Aula 22
Sistemas Operacionais I

Sistemas de Arquivos – Parte 2

Prof. Julio Cezar Estrella
jcezar@icmc.usp.br

Material adaptado de

Sarita Mazzini Bruschi

baseados no livro Sistemas Operacionais Modernos de A. Tanenbaum

Implementando o Sistema de Arquivos

- Implementação do Sistema de Arquivos:
  - Como arquivos e diretórios são armazenados;
  - Como o espaço em disco é gerenciado;
  - Como tornar o sistema eficiente e confiável;

Implementando o Sistema de Arquivos Diretórios

- Quando um arquivo é aberto, o Sistema Operacional utiliza o caminho fornecido pelo usuário para localizar o diretório de entrada;
- O diretório de entrada provê as informações necessárias para encontrar os blocos no disco nos quais o arquivo está armazenado:
  - Endereço do arquivo inteiro (alocação contínua);
  - Número do primeiro bloco do arquivo (alocação com listas encadeadas);
  - Número do *i-node*;
- O serviço de diretório é responsável por mapear o nome ASCII do arquivo na informação necessária para localizar os dados

Implementando o Sistema de Arquivos Diretórios

- O serviço de diretório também é responsável por manter armazenados os atributos relacionados a um arquivo:

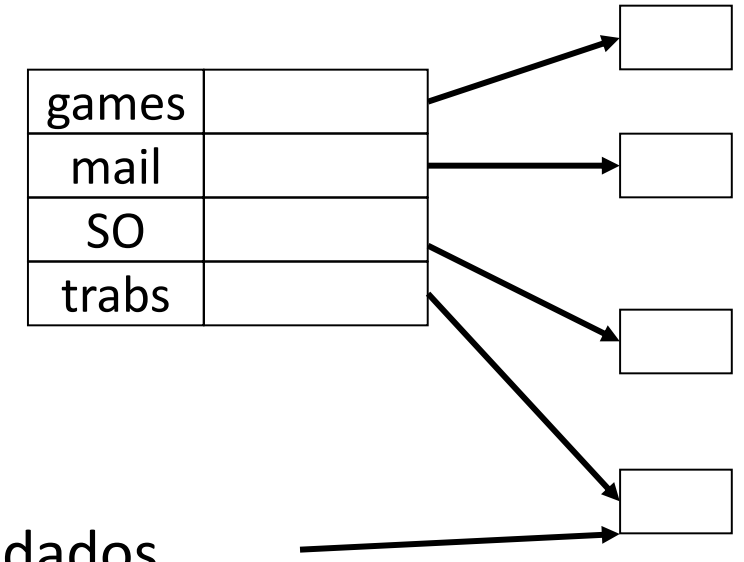
  a) Entrada do Diretório: Diretório consiste de uma lista de entradas com tamanho fixo (uma para cada arquivo) contendo um nome de arquivo (tamanho fixo), uma estrutura de atributos de arquivos, e um ou mais endereços de disco; MS/DOS e Windows;

games	atributos
mail	atributos
SO	atributos
trabs	atributos

a)

Implementando o Sistema de Arquivos
Diretórios

- O serviço de diretório também é responsável por manter armazenados os atributos relacionados a um arquivo:
  - b) *I-node*: nesse caso, o diretório de entrada é menor, armazenando somente o nome de arquivo e o número do *i-node* que contém os atributos; UNIX



Estrutura de dados
contendo atributos (*i-nodes)*

Implementando o Sistema de Arquivos Diretórios

- Tratamento de nomes de arquivos:
  - Maneira mais simples: limite de 255 caracteres reservados para cada nome de arquivo:
    - Toda entrada de diretório tem o mesmo tamanho;
    - Desvantagem: desperdício de espaço, pois poucos arquivos utilizam o total de 255 caracteres;
  - Maneira mais eficiente: tamanho do nome do arquivo é variável;

Implementando o Sistema de Arquivos
Diretórios

Tamanho do nome de arquivo variável

Tamanho da entrada do A1			
Atributos A1			
p	r	o	j
e	c	t	-
b	u	d	☒
Tamanho da entrada do A2			
Atributos A2			
p	e	r	s
o	n	n	e
l	☒		
.			
.			

a)

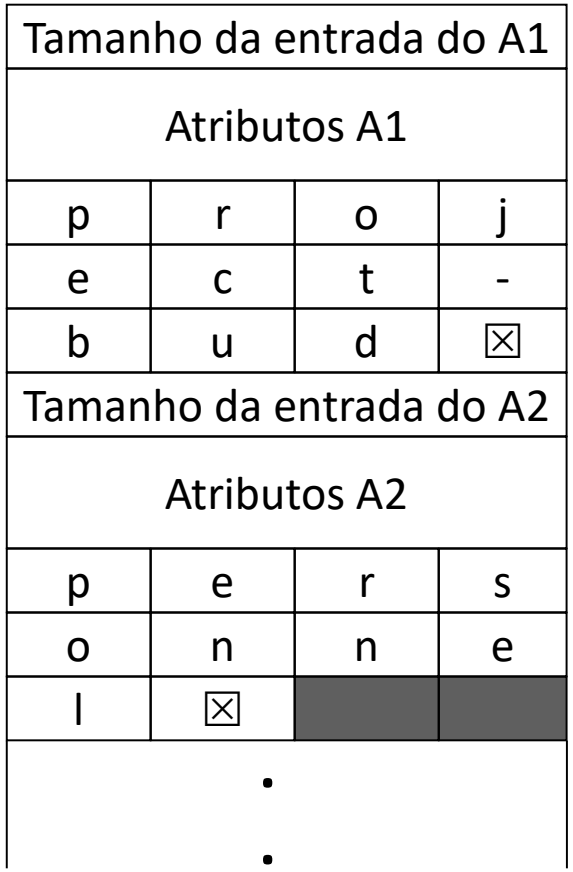
- Cada nome do arquivo é preenchido de modo a ser composto por um número inteiro de palavras

- Quando não ocupar toda a palavra, preenche de modo a completar a palavra (parte sombreada);

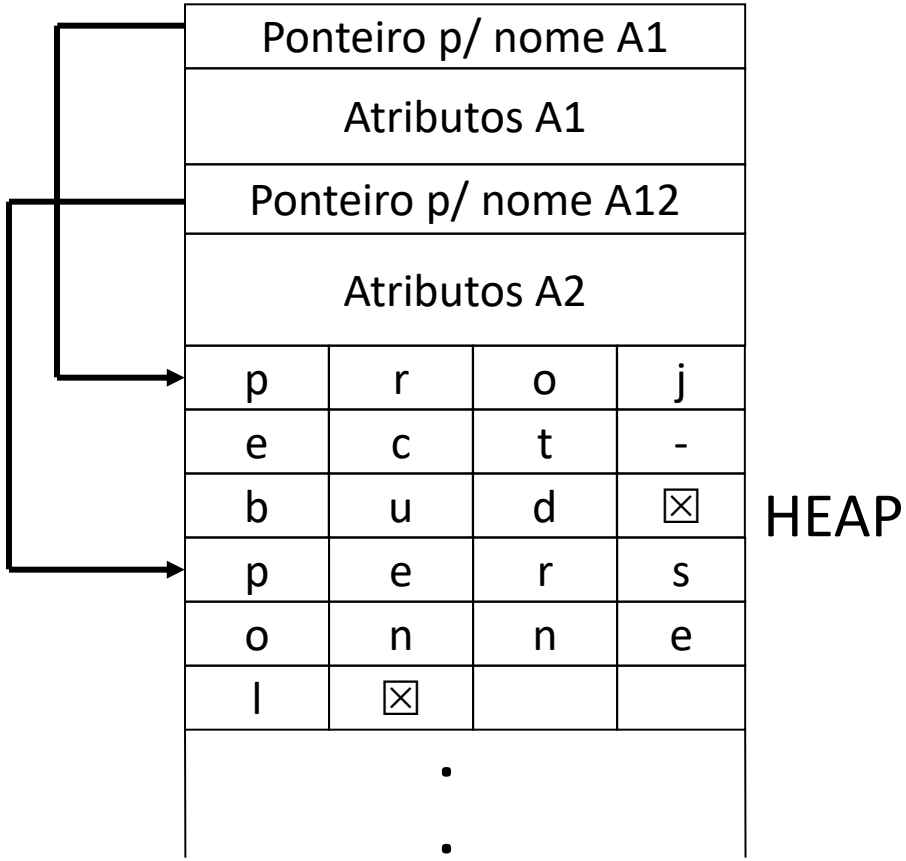
Problema: se arquivo é removido, um espaço em branco é inserido e pode ser que o nome de outro arquivo não possua o mesmo tamanho

Implementando o Sistema de Arquivos Diretórios

Tamanho do nome de arquivo variável



a)



b)

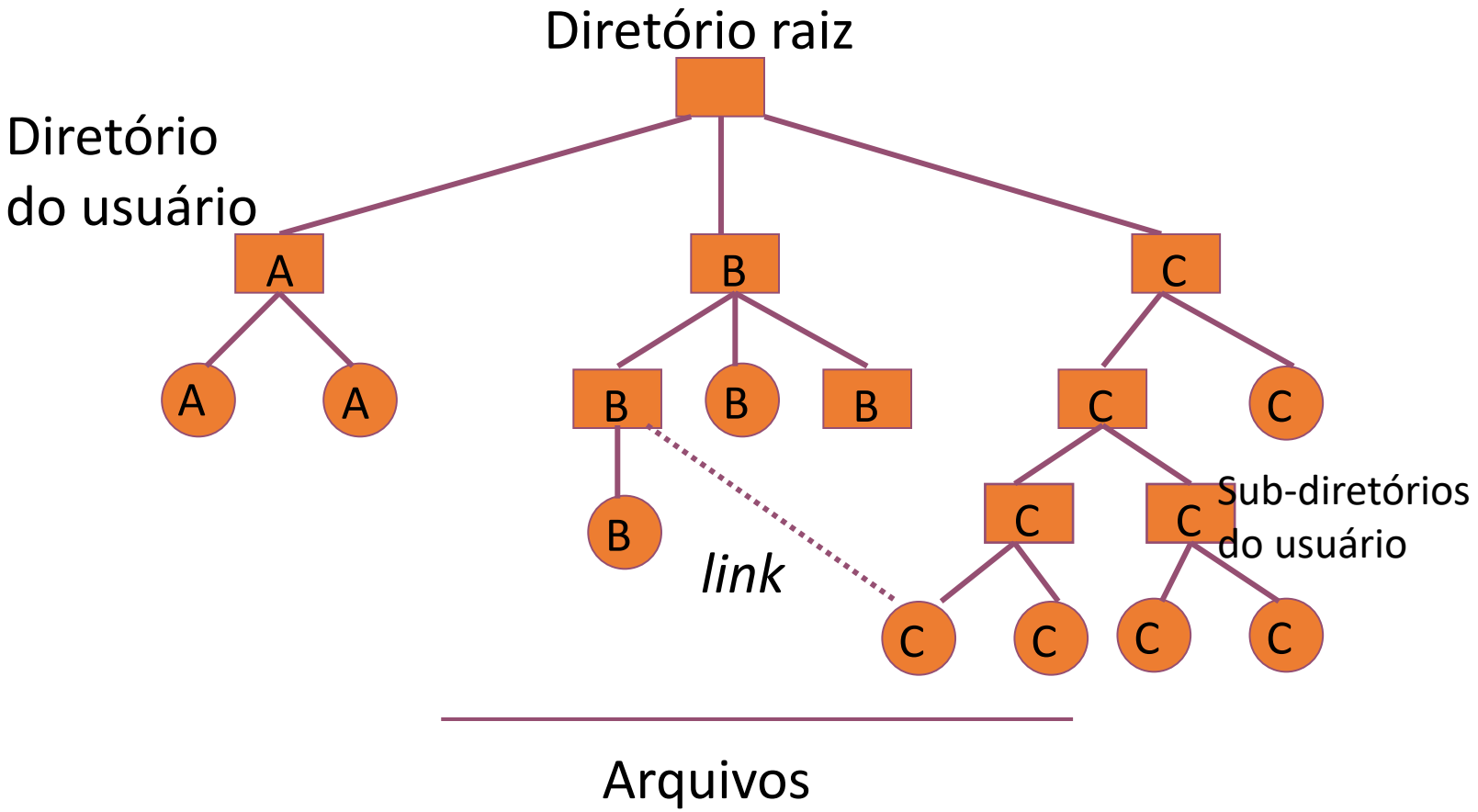
Implementando o Sistema de Arquivos Diretórios

- Busca em diretório:
  - Linear → lenta para diretórios muito grandes;
  - Uma tabela *Hash* para cada diretório:
    - O nome do arquivo é submetido a uma função *hash* para selecionar uma entrada na tabela *hash*;
      - Cria-se uma lista encadeada para todas as entradas com o mesmo valor *hash*;
    - Vantagem: busca mais rápida;
    - Desvantagem: gerenciamento mais complexo;
  - *Cache* de busca → ótima para poucas consultas de arquivos;

Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados

- Normalmente, o sistema de arquivos é implementado com uma árvore;
- Mas quando se tem arquivos compartilhados, o sistema de arquivos passa a ser um grafo acíclico direcionado (*directed acyclic graph – DAG*);
  - *Links* são criados;

Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados



Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados

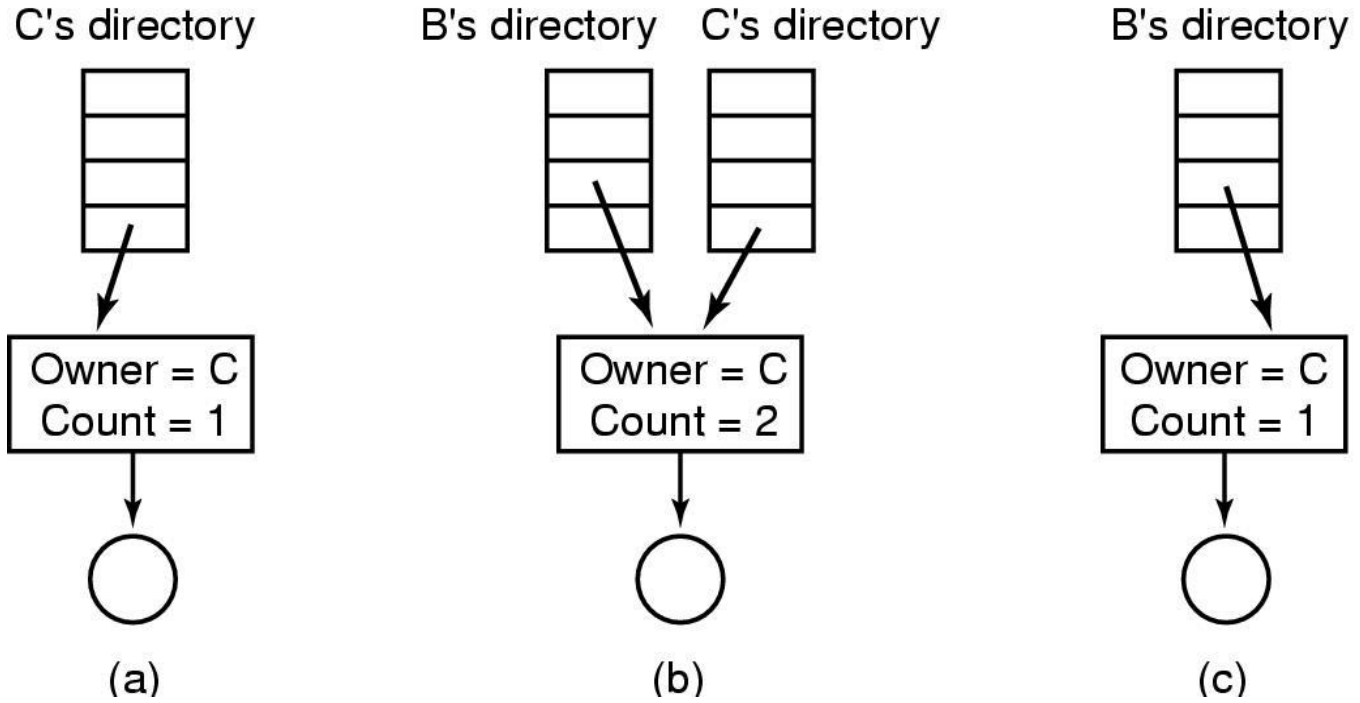
- Compartilhar arquivos é sempre conveniente, no entanto, alguns problemas são introduzidos:
  - Se os diretórios tiverem **endereços de disco**, então deverá ser feita um cópia dos endereços no diretório de B;
  - Se B ou C adicionar blocos ao arquivo *(append*)*,* os novos blocos serão relacionados somente no diretório do usuário que está fazendo a adição;
    - Mudanças não serão visíveis ao outro usuário, comprometendo o propósito do compartilhamento;

Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados

- Soluções:
  - Primeira solução: os **endereços de disco** não estão relacionados nos diretórios, mas em uma estrutura de dados (*i-node*) associada ao próprio arquivo. Assim, os diretórios apontam para essa estrutura; (UNIX)
    - Ligação Estrita (*hard link*);
    - Problema com essa solução: o dono do arquivo que está sendo compartilhado apaga o arquivo;

Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados

Ligação estrita



Remove entrada de C, mas deixa o contador *i-node* intacto;
B continua a usar o arquivo;

a) Antes da ligação;
b) Depois da ligação;
c) Depois de remover a entrada de C para o arquivo;

Implementando o Sistema de Arquivos
Arquivos compartilhados

- Segunda Solução: Ligação Simbólica → B se liga ao arquivo de C criando um arquivo do tipo ***link*** e inserindo esse arquivo em seu diretório;
  - Somente o dono do arquivo tem o ponteiro para o *i-node*;
  - O arquivo ***link*** contém apenas o caminho do arquivo ao qual ele está ligado;
    - Assim, remoções não afetam o arquivo;
    - Problema:
      - Sobrecarga;
      - Geralmente um *i-node* extra para cada ligação simbólica;

Implementando o Sistema de Arquivos

- Implementação do Sistema de Arquivos:
  - Como arquivos e diretórios são armazenados;
  - Como o espaço em disco é gerenciado;
  - Como tornar o sistema eficiente e confiável;

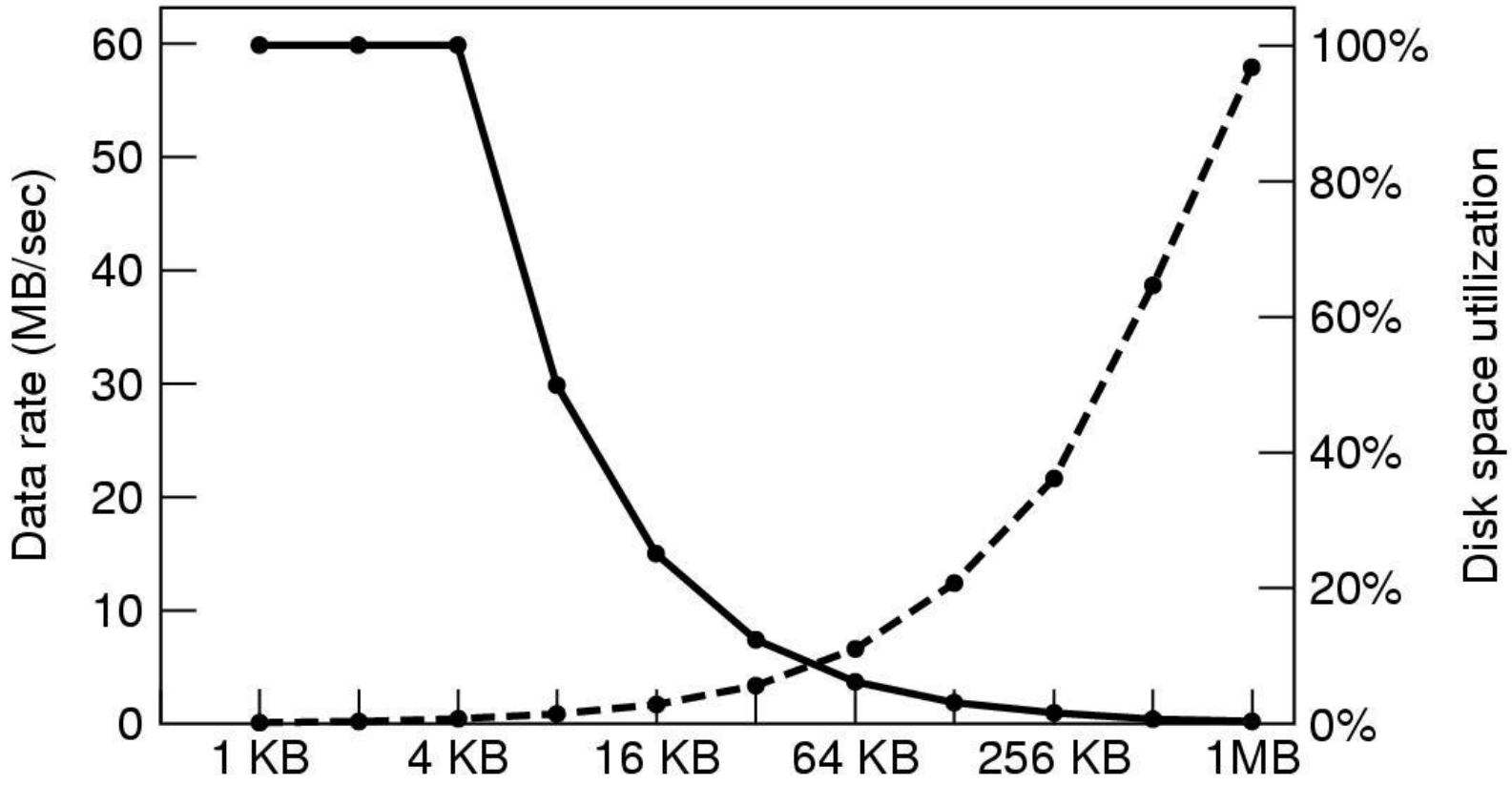
Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco

- Duas estratégias são possíveis para armazenar um arquivo de **n** bytes:
  - São alocados ao arquivo *n* bytes consecutivos do espaço disponível em disco;
  - Arquivo é espalhado por um número de blocos não necessariamente contínuos → blocos com tamanho fixo;
    - A maioria dos sistemas de arquivos utilizam essa estratégia;

Implementando o Sistema de Arquivos Gerenciamento de espaço em disco

- Questão importante: Qual é o tamanho ideal para um bloco?
  - Se for muito grande, ocorre desperdício de espaço;
  - Se for muito pequeno, um arquivo irá ocupar muitos blocos, tornando o acesso/busca lento;
- Assim, o tamanho do bloco tem uma grande influência na eficiência de utilização do espaço em disco e no acesso ao disco (desempenho);

Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco



a) Taxa de Dados (curva tracejada) X Tamanho do Bloco
b) Utilização do disco (curva contínua) X Tamanho do Bloco

Implementando o Sistema de Arquivos Gerenciamento de espaço em disco

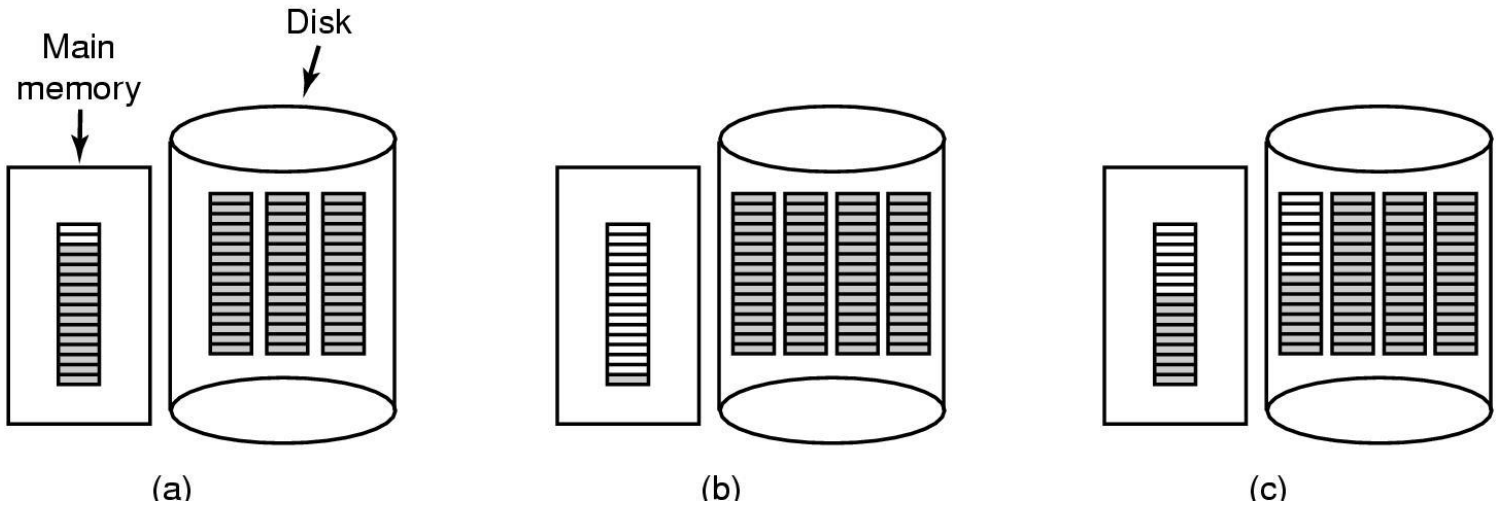
- Conflito entre performance (desempenho) e utilização do disco → blocos pequenos contribuem para um baixo desempenho, mas são bons para o gerenciamento de espaço em disco;
- UNIX → 1Kb;
- MS-DOS → 512 bytes a 32 Kb (potências de 2);
  - Tamanho do bloco depende do tamanho do disco;
  - Máximo número de blocos = 2^{16};
- WinNT → 2Kb; WINXP → 4Kb;
- Linux → 1Kb, 2Kb , 4Kb;

Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco

- Controle de blocos livres → dois métodos:
  - Lista ligada de blocos livres: 32 bits para endereçar cada bloco; mantida no disco;
    - Somente um bloco de ponteiros é mantido na memória principal → quando bloco está completo, esse bloco é escrito no disco;
    - Vantagens:
      - Requer menos espaço se existem poucos blocos livres (disco quase cheio);
      - Armazena apenas um bloco de ponteiros na memória;
    - Desvantagens:
      - Requer mais espaço se existem muitos blocos livres (disco quase vazio);
      - Dificulta alocação contínua;
      - Não ordenação;

Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco

- **Situação**: três blocos são liberados



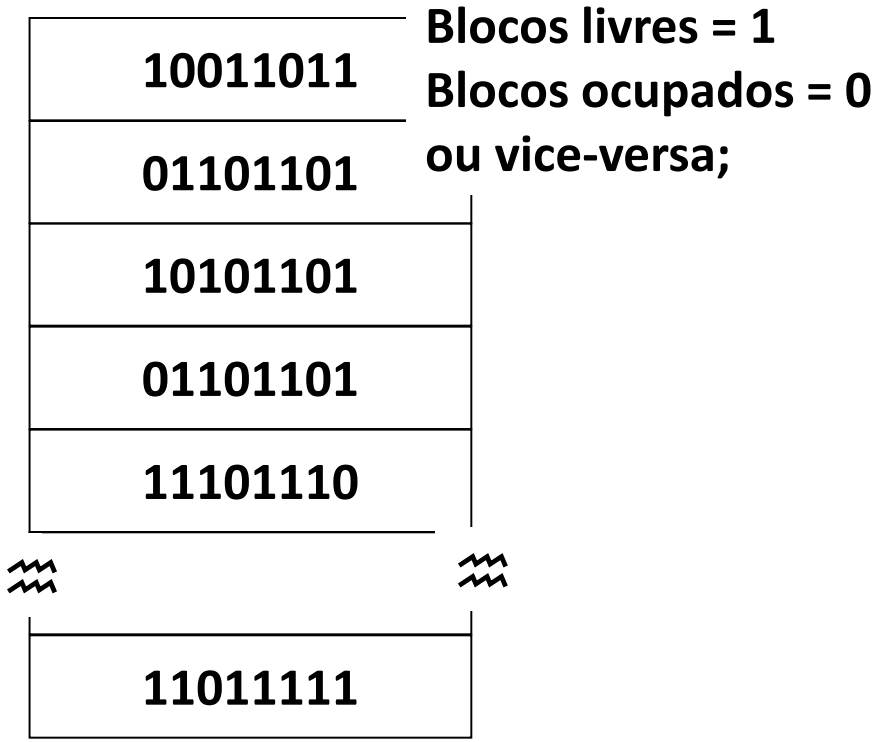
Blocos de ponteiros

- Entradas sombreadas representam ponteiros para blocos livres no disco

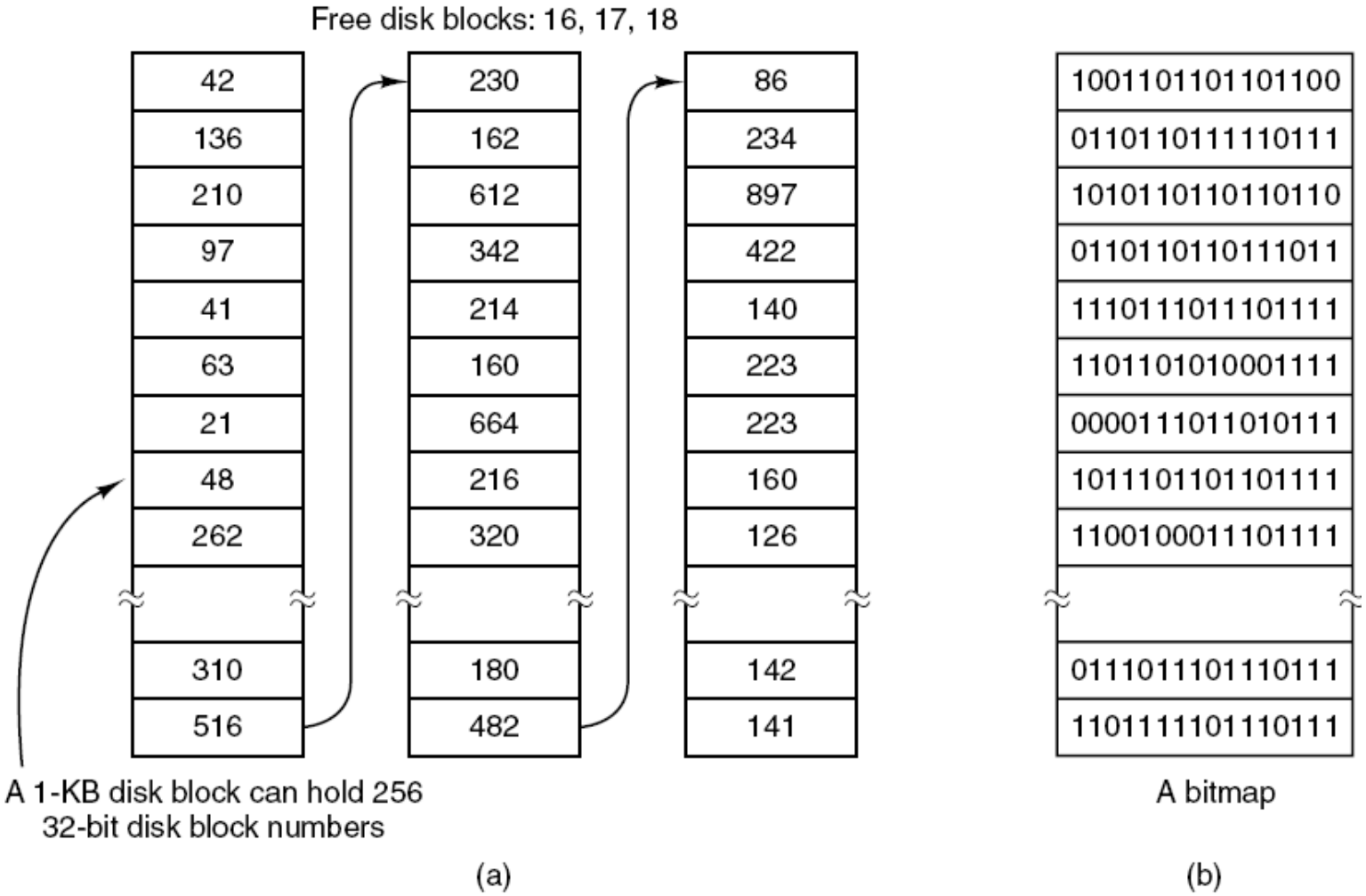
Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco

- Controle de blocos livres → dois métodos:
  - Mapa de bits (*bitmap)*: depende do tamanho do disco:
    - Um disco com **n** blocos, possui um mapa de bits com **n** *bits*, sendo um bit para cada bloco;
    - Mapa é mantido na memória principal;
    - Vantagens:
      - Requer menos espaço;
      - Facilita alocação contínua;
    - Desvantagens:
      - Torna-se lento quando o disco está quase cheio;

Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco



Implementando o Sistema de Arquivos
Gerenciamento de espaço em disco



Implementando o Sistema de Arquivos

- Implementação do Sistema de Arquivos:
  - Como arquivos e diretórios são armazenados;
  - Como o espaço em disco é gerenciado;
  - Como tornar o sistema eficiente e confiável;

Implementando o Sistema de Arquivos Eficiência e Confiabilidade

- Algumas características importantes:
  - Confiabilidade:
    - *Backups*;
    - Consistência;
  - Desempenho:
    - *Caching*;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- Danos causados ao sistema de arquivos podem ser desastrosos;
- Restaurar informações pode, e geralmente é, ser custoso, difícil e, em muitos casos, impossível;
- Sistemas de arquivos são projetados para proteger as informações de danos lógicos e não físicos;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- *Backups*
  - Cópia de um arquivo ou conjunto de arquivos mantidos por questão de segurança;
    - Mídia mais utilizada → fitas magnéticas;
  - Por que fazer *backups*?
    - Recuperar de desastres: problemas físicos com disco, desastres naturais;
    - Recuperar de "acidentes" do usuários que "acidentalmente" apagam seus arquivos;
      - Lixeira (diretório especial – *recycle bin*): arquivos não são realmente removidos;
- *Backups* podem ser feitos automaticamente (horários/dias programados) ou manualmente;
- *Backups* demoram e ocupam muito espaço → eficiência e conveniência;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- Questões:
  - O que deve ser copiado → nem tudo no sistema de arquivos precisa ser copiado;
    - Diretórios específicos;
  - Não fazer *backups* de arquivos que não são modificados há um certo tempo;
    - *Backups* semanais/mensais seguidos de *backups* diários das modificações → *incremental dumps*;
      - Vantagem: minimizar tempo;
      - Desvantagem: recuperação é mais complicada;
  - Comprimir os dados antes de copiá-los;
  - Dificuldade em realizar *backup* com o sistema de arquivos ativo:
    - Deixar o sistema *off-line*: nem sempre possível;
    - Algoritmos para realizar *snapshots* no sistema: salvam estado atual do sistema e suas estruturas de dados;
  - As fitas de *backup* devem ser deixadas em locais seguros;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

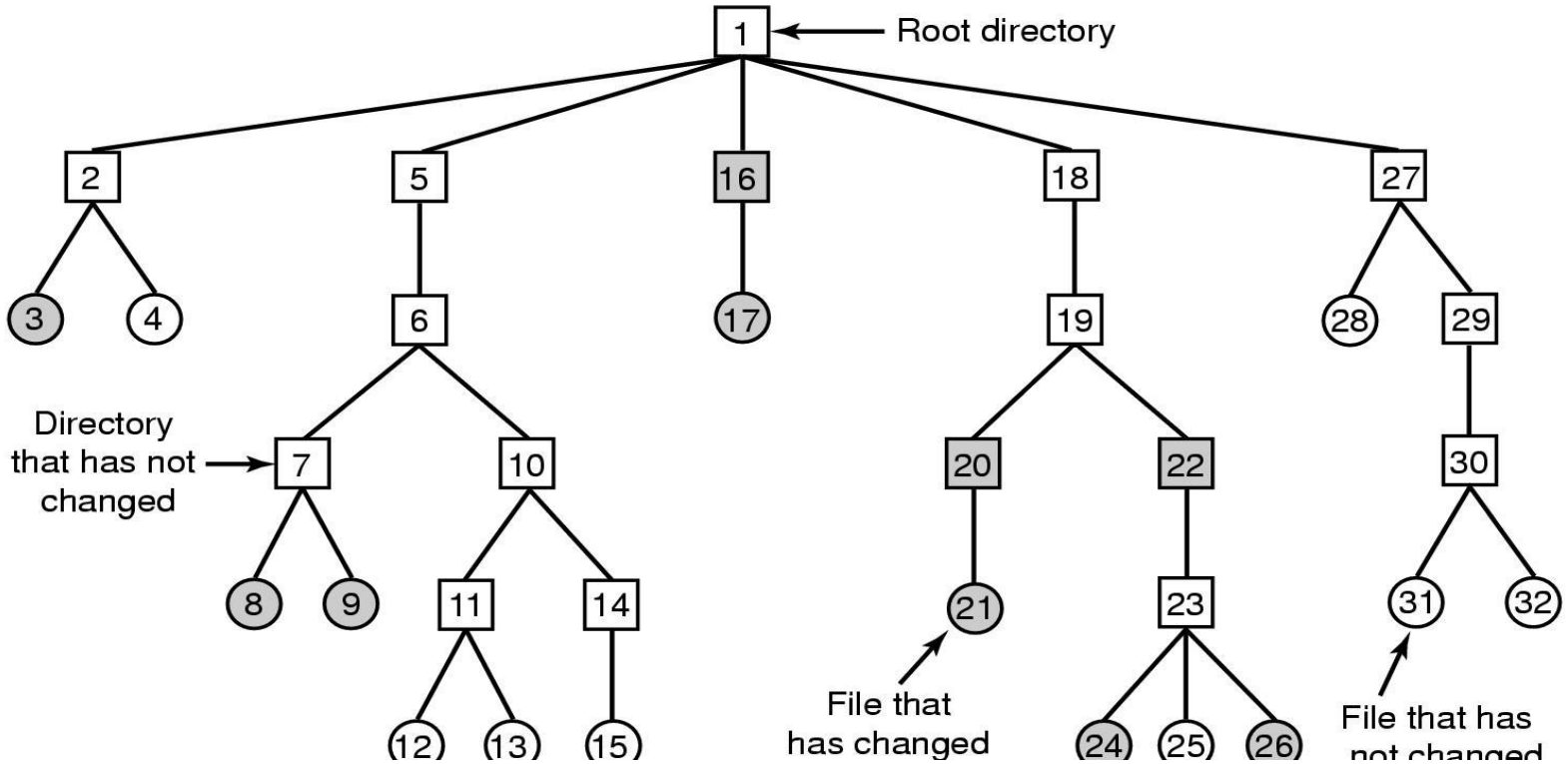
- Estratégias utilizadas para *backup*:
  - Física: cópia se inicia no bloco 0 e pára somente no último bloco, independentemente se existem ou não arquivos nesses blocos;
    - Desvantagens:
      - Copiar blocos ainda não utilizados não é interessante;
      - Possibilidade de copiar blocos com defeitos;
      - Difícil restaurar diretórios/arquivos específicos;
      - Incapacidade de saltar diretórios específicos;
      - Não permite cópias incrementais;
    - Vantagens:
      - Simples e rápida;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- Lógica: inicia-se em um diretório específico e recursivamente copia seus arquivos e diretórios; A ideia é copiar somente os arquivos (diretórios) que foram modificados;
  - Vantagem:
    - Facilita a recuperação de arquivos ou diretórios específicos;
  - Forma mais comum de *backup*;
  - Cuidados:
    - *Links* devem ser restaurados somente uma vez;
    - Como a lista de blocos livres não é copiada, ela deve ser reconstruída depois da restauração;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

Algoritmo para Cópia Lógica

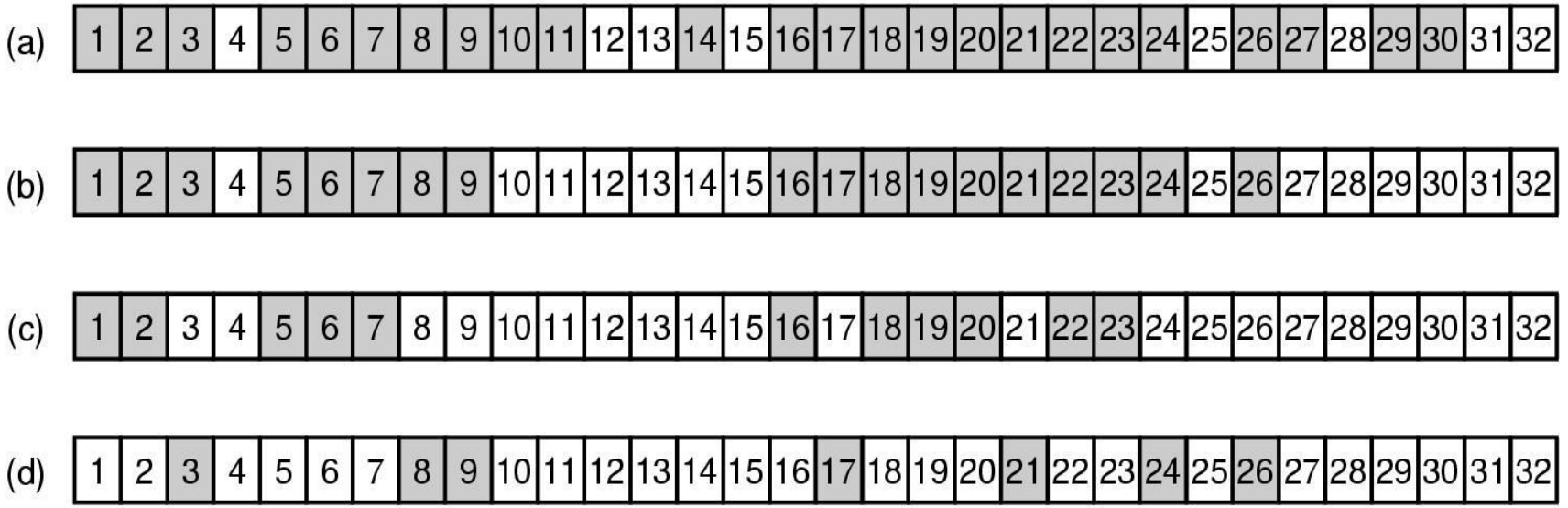


Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- Algoritmo para cópia lógica:
  - Fase 1 (a): marcar todos os arquivos modificados e os diretórios modificados ou não;
    - Diretórios marcados: 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 27, 29, 30;
    - Arquivos marcados: 3, 8, 9, 17, 21, 24, 26;
  - Fase 2 (b): desmarcar diretórios que não tenham arquivos/sub-diretórios abaixo deles modificados;
    - Diretórios desmarcados: 10, 11, 14, 27, 29, 30;
  - Fase 3 (c): varrer os *i-nodes* (em ordem numérica) e copiar diretórios marcados;
    - Diretórios copiados: 1, 2, 5, 6, 7, 16, 18, 19, 20, 22, 23;
  - Fase 4 (d): arquivos marcados são copiados.
    - Arquivos copiados: 3, 8, 9, 21, 24, 26;

Implementando o Sistema de Arquivos
Confiabilidade

Algoritmo para Cópia Lógica



Mapa de bits indexado pelo número do *i-node*

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

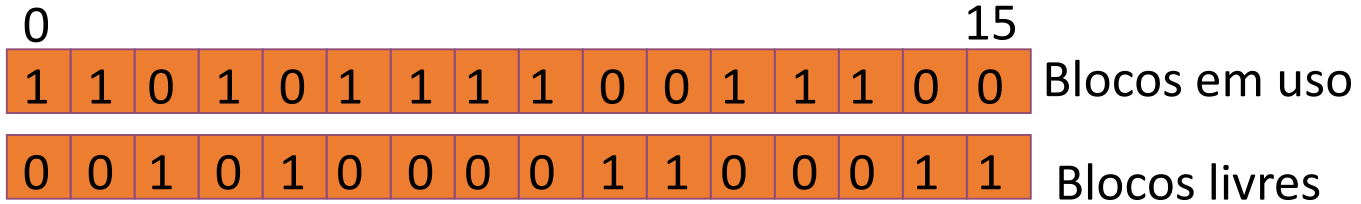
- Consistência → dados no sistema de arquivos devem estar consistentes;
- Crítico: blocos de *i-nodes*, blocos de diretórios ou blocos contendo a lista de blocos livres/mapa de bits de blocos livres;
- Diferentes sistemas possuem diferentes programas utilitários para lidar com inconsistências:
  - UNIX: *fsck*;
  - Windows: *scandisk*;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- FSCK (*file system checker*):
  - Blocos: o programa constrói duas tabelas; cada qual com um contador (inicialmente com valor 0) para cada bloco;
    - os contadores da primeira tabela registram quantas vezes cada bloco está presente em um arquivo;
    - os contadores da segunda tabela registram quantas vezes cada bloco está presente na lista de blocos livres;
    - Lendo o *i-node*, o programa constrói uma lista com todos os blocos utilizados por um arquivo (incrementa contadores da 1ª tabela);
    - Lendo a lista de bloco livres ou *bitmap*, o programa verifica quais blocos não estão sendo utilizados (incrementa contadores da 2ª tabela);
    - Assim, se o sistema de arquivos estiver consistente, cada bloco terá apenas um bit 1 em uma das tabelas (a);

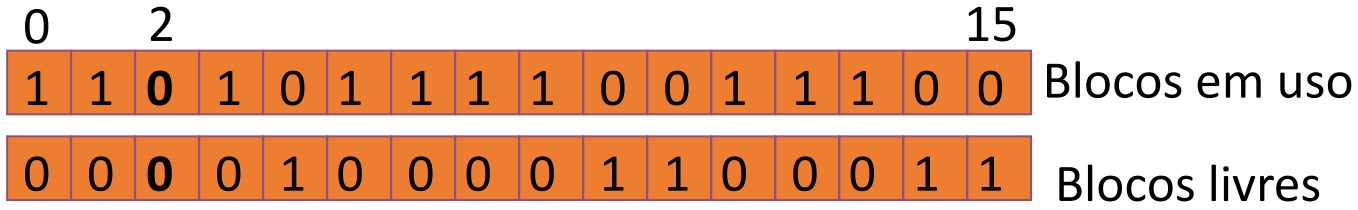
Implementando o Sistema de Arquivos
Confiabilidade

a)



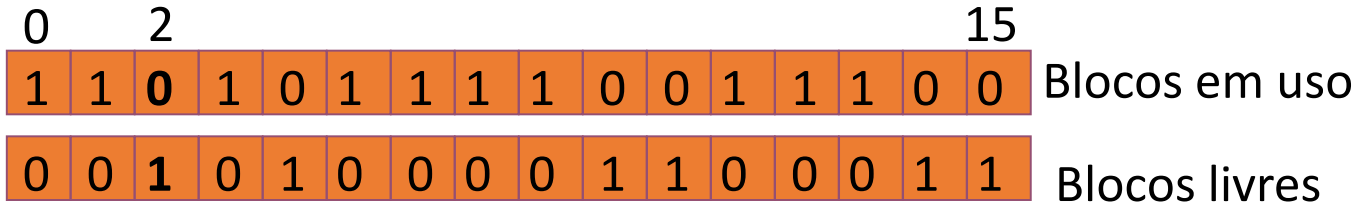
Se problemas acontecerem, podemos ter as seguintes situações:

b)



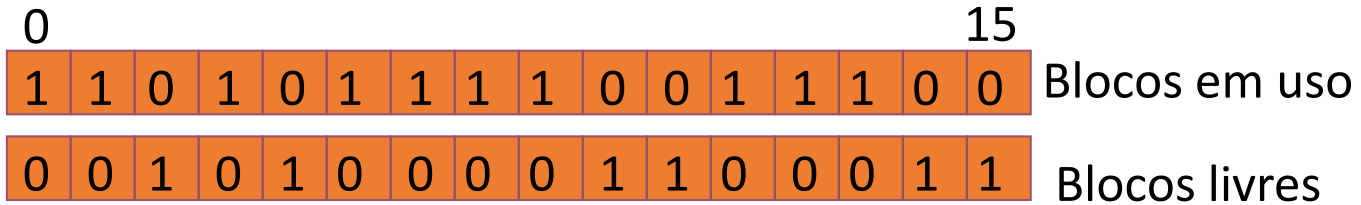
Bloco **2** perdido (*missing block*)

Solução: colocá-lo na lista de livres



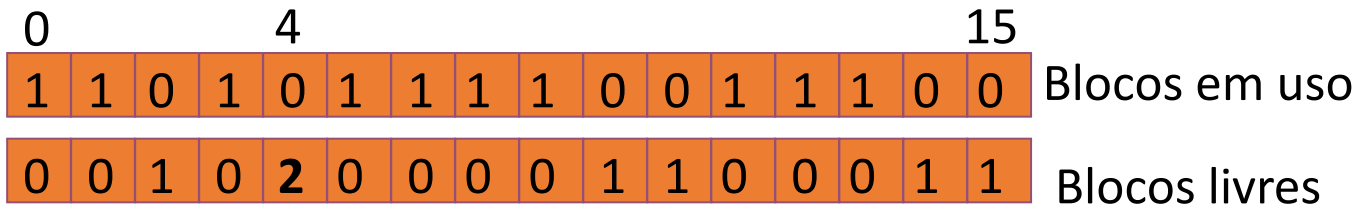
Implementando o Sistema de Arquivos
Confiabilidade

a)



Se problemas acontecerem, podemos ter as seguintes situações:

c)



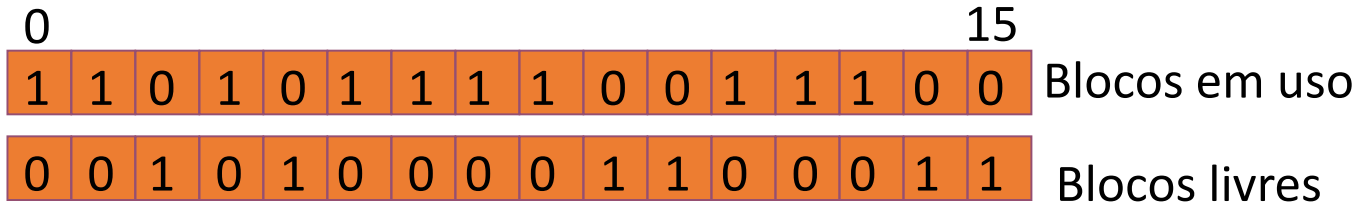
Bloco **4** duplicado na lista de livres

Solução: reconstruir a lista

Essa situação só ocorre se existir uma lista encadeada de blocos livres ao invés de um mapa de bits.

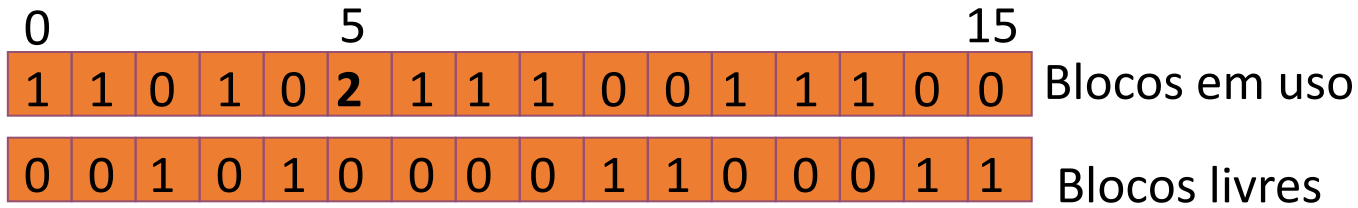
Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

a)



Se problemas acontecerem, podemos ter as seguintes situações:

d)



Bloco **5** duplicado na lista de “em uso” (dois arquivos)
Problemas:
- Se um arquivo for removido, o bloco vai estar nas duas listas;
- Se ambos forem removidos, o bloco vai estar na lista de livres duas vezes;

Solução: alocar um bloco livre, copiar para esse bloco o conteúdo do bloco 5 e atribuir esse bloco a um dos arquivos, avisando o administrador/usuário do problema;

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- FSCK (*file system checker*)
  - Arquivos: Além do controle de blocos, o verificador também armazena em um contador o uso de um arquivo → tabela de contadores por arquivos:
    - *Links* simbólicos não entram na contagem;
    - *Links* estritos (*hard link*) entram na contagem (arquivo pode aparecer em dois ou mais diretórios);
    - Cria uma lista indexada pelo número do i-node indicando em quantos diretórios cada arquivo aparece (contador de arquivos);
    - Compara esses valores com a contagem de ligações existentes (começa em 1 quando arquivo é criado);

Implementando o Sistema de Arquivos Confiabilidade

- FSCK (*file system checker*)
  - Arquivos:
    - Se o sistema estiver consistente, os contadores devem ser iguais;
    - Se a contagem de ligações no i-node for maior que o valor contado (contador de arquivo):
      - Problema: i-node não será removido quando o(s) arquivo(s) for(em) apagado(s)
    - Se for menor:
      - Problema: quando chegar em zero, o sistema marca o i-node como não usado e libera os blocos, mas ainda tem arquivo apontando para aquele i-node
    - Solução para ambos: atribuir o valor do contador de arquivos à contagem de ligações do i-node;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Acessar memória RAM é mais rápido do que acessar disco;
  - Movimentação do disco;
  - Movimentação do braço;
  - Técnicas para otimizar acesso:
    - *Caching*;
    - Leitura prévia de blocos;
    - Reduzir a quantidade de movimentos do braço do disco;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

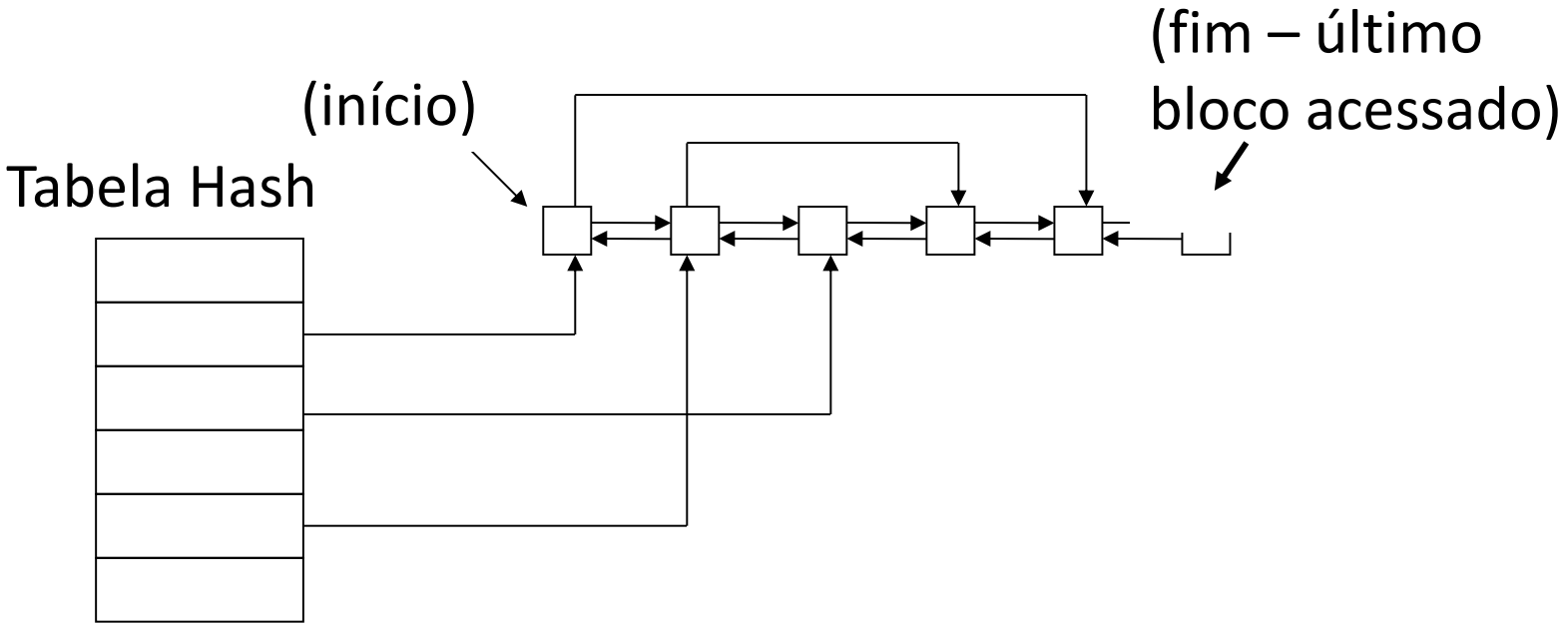
- *Caching*: técnica conhecida como *cache* de bloco ou *cache* de *buffer*;
  - *Cache*: um conjunto de blocos que pertencem logicamente ao disco mas são colocados na memória para melhorar o desempenho do sistema (reduzir acesso em disco);
- Quando um bloco é requisitado, o sistema verifica se o bloco está na *cache*; se sim, o acesso é realizado sem necessidade de ir até o disco; caso contrário, o bloco é copiado do disco para a *cache*;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Para se carregar um novo bloco na *cache*, poderá ser necessário remover um dos blocos que estão armazenados, reescrevendo-o no disco caso tenha sido modificado → troca de blocos (semelhante à troca de páginas);
  - Algoritmos utilizados na paginação podem ser utilizados nesse caso;
- O algoritmo mais utilizado é o LRU (*least recently used*) com listas duplamente encadeadas;
- Para determinar se um bloco está na *cache* pode-se usar uma Tabela *Hash*;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

Todos os blocos com o mesmo valor *hash* são encadeados na lista



Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Importante: Não convém manter blocos de dados na *cache* por um longo tempo antes de escrevê-los de volta ao disco;
- Alguns sistemas realizam cópias dos blocos modificados para o disco de tempos em tempos;
  - UNIX/Windows: um programa ***update*** realiza a cada 30 segundos uma chamada ***sync***, que copia os blocos da cache no disco;
  - MS-DOS: copia o bloco para o disco assim que esse tenha sido modificado → *cache* de escrita direta *(write-through*)
    - Estratégia usada para discos flexíveis;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Leitura prévia dos blocos: blocos são colocados na *cache* antes de serem requisitados;
  - Só funciona quando os arquivos estão sendo lidos de forma sequencial;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Reduzir o movimento do braço do disco: colocando os blocos que são mais prováveis de serem acessados próximos uns dos outros em sequência (mesmo cilindro do disco)
  - O gerenciamento do disco é feito por grupos de blocos consecutivos e não somente por blocos;

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho

- Para sistemas que utilizam os *i-nodes*, são necessários dois acessos: um para o bloco e outro para o *i-node*;
- Três estratégias podem ser utilizadas para armazenamento dos *i-nodes*:
  - A) Os *i-nodes* são colocados no início do disco;
  - B) Os *i-nodes* são colocados no meio do disco;
  - C) Dividir o disco em grupos de cilindros, nos quais cada cilindro tem seus próprios *i-nodes*, blocos e lista de blocos livres (*bitmap*);

Implementando o Sistema de Arquivos Desempenho