Análise a dados armazenados

António Pinto
apinto@estg.ipp.pt

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Outubro 2022 (v2)

Sumário

Visão geral

Organização dos discos

Sistemas de ficheiros

Representação de dados

Conceitos introdutórios

- Dados são guardados em suportes de armazenamento
  - Discos, cartões de memória, *pens* USB, ...
- Suportes de armazenamentos tem estrutura própria
  - Estrutura guardada em MBR ou GPT
  - Encontram-se divididos em partições
  - Cada partição tem um sistema de ficheiros
- Sistemas de ficheiros organizam a forma como se armazenam os dados
  - FAT (12,16,32), NTFS, EXT(2,3,4), UFS, ...
  - Alguns sistemas de ficheiros são de conhecimento público, outros são proprietários

Estrutura de um disco

- Os tipos de discos mais comuns são os organizados por
  - *Master Boot Record* (MBR)
  - *GUID Partition Table* (GPT) [1]
- O MBR/GPT é armazenado no inicio do disco, contendo a sua estrutura (tabela de partições)
- Cada partição utiliza um sistema de ficheiros
- Reparticionar um disco não apaga dados, apenas a tabela de partições

[1] GPT faz parte da norma UEFI que veio para substituir a BIOS

Master Boot Record

- Ocupa os primeiros 512 *bytes* do disco
- Incluí apontadores para 4 partições primárias (que podem ou não estar em uso)
- Partições adicionais (além destas 4)
  - Requer que uma seja marcada como partição estendida
  - Partição estendida usa *Extended Boot Record* (EBR)
  - EBR pode conter apontador para um EBR seguinte
    - Número ilimitado de partições estendidas

Master Boot Record

Exercício #1 (15 minutos)

Com o comando seguinte, visualize o conteúdo dos primeiros 512 bytes do ficheiro **usb-mbr.dd** do moodle.

```
1 hexdump -n 512 -C usb-mbr.dd
```

Tente identificar o *offset* (ou a posição relativa à origem) dos bytes *0x55AA*.

Master Boot Record

```
aap@pc:~$ hexdump -n 512 -C usb-mbr.dd

0000 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
*
01b0 00 00 00 00 00 00 00 00 60 9d b9 ec 00 00 00 00
01c0 21 00 06 2a ea ca 20 00 00 00 e0 b7 3b 00 00 00
01d0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
*
01f0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 #55 AA#
0200
```

Note-se que 0x0200 (200 em hexadecimal) = 512 (decimal)

Master Boot Record

Estrutura genérica

Endereço		Descrição		Tamanho (bytes)
Hex	Dec			
+0x0000	+0	Código de arranque (*boot*)		446
+0x01BE	+446	Partição #1	Tabela de partições primárias	16
+0x01CE	+462	Partição #2		16
+0x01DE	+478	Partição #3		16
+0x01EE	+494	Partição #4		16
+0x01FE	+510	55	Assinatura	2
+0x01FF	+511	AA		
Tamanho total : 446 + 4×16 + 2				**512**

http://en.wikipedia.org/wiki/Master_Boot_Record

Master Boot Record

Campo de partição

Exercício #2 (30 minutos)

Utilizando novamente o comando **hexdump**, em conjunto com a informação da estrutura do MBR, apresente apenas a informação relativa **à primeira entrada de partição** do ficheiro **usb-mbr.dd** do moodle.

+info: `https://en.wikipedia.org/wiki/Master_boot_record`.

Submeta sua análise crítica pelo moodle (ficheiro PDF)

Master Boot Record

```
1 aap@pc:~$ hexdump -s 446 -n 16 -C usb-mbr.dd
2 000001be 00 00 21 00 06 2a ea ca 20 00 00 00 e0 b7 3b 00
3 000001ce
```

A 1ª estrada de partição inicia na posição 446 e tem 16 bytes de tamanho!

Master Boot Record

Estrutura do campo partição (*partition entry*)

Posição relativa	Descrição	Tamanho (bytes)
0	Indicador de *boot* (80h)	1
1	Inicio de partição (CHS)	3
4	Tipo de partição	1
5	Fim de partição (CHS)	3
8	Setor inicial (LBA)	4
12	Tamanho da partição (em setores)	4
	Tamanho total:	**16**

http://en.wikipedia.org/wiki/Master_Boot_Record

Tipos de numeração de setores no disco

- CHS - *Cylinder/Head/Sector* (mais antigo)
- LBA - *Logical Block Addressing* (mais recente)

Master Boot Record

Exemplo de entrada de partição

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
1B0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	**80**	01
1C0	01	00	**0B**	1F	3F	33	3F	00	00	00	41	99	01	00	00	00
1D0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1E0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	55	AA

http://thestarman.pcministry.com/asm/mbr/PartTables.htm

0x1BE Partição está ativa (valor 80h)

0x1BF Setor inicial da partição CHS(0,1,1)

0x1C2 Tipo de partição (0B → FAT32)

Extended Boot Record

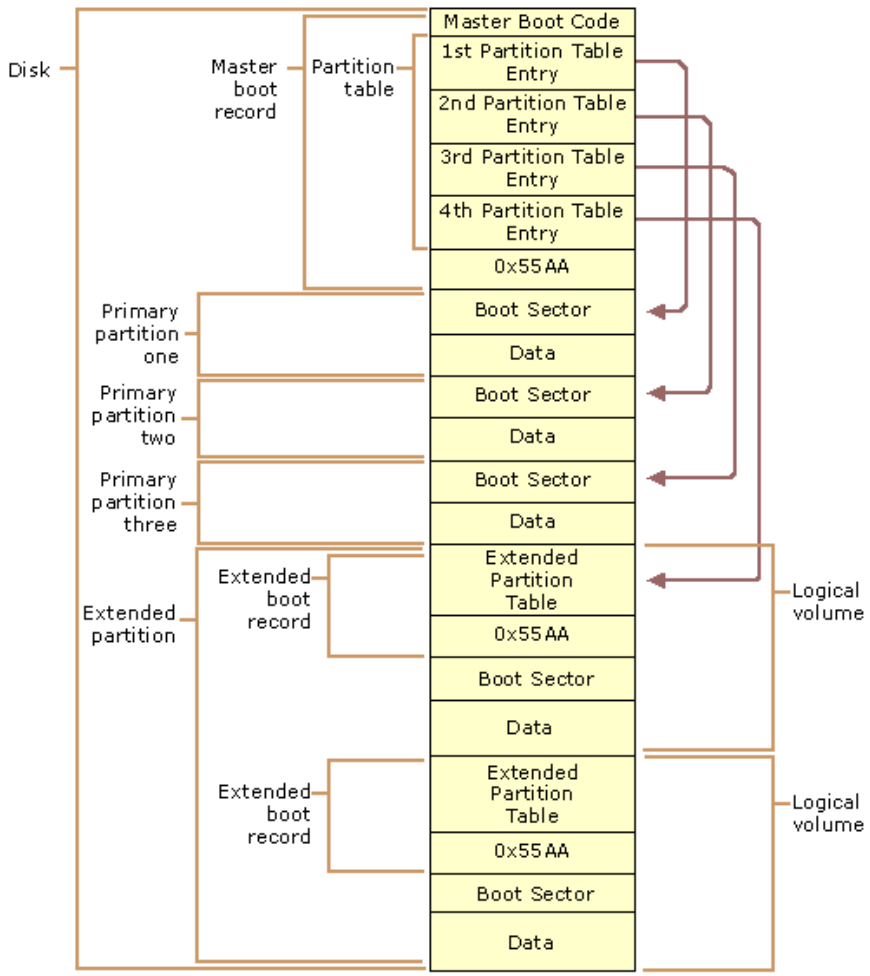
Estrutura genérica

Posição relativa ao início do EBR		Descrição	Tamanho (bytes)
Hex	Dec		
000 – 1BD	000 – 445	Tipicamente vazia (zeros)	**446**
1BE – 1CD	446 – 461	**Partição #1** – Descreve a partição atual	**16**
1CE – 1DD	462 – 477	**Partição #2** – Descreve a próxima partição	**16**
1DE – 1ED	478 – 493	**Partição #3** – Não utilizada (zeros)	**16**
1EE – 1FD	494 – 509	**Partição #4** – Não utilizada (zeros)	**16**
1FE - 1FF	510 - 511	Assinatura	**2**
		Tamanho total: 446 +4×16 +2 =	**512**

http://en.wikipedia.org/wiki/Extended_boot_record

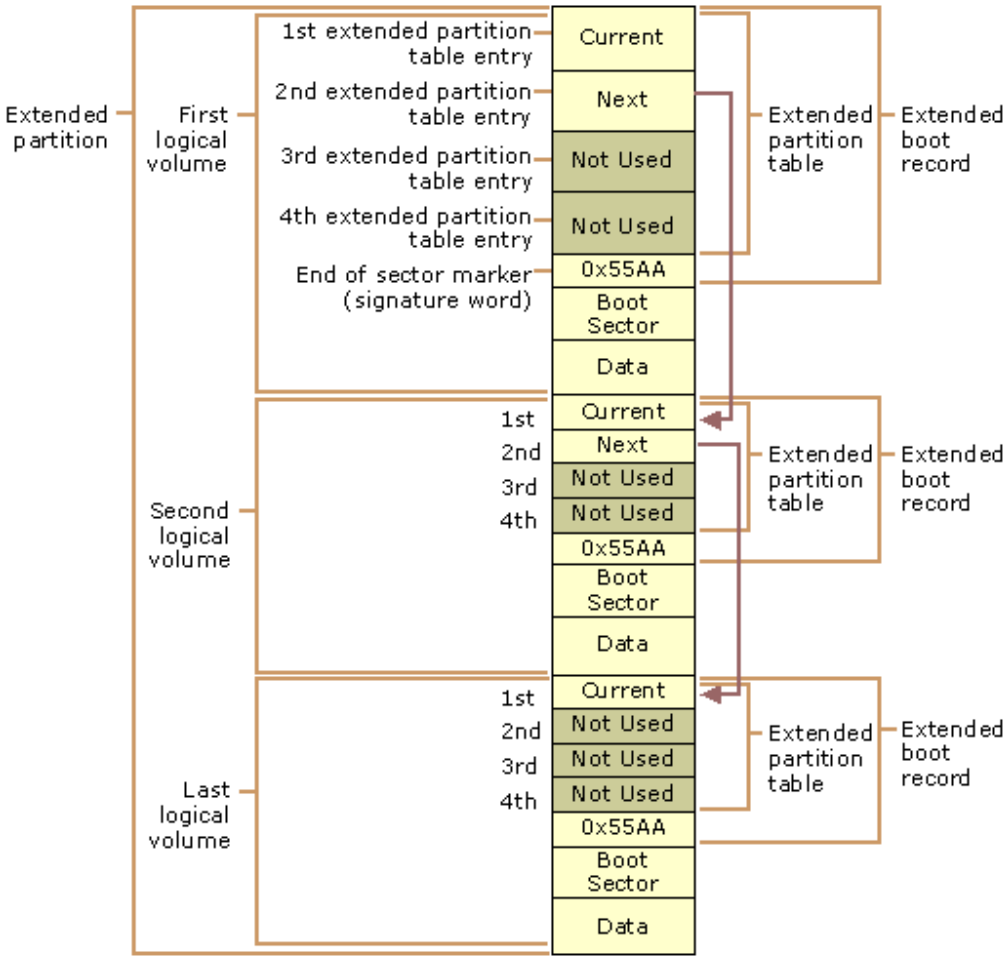
Têm a mesma estrutura que uma MBR *partition entry*

Layout de um disco com MBR



https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc976786.aspx

Layout de um EBR



https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc976786.aspx

GUID Partition Table (GPT)

- *GUID Partition Table* (GPT) é a forma de organização de discos incluída na norma *Unified Extensible Firmware Interface* (UEFI)
- Utiliza endereçamento por LBA (blocos de 512 *bytes*[2])
- Suporta partições de tamanho superior aos em MBR
- Pode ser utilizada em alguns sistemas com BIOS, desde que suportado pelo sistemas operativo (ex.: Linux)
- Primeiro bloco de 512 *bytes* (LBA-0) é ignorado (por ser o espaço normalmente utilizado pelo MBR) ou inclui *Protective* MBR

[2] Tipicamente, mas podem ser maiores.

GUID Partition Table

Exercício #3 (30 minutos)

Com o comando **hexdump**, visualize o conteúdo dos primeiros 1024 bytes do ficheiro **disk-image.dd** do moodle.

Tente identificar o *offset* dos bytes *0x55AA*.

Confirme que se trata de um Protective MBR com GPT.

+info: `https://en.wikipedia.org/wiki/GUID_Partition_Table`

Submeta sua análise crítica pelo moodle (ficheiro PDF)

GUID Partition Table

```
 1 aap@pc:~$ hexdump -n 1024 -C disk-image.dd
 2 00000000 33 c0 8e d0 bc 00 7c 8e c0 8e d8 be 00 7c bf 00 |3.....|......|..|
 3 00000010 06 b9 00 02 fc f3 a4 50 68 1c 06 cb fb b9 04 00 |.......Ph.......|
 4 00000020 bd be 07 80 7e 00 00 7c 0b 0f 85 0e 01 83 c5 10 |....~..|........|
 5 00000030 e2 f1 cd 18 88 56 00 55 c6 46 11 05 c6 46 10 00 |.....V.U.F...F..|
 6 00000040 b4 41 bb aa 55 cd 13 5d 72 0f 81 fb 55 aa 75 09 |.A..U..]r...U.u.|
 7 00000050 f7 c1 01 00 74 03 fe 46 10 66 60 80 7e 10 00 74 |....t..F.f`.~..t|
 8 00000060 26 66 68 00 00 00 00 66 ff 76 08 68 00 00 68 00 |&fh....f.v.h..h.|
 9 00000070 7c 68 01 00 68 10 00 b4 42 8a 56 00 8b f4 cd 13 ||h..h...B.V.....|
10 00000080 9f 83 c4 10 9e eb 14 b8 01 02 bb 00 7c 8a 56 00 |............|.V.|
11                     (LINHAS REMOVIDAS POR FALTA DE ESPACO)
12 00000150 10 eb f2 f4 eb fd 2b c9 e4 64 eb 00 24 02 e0 f8 |......+..d..$...|
13 00000160 24 02 c3 49 6e 76 61 6c 69 64 20 70 61 72 74 69 |$..Invalid parti|
14 00000170 74 69 6f 6e 20 74 61 62 6c 65 00 45 72 72 6f 72 |tion table.Error|
15 00000180 20 6c 6f 61 64 69 6e 67 20 6f 70 65 72 61 74 69 | loading operati|
16 00000190 6e 67 20 73 79 73 74 65 6d 00 4d 69 73 73 69 6e |ng system.Missin|
17 000001a0 67 20 6f 70 65 72 61 74 69 6e 67 20 73 79 73 74 |g operating syst|
18 000001b0 65 6d 00 00 00 63 7b 9a -- 1. PA RT -- -> 00 fe |em...c{.}n......|
19 000001c0 ff ff ee fe ff ff 01 00 00 00 a3 70 3d 3a <- -- |...........p=:..|
20 000001d0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |................|
21 *
22 000001f0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 55 aa |..............U.|
23 00000200 45 46 49 20 50 41 52 54 00 00 01 00 5c 00 00 00 |EFI PART....\...|
24 00000210 7f 95 63 62 00 00 00 00 01 00 00 00 00 00 00 00 |..cb............|
25 00000220 a3 70 3d 3a 00 00 00 00 22 00 00 00 00 00 00 00 |.p=:............|
26 00000230 82 70 3d 3a 00 00 00 00 a8 4d 00 00 93 38 00 00 |.p=:.....M...8..|
27 00000240 3d 11 00 00 f3 62 00 00 02 00 00 00 00 00 00 00 |=....b..........|
28 00000250 80 00 00 00 80 00 00 00 81 d5 7a 4e 00 00 00 00 |..........zN....|
29 00000260 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |................|
30 *
31 00000400
```

GUID Partition Table

Estrutura genérica

Posição relativa	Descrição	Tamanho (bytes)
LBA0	Não utilizado (MBR)	512
LBA1	Cabeçalho GPT principal	512
LBA2	Entradas das partições 1 a 4 (128 bytes cada)	512
LBA3	Entradas das partições 5 a 128 (128 bytes cada)	512
. . .		...
LBA33		512
. . .	Dados / Partições	...
LBA-33	Cópia das Entradas das partições 5 a 128 (128 bytes cada)	512
. . .		...
LBA-3		512
LBA-2	Cópia das entradas das partições 1 a 4 (128 bytes cada)	512
LBA-1	Cópia do cabeçalho GPT	512

LBA-1 refere-se ao último LBA do disco.

GUID Partition Table

Estrutura do cabeçalho GPT

Posição relativa	Tamanho	Contents
0 (0x00)	8 bytes	Assinatura (45h 46h 49h 20h 50h 41h 52h 54h)
8 (0x08)	4 bytes	Revisão (00h 00h 01h 00h para GPT ver 1.0)
12 (0x0C)	4 bytes	Tamanho (5Ch 00h 00h 00h = 92 bytes)
16 (0x10)	4 bytes	CRC32 do cabeçalho
20 (0x14)	4 bytes	Reservado (zero)
24 (0x18)	8 bytes	LBA do cabeçalho
32 (0x20)	8 bytes	LBA da cópia do cabeçalho
40 (0x28)	8 bytes	Primeiro LBA útil
48 (0x30)	8 bytes	Último LBA útil
56 (0x38)	16 bytes	GUID do disco
72 (0x48)	8 bytes	LBA da lista de partições
80 (0x50)	4 bytes	Número de partições na lista
84 (0x54)	4 bytes	Tamanho da cada entrada de partição (128 bytes)
88 (0x58)	4 bytes	CRC32 da lista de partições
92 (0x5C)	*	Reservado, zeros até ao fim

https://en.wikipedia.org/wiki/GUID_Partition_Table

GUID Partition Table

Estrutura de entrada de partição em GPT

Posição relativa	Descrição	Tamanho (bytes)
0	GUID do tipo de partição	16
16	GUID da partição (único)	16
32	LBA inicial	8
40	LBA final	8
48	Atributos	8
56	Nome da partição (UTF-16LE)	72
	Tamanho total:	**128**

`https://en.wikipedia.org/wiki/GUID_Partition_Table`

GUID Partition Table

Exercício #4 (15 minutos)

Utilizando novamente o comando **hexdump**, em conjunto com a informação da estrutura da GPT, apresente o nome da **primeira entrada de partição** do ficheiro **disk-image.dd** do moodle.

+info: `https://en.wikipedia.org/wiki/GUID_Partition_Table`.

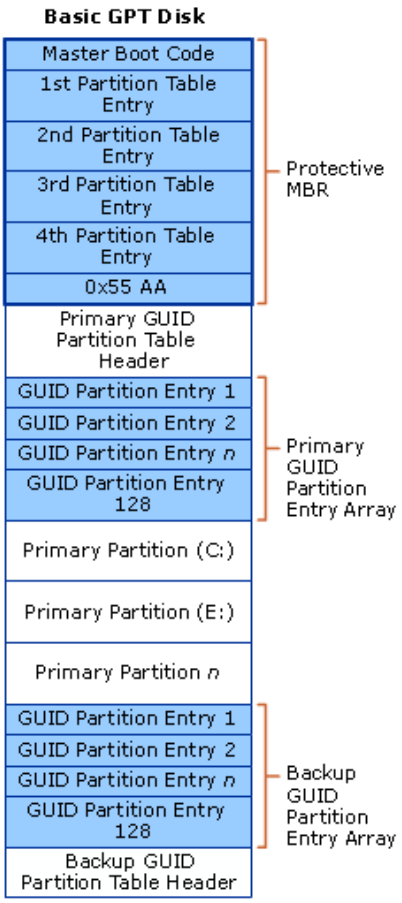
Submeta sua resposta pelo moodle (ficheiro PDF)

GUID Partition Table

```
1 aap@pc:~$ hexdump -s 1080 -n 72 -C disk-image.dd
2 00000438 45 00 46 00 49 00 20 00 73 00 79 00 73 00 74 00 |E.F.I. .s.y.s.t.|
3 00000448 65 00 6d 00 20 00 70 00 61 00 72 00 74 00 69 00 |e.m. .p.a.r.t.i.|
4 00000458 74 00 69 00 6f 00 6e 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |t.i.o.n.........|
5 00000468 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 |................|
6 *
7 00000480
```

Skip de 1080 (1024+56), com tamanho de 72 bytes!

Layout de um disco com GPT



https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc739412%28v=ws.10%29.aspx

Sistemas de ficheiros FAT

FAT: *File Allocation Table*

- Sistema de ficheiros simples, muito popular
- Utilizado primeiramente em sistemas DOS, Windows
- Atualmente é utilizado em *pens* USB, cartões de memória, *smartphones*

FAT12, FAT16, FAT32

- Versão indica o número de bits utilizado para referenciar *clusters* no disco.
  - FAT12 $\rightarrow$ 12 *bits* $\rightarrow$ Max: $2^{12} = 4,096$ *clusters*
  - FAT16 $\rightarrow$ 16 *bits* $\rightarrow$ Max: $2^{16} = 65,536$ *clusters*
  - FAT32 $\rightarrow$ 32 *bits* $\rightarrow$ Max: $2^{32} = 4,294,967,296$ *clusters*
- *Cluster* é um conjunto de sectores
- Sector é a unidade mínima de armazenamento de dados

Utilização do disco

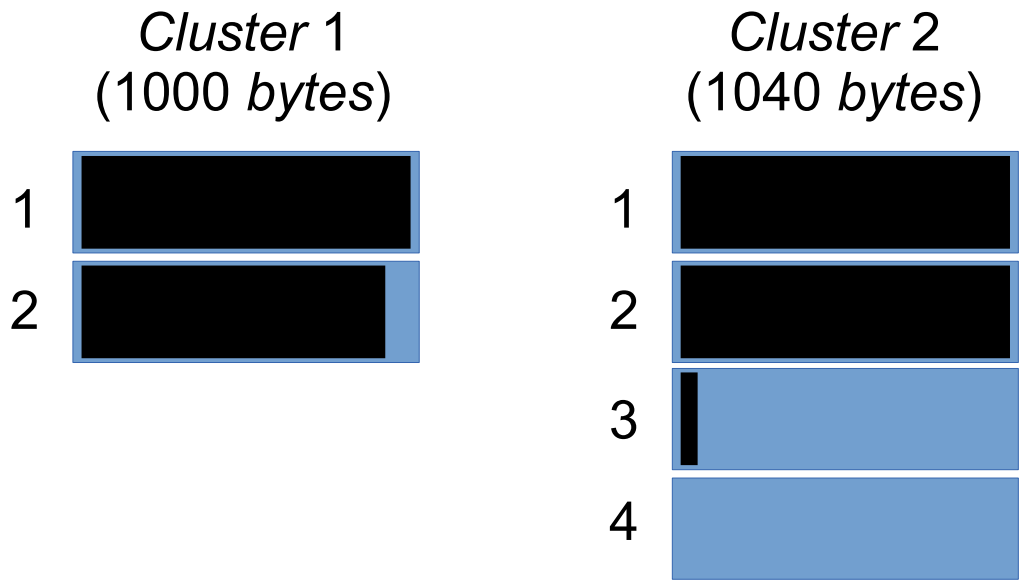
- Sector tem usualmente 512 *bytes* de tamanho
- Sector é o tamanho mínimo para operações de leitura/escrita no disco
- Sempre que se utiliza um sector, este é considerado como totalmente ocupado
  - Se se guardar 10 *bytes* num sector, restantes 502 *bytes* são *desperdiçados*
  - *Bytes* não sobrescritos, mantém dados anteriores

Utilização do disco (2)

- Espaço em disco é alocado a ficheiros em conjuntos de sectores
- Número de sectores por *cluster* tem de ser uma potência de 2 (1,2,4,...)
- *Cluster* é a unidade mínima de alocação de ficheiros

Exemplos de *clusters*

Cluster 1 usa 2 sectores, já o *cluster* 2 usa 4 sectores



Espaço não utilizado no fim de cada ficheiro é chamado de folga (ou *slack*)

Layout de uma partição FAT

```
 ____________________  <-- 1 setor  (0x0)
|  Boot code         |
|--------------------| <-- 6 setores (0x200)
|   FAT #1           |
|--------------------| <-- 6 setores (0x1400)
|   FAT #2           |
|--------------------| <-- 8 setores (0x2600)
|   Diretoria base   |
|--------------------| <-- Resto do disco (0x4200)
|   Dados            |
|____________________|
```

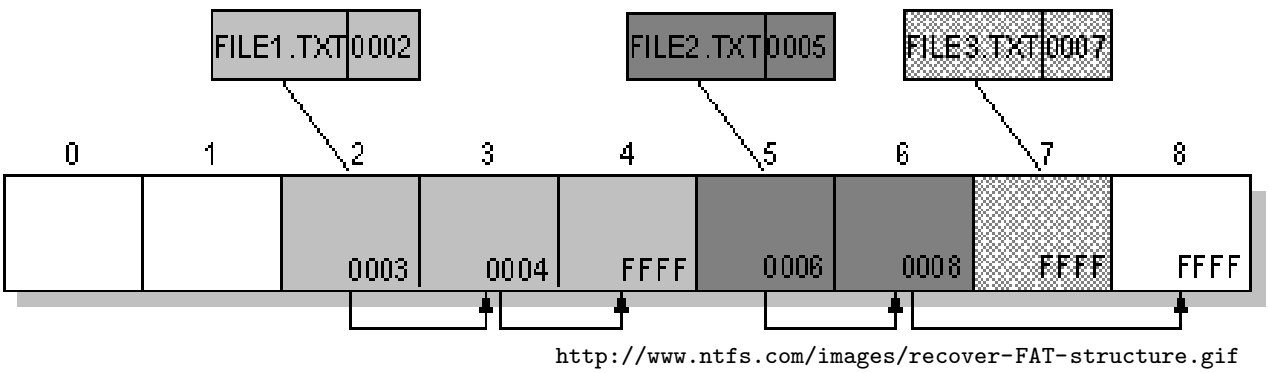
- *Boot code* costuma estar vazio
- Diretoria base conhecida como *root directory*
- FAT #2 é uma cópia de segurança da FAT #1

+info: `http://ntfs.com/fat-partition-sector.htm`

Tipos de entradas em *FAT #1*

- Não utilizado (0x0000 0000)
- *Cluster* com erro (0xFFFF FFF7)
- Último *cluster* de um ficheiro (0xFFFF FFF8)
- Número do próximo *cluster* de um ficheiro

Exemplo de *FAT #1*



http://www.ntfs.com/images/recover-FAT-structure.gif

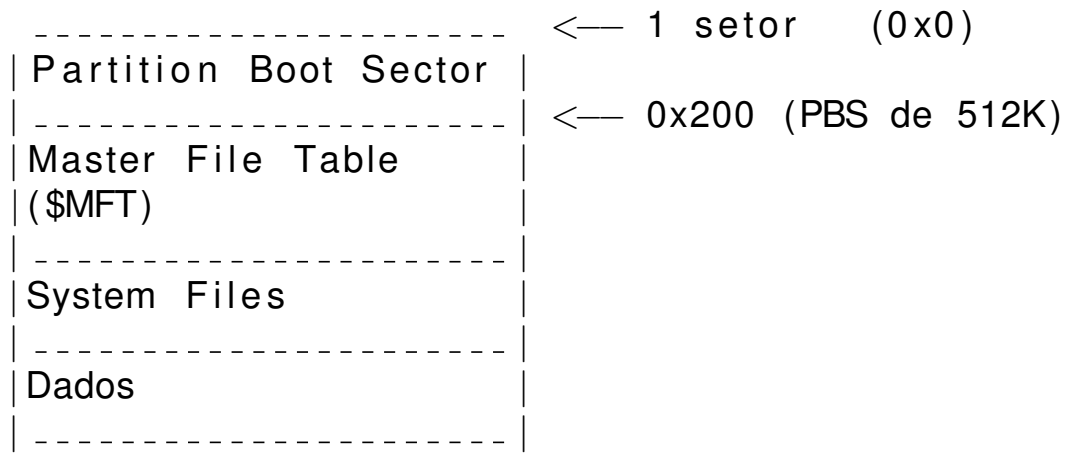
- FILE1.TXT: Ocupa *clusters* 2, 3 e 4
- FILE2.TXT: Ocupa *clusters* 5, 6 e 8 (Fragmentado)
- FILE3.TXT: Ocupa *cluster* 7

Sistemas de ficheiros NTFS

NTFS: *New Technologies File System*

- Sistema de ficheiros utilizado em Windows NT, 2000, . . .
- Sistema proprietário da Microsoft
- Suporte para ficheiros superiores a 4GB
- Todos os registos são ficheiros (mesmo a própria $MFT)

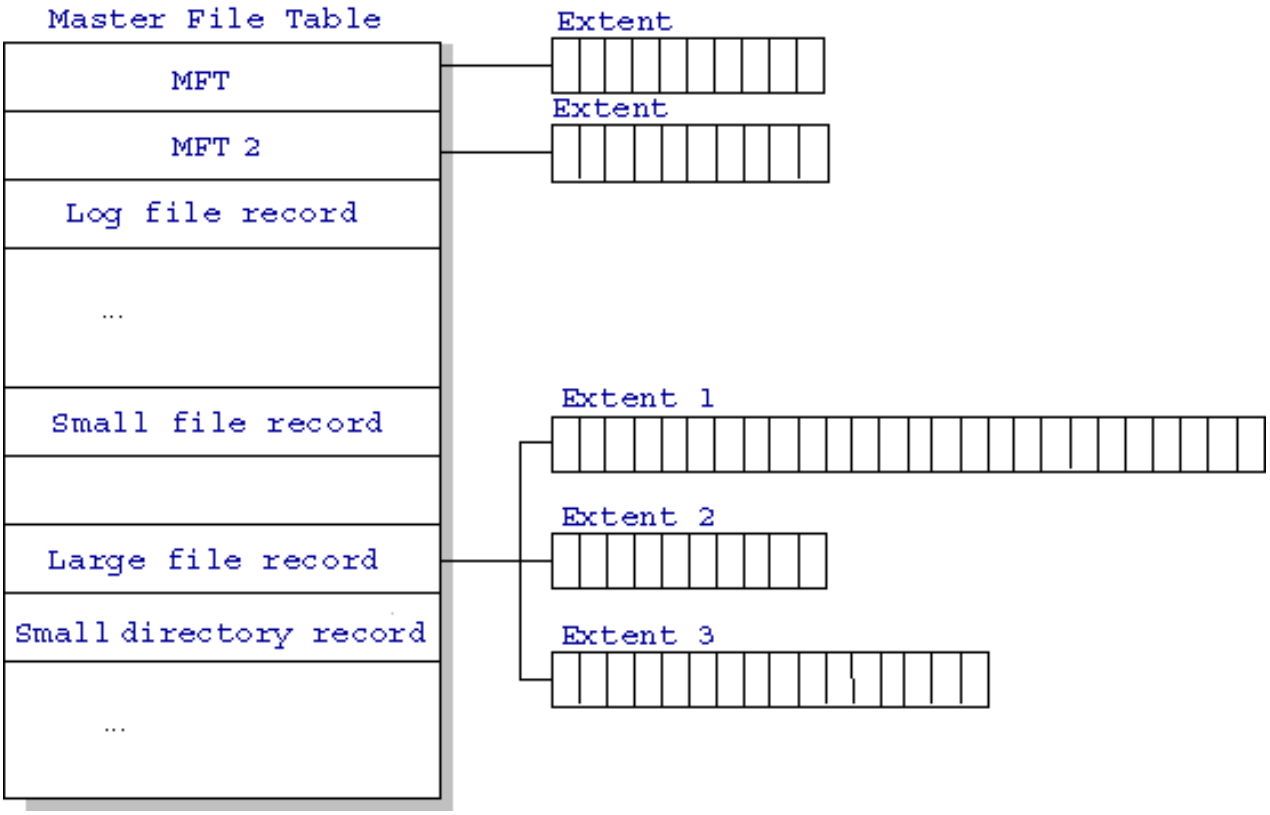
Layout de uma partição NTFS



- *Partition Boot Sector* poder ocupar de 1 a 16 setores
- Usa vários ficheiros de sistema (com metadados), como o $MFT, $Bitmap, $LogFile, . . .
- Mantém assinatura 0x55AA (posição 0x1FE)

+info: `http://ntfs.com/ntfs-partition-boot-sector.htm`

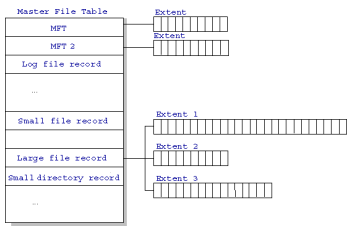
Estrutura do *MFT*



Adaptado de `http://ntfs.com/images/NTFS-MFT-structure.gif`

Estrutura do *MFT* (2)

- Registo ocupa 1KB
- Cada registo pode conter um directório ou ficheiro (até aprox.512 *bytes*)
- Primeiro registo é a própria $MFT
- Segundo registo é uma cópia de segurança do $MFT ($MftMirr)

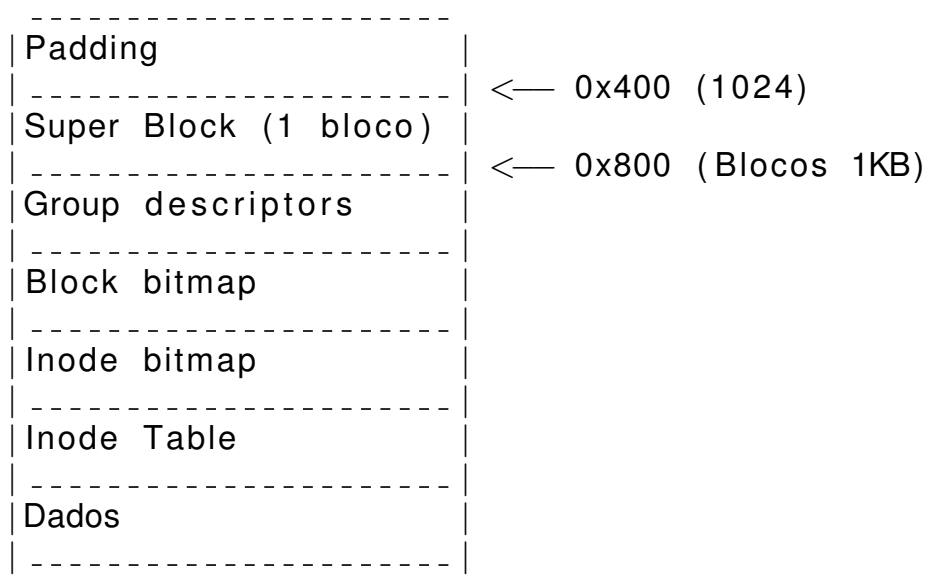


Sistemas de ficheiros EXT

EXT: *Extended File System*

- Vai atualmente na versão 4 (EXT4)
- Estrutura tem se mantido ao longo da sua evolução
- Novas versões traduzem novas funcionalidades

Layout de uma partição EXT



- Organizado em blocos (de 1KB até 64KB)
- Bloco inicial de 1024 *bytes* é ignorado

+info: `https://ext4.wiki.kernel.org/index.php/Ext4_Disk_Layout`

Representação de números

- Binário - Representação digital (0-1)
- Octal - Representação digital compacta (0-7)
- Decimal - Representação humana (0-9)
- Hexadecimal - Representação digital compacta (0-F)

Representação de números

Valor depende da posição

Numero 25102_d

- $2 \times 10^4 + 5 \times 10^3 + 1 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 2 \times 10^0$
  - Número 2 à esquerda vale mais (**mais significativo**)
  - Número 2 à direita vale menos (**menos significativo**)
- **Big-endian** - *byte* mais significativo em primeiro lugar
- **Litle-endian** - *byte* menos significativo em primeiro lugar

Representação de números

Ordem dos dados

- Processadores *big-endian*
  - Sparc, PowerPC, MIPS ...
- Processadores *litle-endian*
  - z80, x86, x86-64, adm64 ...
- Processadores programáveis (*big/litle*)
  - ARM ...
- Redes *big-endian*
  - Redes IP (com excepções)

Representação de carateres

Codificação ASCII

(American Standard Code for Information Interchange)

- Caracter ocupa um byte (sem problemas de *endianness*)
- Versão original usa apenas 7 bits
- Ocupa menos espaço que *unicode*
- Múltiplas versões estendidas (8 bits)
- ISO-8859 (latin-1) é mais comum

+info: `http://www.asciitable.com`

Representação de carateres

Codificação *Unicode*

- Representa carateres da generalidade das línguas
- Várias versões
  - UTF-8: 1 a 4 *bytes*, compatível com ASCII
  - UTF-16: 2 *bytes* ou 4 bytes
  - UTF-32: 4 *bytes* (fixo)

Posição	1	2	3	4
ISO-8859	4F	6C	**E1**	
UTF-8	4F	6C	**C3**	**A1**
Texto	O	l	á	

Magic numbers

(ou marcadores de tipo de ficheiro)

Exercício #5 (30 minutos)

Recupere os ficheiros contidos no ficheiro **img4** (disponível no moodle), que contém uma cópia de uma partição de um disco.

Utilize o comando file para analisar o ficheiro **img4** e os ficheiros recuperados.

O confirme o resultado do comando file, com recurso ao comando hexdump ou outro editor hexadecimal e à informação disponível nas ligações seguintes:

`https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_file_signatures`

Submeta sua análise crítica pelo moodle (ficheiro PDF)