD (Secure Digital)

- Cartão de memória desenvolvido pela SD Association (SDA) para uso em dispositivos portáteis: Preço acessível
  - Compacto, leve, usa tecnologia NAND Flash e barramento serial (SPI)
- Existem três formatos:
  - SD: Padrão, usado em notebooks e câmeras
  - miniSD: Raro
  - microSD: Muito usado em celulares
- Capacidade varia conforme o tipo:
  - SD: até 2 GB
  - SDHC (High Capacity): 2 GB a 32 GB
  - SDXC (eXtended Capacity): 32 GB a 2 TB
- É mais lento que SSDs, tendo capacidade reduzida, durabilidade menor e pode corromper



# Flash Drive USB

- Ou *pendrive*, é um dispositivo de armazenamento portátil que usa memória flash
  - Se conecta ao computador pelo barramento USB: É Plug and play
  - Muito usado para transportar arquivos, fazer backups rápidos ou até rodar sistemas operacionais
- **Capacidade** varia de 2GB até 2TB.
- **Velocidade** depende do padrão USB usado: Até 1250 MB/s (10 Gbit/s) no USB 3.2.
- **Vantagens:**
  - Pequeno, leve e fácil de transportar e compatível com qualquer computador
  - Pode ser usado para boot (instalar SO, recuperação, etc.)
  - Preço acessível por GB
- **Desvantagens:**
  - Mais lento que SSDs e menos ciclos de escrita
  - Nem sempre confiável para armazenamento de longo prazo





# Memória Externa

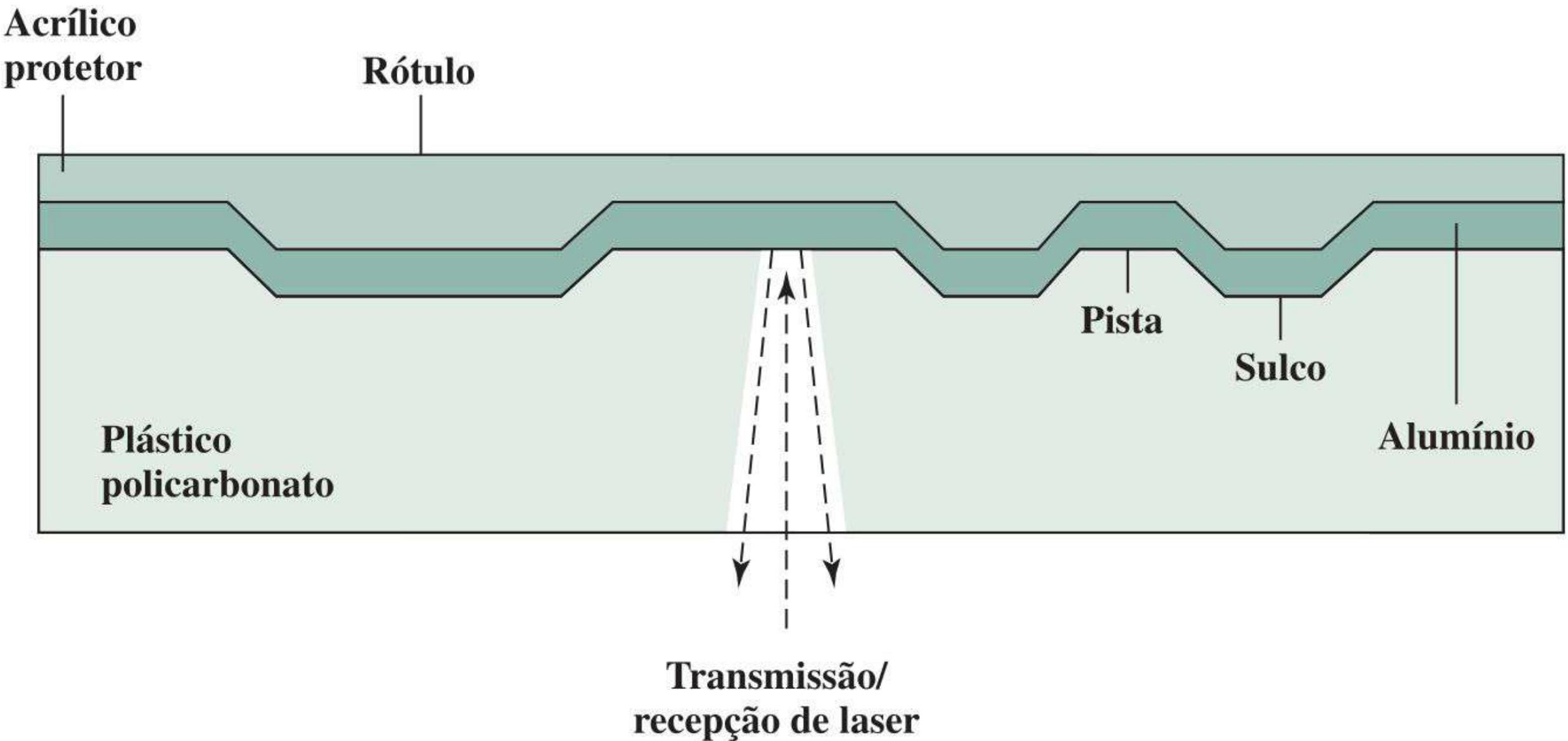
## Memória Óptica

# CD de Armazenamento Óptico

- *Compact Disk*: Originalmente para áudio
  - 650 MB gerando mais de 70 minutos de áudio
- Policarbonato com cobertura altamente reflexiva, normalmente alumínio
  - Dados armazenados como sulcos
  - Lidos pela reflexão do laser
- Densidade de empacotamento constante
  - Velocidade linear constante (CAV)

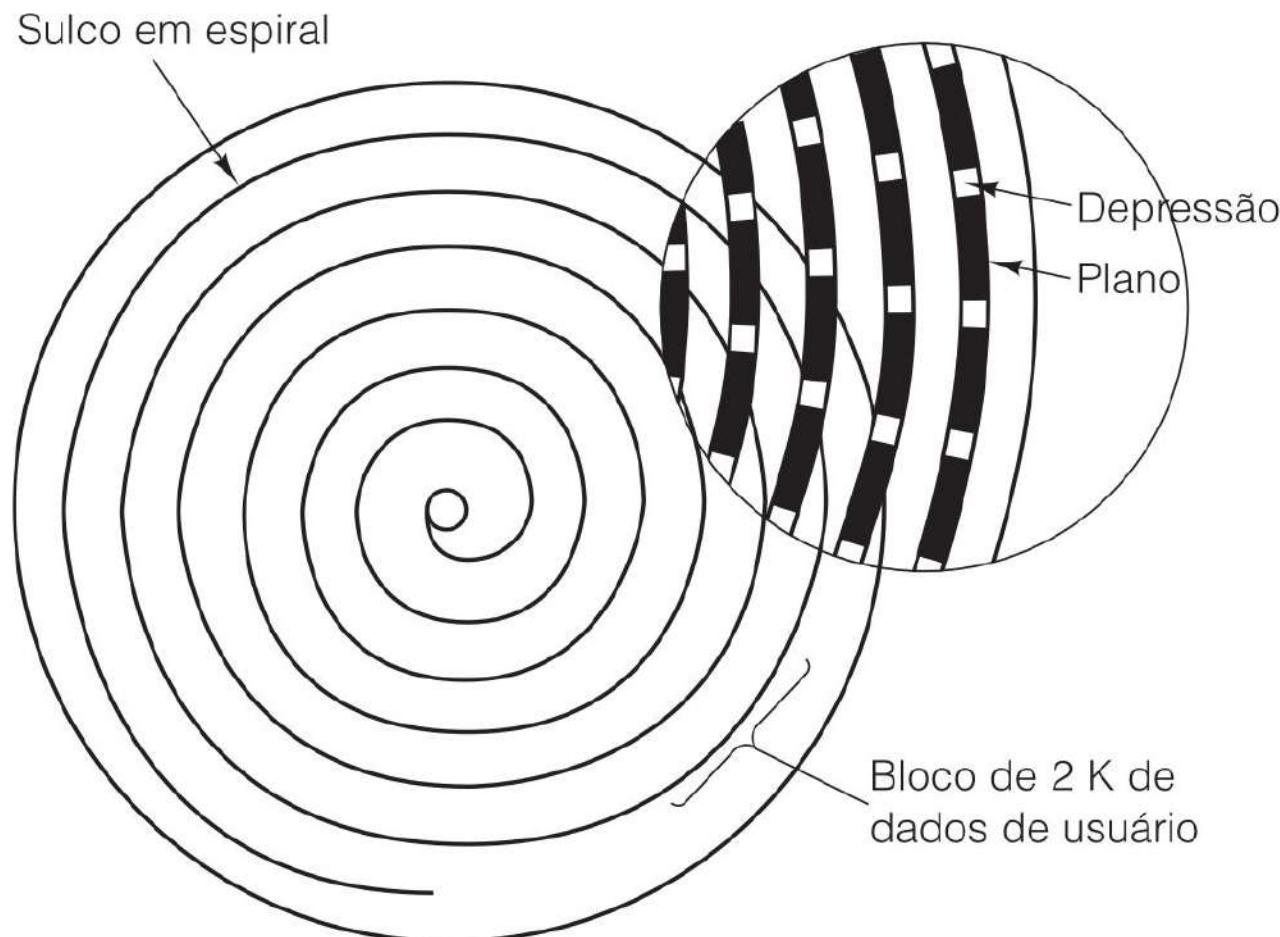


# Operação do CD



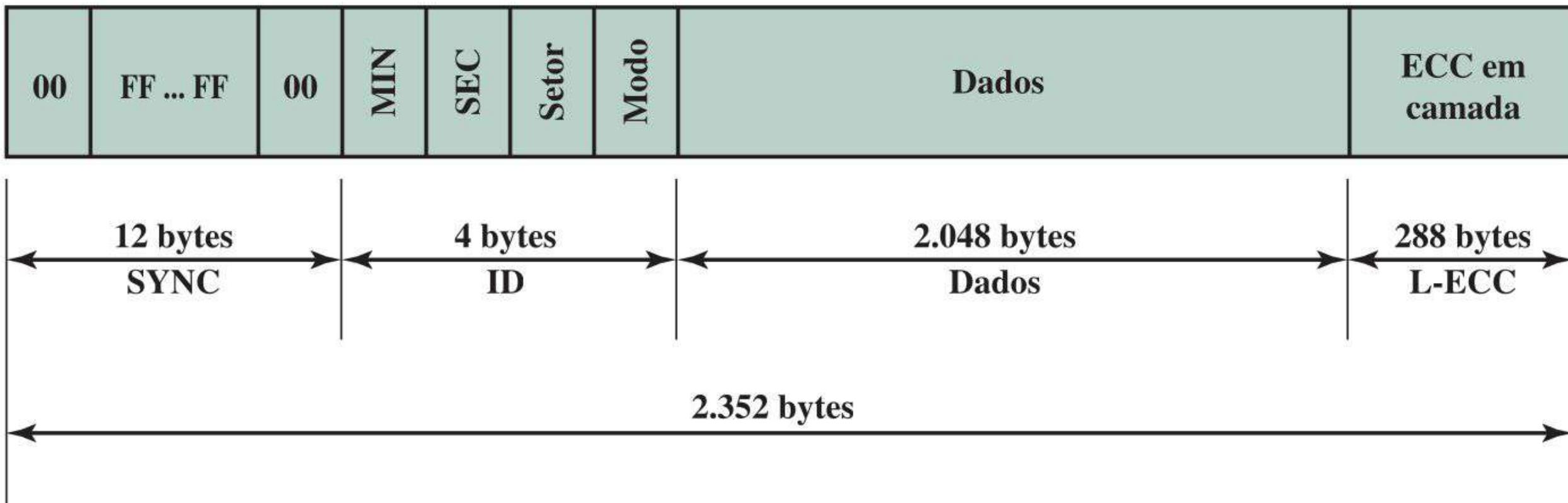
# Velocidade de Unidade de CD

- Áudio tem **velocidade única**:
  - Velocidade linear constante  $1,2 \text{ ms}^{-1}$
  - Trilha (espiral) tem 5,27 km de extensão
  - Oferece 4391 segundos = 73,2 minutos
- Outras velocidades indicadas por múltiplos e.g. 24x
- Valor indicado é o máximo que a unidade pode conseguir
- Animação de uma operação de leitura



# Formato dos Dados do CD

- Modo 0 = Campo de dados em branco (*blank*)
- Modo 1 = 2048 bytes de dados + correção de erro (ECC)
- Modo 2 = 2336 bytes de dados



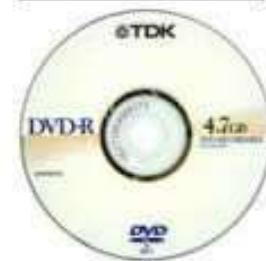
# Tipos de Mídia Ópticas

- **CD:** Para áudio e.g. músicas
- **CD-ROM:** Dados não apagáveis e.g. arquivos, jogos
- **CD-R:** Dados podem ser gravados uma vez (CD virgem)
- **CD-RW:** Dados podem ser gravados várias vezes
- Outros...

CD-ROM



DVD-ROM



CD-R



DVD-R



CD-RW



DVD-RW



DVD-RAM



Blu-Ray Disc



# DVD

- Capacidade muito alta (4.7 G por camada): Multicamadas
- Até duas camadas por lado: Pode ter dois lados
  - **DVD-5:** Uma face, uma camada (4.7 GB)
  - **DVD-9:** Uma face, duas camadas (8.5 GB)
  - **DVD-10:** Duas faces, uma camada (9.4 GB)
  - **DVD-18:** Duas faces, duas camadas (17 GB)
- Filme de tamanho completo em único disco
  - Até 133min usando compactação MPEG
- Filmes transportam codificação regional: Players só tocam filmes da região correta
- Nome não tem definição exata
  - **Digital Video Disk:** Indica reprodutor de filmes e.g. vídeos
  - **Digital Versatile Disk:** Indica unidade do computador e.g. jogos

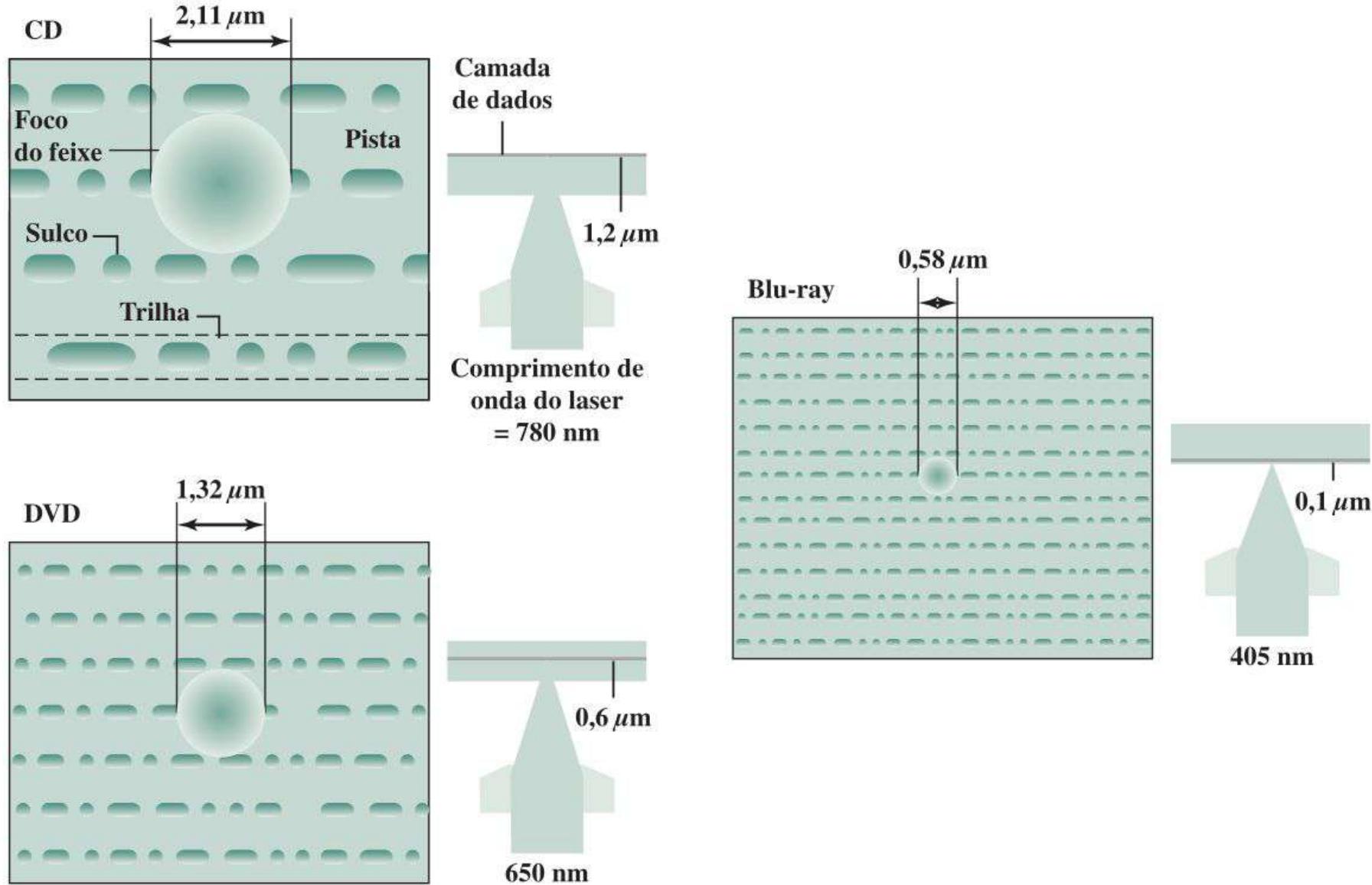


# Blu-Ray

- Semelhante à arquitetura do DVD: Mais moderna

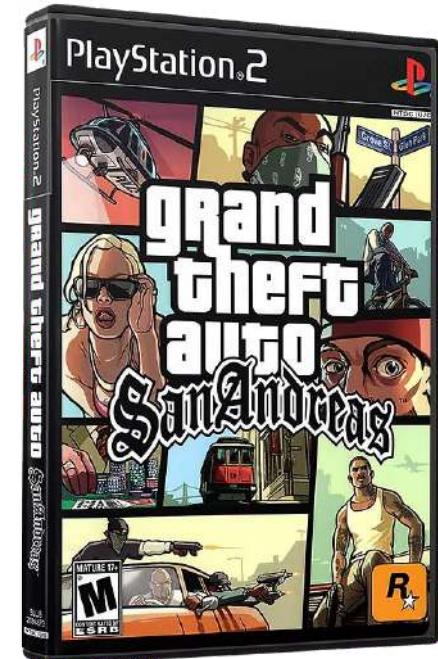
	<b>Blu-Ray</b>	<b>HD DVD</b>	<b>DVD</b>
<b>Capacidade por face (GB)</b>	25/26 (simples) 50/54 (dupla)	15 (simples) 30 (dupla)	4.7 (simples) 8.5 (dupla)
<b>Largura de onda</b>	405 nm	400 nm	640 nm
<b>Taxa de Transferência</b>	54 Mbps	36 Mbps	11 Mbps
<b>Resistente à Arranhões</b>	Sim	Não	Não
<b>Formatos</b>	MPEG-2, MPEG-4 AVC, VC-1	MPEG-2, H.264/MPEG-4 AVC, VC-1	MPEG-2

# Dimensões do Feixe das Memórias Ópticas



# Exemplo: GTA San Andreas do Playstation 2

- Disco do jogo é **lento** (até 5.28 MB/s): Gargalo na busca por informações
  - Jogo as vezes renderiza conforme o jogador avança: Como mitigar esse problema?
- Solução: Dados usados no momento trazidos para **memória interna** do console (32MB)
- **Arquivos distantes** no disco geravam perda de performance
  - Leitor desacelera e procura a linha do disco onde está o arquivo
- A solução foi **agrupar objetos** do jogo próximos no espaço físico do disco
  - Objetos distantes eram encobridos por uma névoa
- E se os jogadores se movimentassem muito rápido?
  - Jogo “**desacelera**” o jogador e.g. aumentar a **resistência do ar** e **velocidade máxima** nas ruas



# Exemplo: Névoa do GTA San Andreas





# Memória Externa

## Fita Magnética

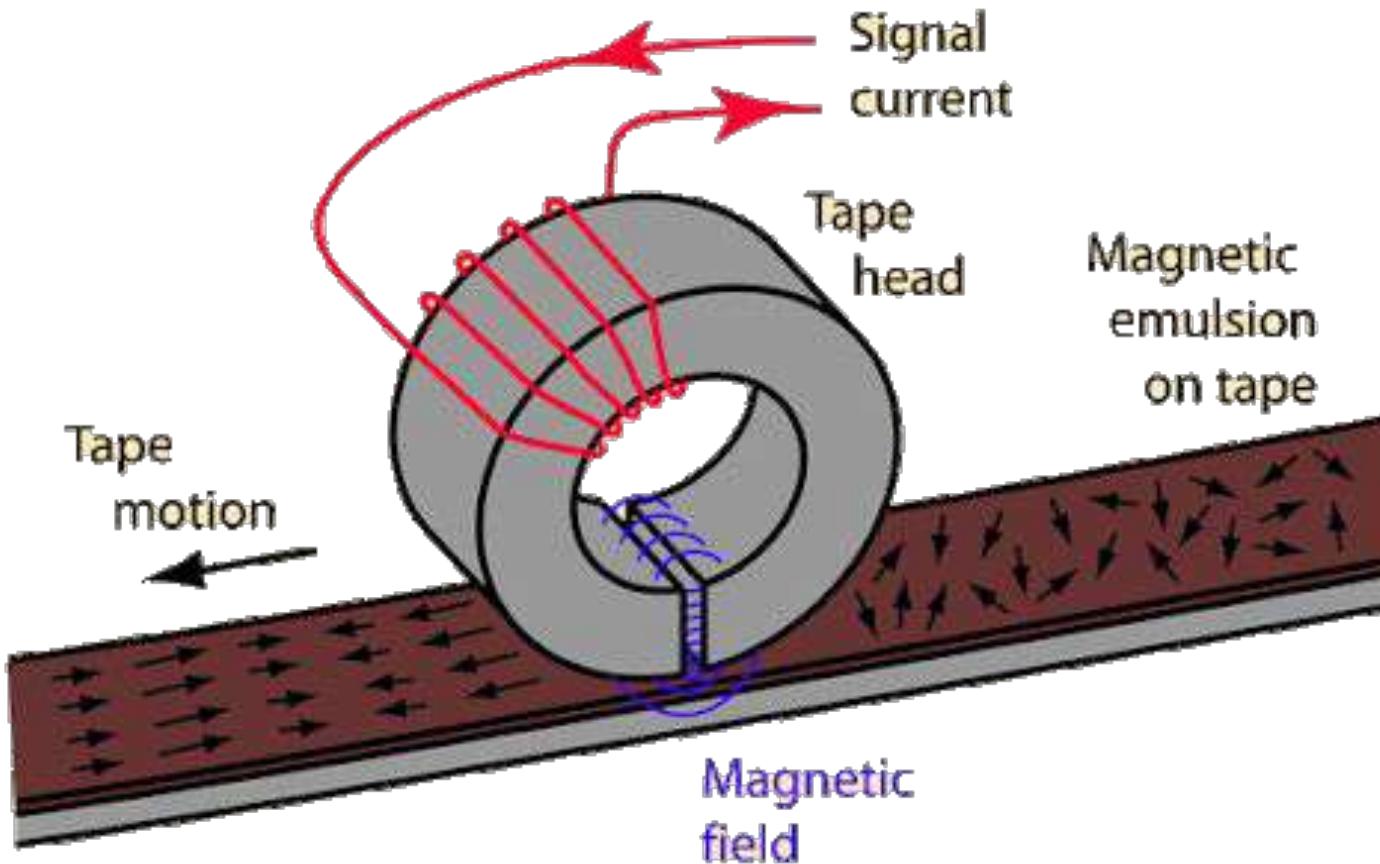
# Fita Magnética

- Rolo de fita plástica revestida com material magnético
  - Acesso serial
  - Lenta
  - Muito barata
  - Alta durabilidade (até 30 anos): Backup e arquivamento
- Unidades de fita **Linear Tape Open (LTO)**
  - Desenvolvida no final da década de 1990
  - Alternativa *open-source* para os diversos sistemas de fita patenteados



# Escrita em Fita Magnética

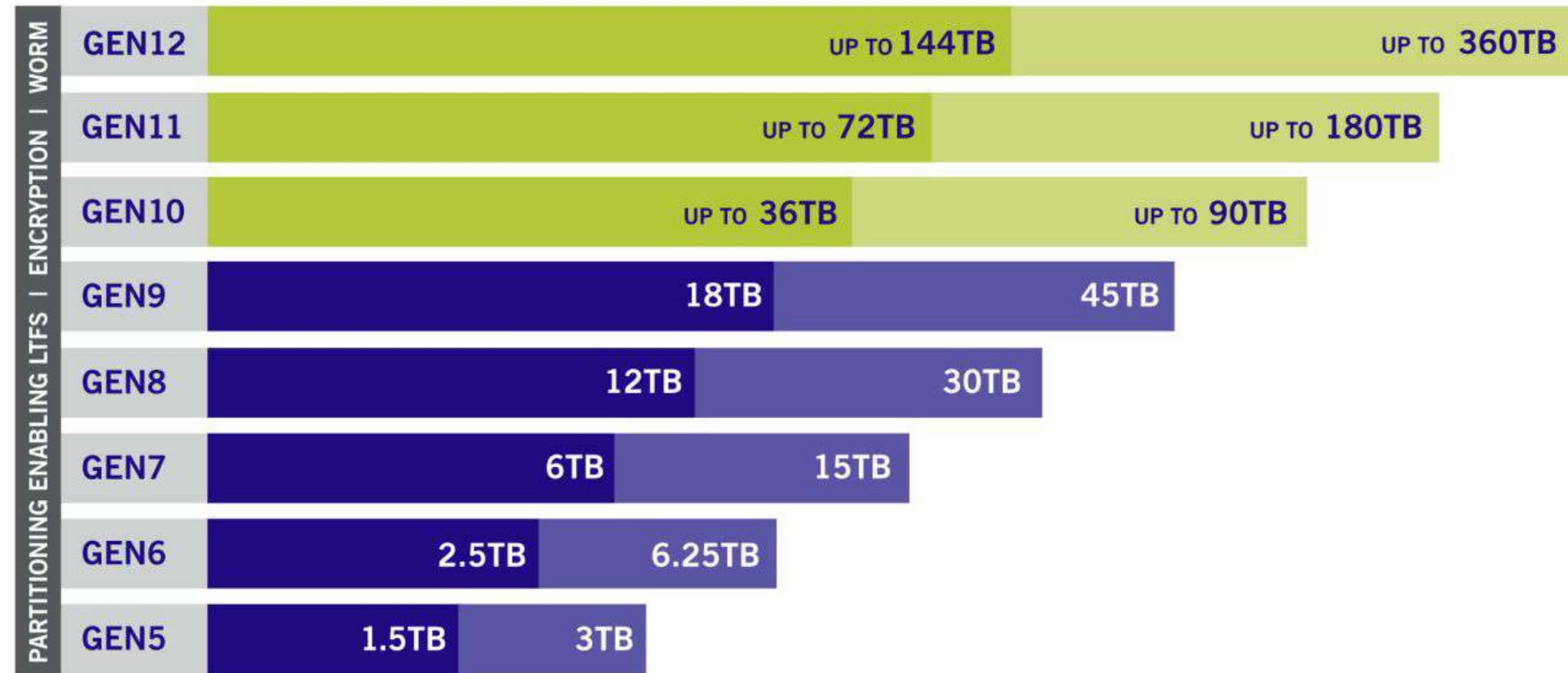
- Semelhante à usada em discos magnéticos:



# Drives de Fita LTOs

	LTO-1	LTO-2	LTO-3	LTO-4	LTO-5	LTO-6	LTO-7	LTO-8
Data de lançamento	2000	2003	2005	2007	2010	2012	TBA	TBA
Capacidade compactada	200 GB	400 GB	800 GB	1.600 GB	3,2 TB	8 TB	16 TB	32 TB
Taxa de transferência compactada	40 MB/s	80 MB/s	160 MB/s	240 MB/s	280 MB/s	400 MB/s	788 MB/s	1,18 GB/s
Densidade linear (bits/mm)	4.880	7.398	9.638	13.250	15.142	15.143		
Trilhas de fita	384	512	704	896	1.280	2.176		
Extensão da fita (m)	609	609	680	820	846	846		
Largura da fita (cm)	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27		
Elementos de gravação	8	8	16	16	16	16		
WORM ( <i>Write Once, Read Many</i> )?	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Capacidade de Criptografia?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Particionamento?	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

# Tamanhos Suportados pelas Gerações





# Memória Externa

## Conclusão

# Resumo da Aula

- Várias formas de armazenar dados de forma volátil
- **Unidade de Disco Rígido (HDD):** Vários discos magnéticos
  - Grandes quantidades de dados e baixo custo, porém mecânico e lento
- **Unidade de Estado Sólido (SSD):** Memória flash, permitindo acesso aleatório
  - Muito rápida, porém com maior custo
- **Memória Óptica:** Discos com material reflexivo
- **Fita Magnética:** Rolos de fita magnetizada
  - Enormes quantidades de dados a um baixíssimo custo, porém muito lento

# Conclusão

- Nessa Aula:
  - Memória Externa
- Bibliografia Principal:
  - Arquitetura e Organização de Computadores; Stallings, W.; 10<sup>a</sup> Edição (Capítulo 6)
- Próxima Aula:
  - Arquitetura RAID