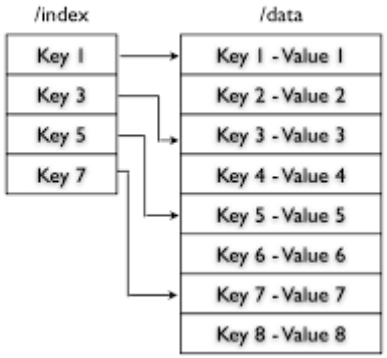
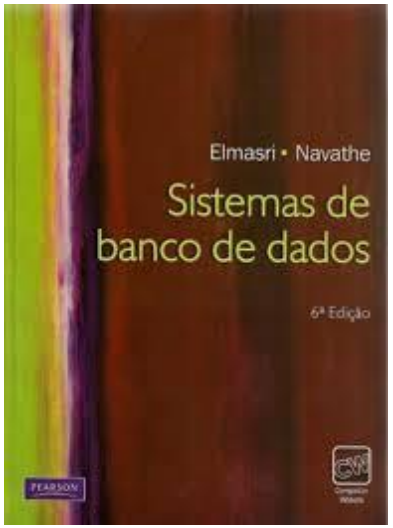
Unidade 10 – Estruturas de Indexação em Banco de Dados Parte 1

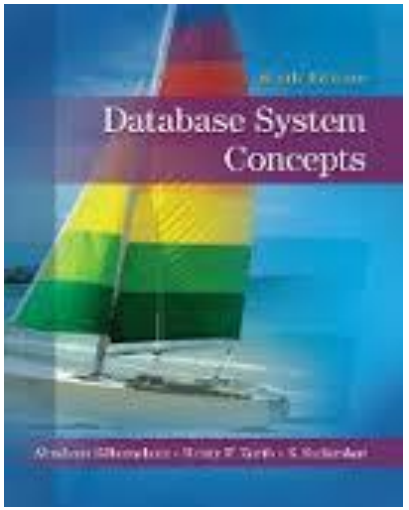


Prof. Aparecido V. de Freitas
Doutor em Engenharia
da Computação pela EPUSP

Bibliografia



Sistemas de Banco de Dados
Elmasri / Navathe 6ª edição



Sistema de Banco de Dados
Korth, Silberschatz – Sixth Editon

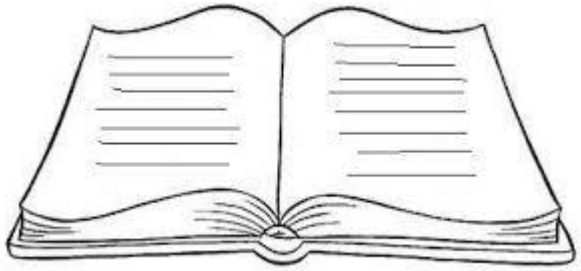
Introdução

- **Índices** são estruturas de acesso auxiliares, utilizadas para agilizar a recuperação de registros em resposta a certas condições de pesquisa;
- São arquivos **adicionais** que oferecem formas alternativas de acesso aos dados (caminhos de acesso) sem afetar seu posicionamento físico.

Índices

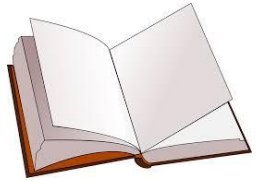
- São construídos com base em qualquer campo do arquivo. Esses campos são chamados de **campos de indexação**;
- Num mesmo arquivo podem-se criar índices em múltiplos campos. Isso significa que um arquivo pode ter vários **índices**;
- Para se encontrar um registro, pesquisa-se o **índice**. O índice retorna o **endereço** do bloco do disco primário onde o registro está localizado;
- Índices usualmente baseiam-se em **arquivos ordenados** (índices de um único nível) e estruturas de dados em **árvores** (índices multi-nível, B^+-trees);
- Índices também podem ser construídos com base em **Hashing**.

Índices ordenados de único nível



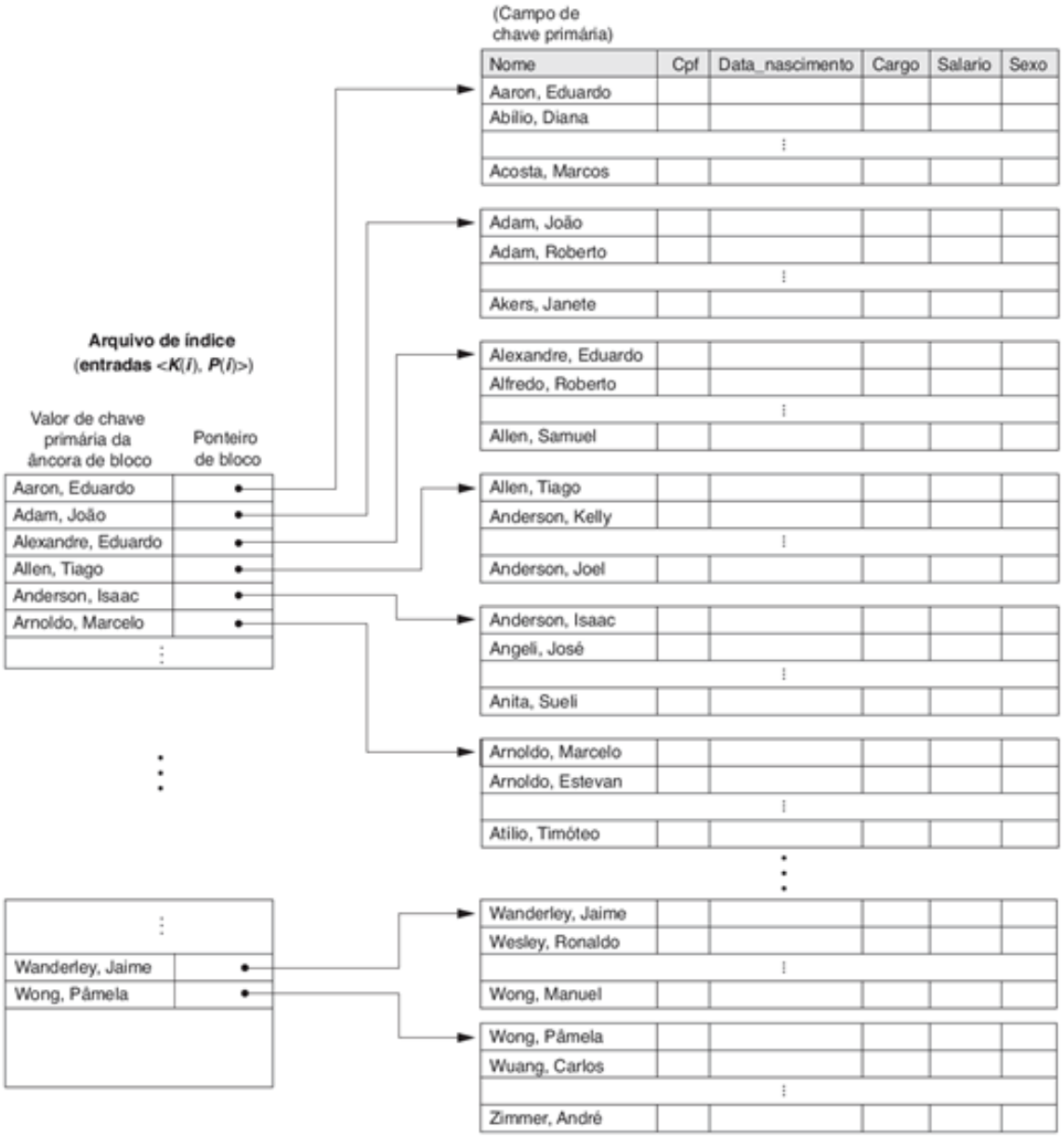
- Procedimento semelhante ao índice usado em um **livro**;
- Por meio da pesquisa no índice de um livro, obtém-se o endereço do termo desejado (número da página) e em seguida procura-se o termo na página citada.
- O índice costuma armazenar cada valor do campo de índice junto com uma **lista de ponteiros** para todos os blocos de disco que contêm registros com esse valor de campo.
- Os valores no índice são ordenados de modo que se possa realizar uma **pesquisa binária**.

Índices Primários



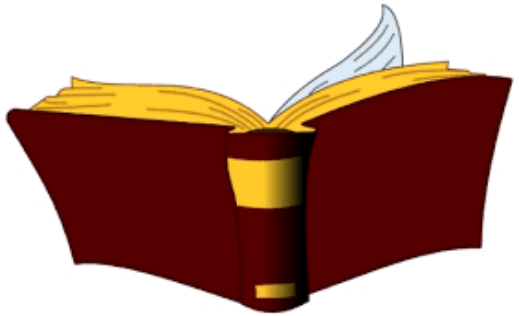
- O campo de índice é o campo chave de um arquivo ordenado de registros;
- Índice primário é um arquivo ordenado cujos registros são de tamanho fixo com dois campos: **campo de índice** e **ponteiro para um bloco de disco** (endereço de bloco).
- Existe **uma** entrada de índice no índice primário para cada **bloco** no arquivo de dados.
- Cada entrada de índice tem o valor do campo de chave primária para o primeiro registro em um bloco e um ponteiro para esse bloco.
- O número total de entradas no índice é igual ao número de blocos de disco no arquivo de dados ordenado. O primeiro registro em cada bloco do arquivo é chamado de **REGISTRO DE ÂNCORA** do bloco.
- Um índice primário é um **índice esparso** (não denso), pois inclui uma entrada para cada bloco de disco do arquivo.

Índices Primários



Índices Primários

- O arquivo de índice para um índice primário ocupa um espaço muito menor do que o arquivo de dados, por dois motivos:
  - **Primeiro**, existem menos entradas de índice do que registro no arquivo de dados;
  - **Segundo**, cada entrada de índice normalmente é menor em tamanho que um registro de dados, pois tem apenas dois campos: **chave** e **ponteiro** para o bloco de dados.
- Portanto, uma pesquisa binária no arquivo de índice requer menos acessos de bloco do que uma pesquisa binária no arquivo de dados.



Exemplo 0 – Arquivo ordenado sem índice

- Suponha um arquivo **ordenado** com **r** = 30.000 registros armazenados em um disco com tamanho de bloco **B** = 1024 bytes. Os registros de arquivo são de tamanho fixo e não espalhados, com tamanho de registro **R** = 100 bytes.
- O fator de bloco para o registro é **bfr** = |_ B/R _| = 1024/100 = 10 registros por bloco;
- O número de blocos necessários para o arquivo é r/bfr = 30.000 / 10 = 3.000 blocos.
- Uma pesquisa binária no arquivo de dados precisaria de aproximadamente:

$$\log_2 b = \log_2 3.000 = \mathbf{12} \text{ acessos de bloco.}$$

Exemplo 1 – Arquivo ordenado com índice primário

- Suponha, no exemplo anterior, que o campo **chave** de ordenação do arquivo seja V = 9 bytes de extensão, um **ponteiro** de bloco seja P = 6 bytes de extensão e se tenha construído um **índice primário** para o arquivo.

- O tamanho de cada entrada de índice é **Ri** = (9+6) = 15 bytes, de modo que o fator de bloco para o arquivo de índice é: **bfri** = |_ B/Ri _| = 1024 / 15 = **68** entradas por bloco.

- O número total de entradas de índice ri é igual ao número de blocos no arquivo de dados, que é 3000, ou seja o índice tem 3000 registros. (o arquivo de dados tem 30.000 registros).

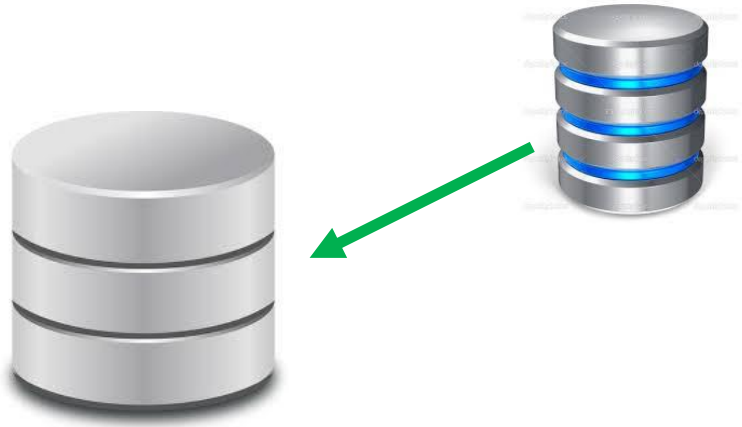
- O número de blocos no arquivo de índice é: **bi** = ri / bfri = 3000 / 68 = **45** blocos.

- Para realizar uma pesquisa binária no arquivo de índice, seriam necessários $\log_2 45 =$ **6** acessos de bloco.

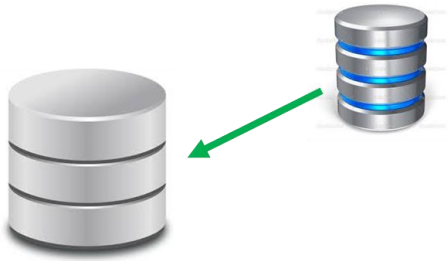
- Para procurar um registro usando o índice, precisa-se de um acesso de bloco adicional ao arquivo de dados, resultando um total de 6 + 1 = **7** acessos de bloco, uma melhoria em relação à pesquisa binária no arquivo de dados, que exigiu **12** acessos a bloco de disco.

Manutenção de dados com Índices Primários

- Com índices primários, aumenta-se o problema de **inserção** e **exclusão** de registros de dados, pois a movimentação de registros pode ocasionar mudança nos registros de âncora de alguns blocos.



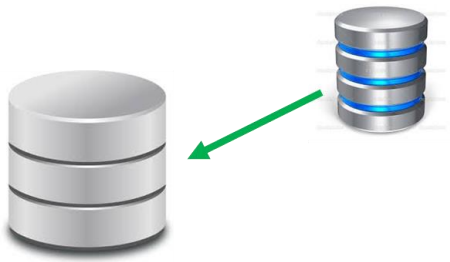
Índices Secundários



- O índice secundário pode ser criado em um campo que é uma **chave candidata** e tem um valor **único** em cada registro, ou em um campo **não chave** com valores **duplicados**.
- O arquivo de dados pode ser um arquivo **ordenado**, **desordenado** ou **hashed**.
- O índice é novamente um arquivo ordenado com dois campos:
- O primeiro campo é do mesmo tipo de dado de algum campo não ordenado do arquivo de dados que seja um campo de índice.
- O segundo campo é um ponteiro de bloco ou um ponteiro de registro.
- Muitos índices secundários podem ser criados para o mesmo arquivo de dados – cada um representa um meio adicional de acessar esse arquivo com base em algum campo específico.

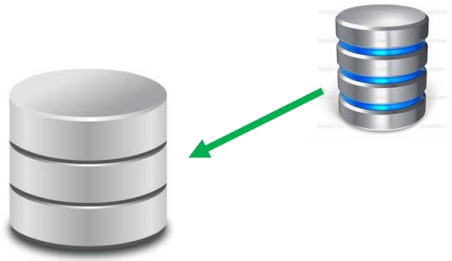
Índices Secundários com chaves candidatas

- O índice é construído com base em um campo de chave (único) que tem um valor distinto para cada registro.
- Tal campo é às vezes chamado de Chave Secundária.
- No modelo relacional, isso corresponderia a qualquer atributo de chave **UNIQUE** ou ao atributo de chave primária da tabela.
- Nesse caso, **existe uma entrada de índice para cada registro no arquivo de dados**, que contém o valor do campo para o registro e um ponteiro para o bloco em que o registro está armazenado ou para o próprio registro.
- Assim, tal índice é **denso**.

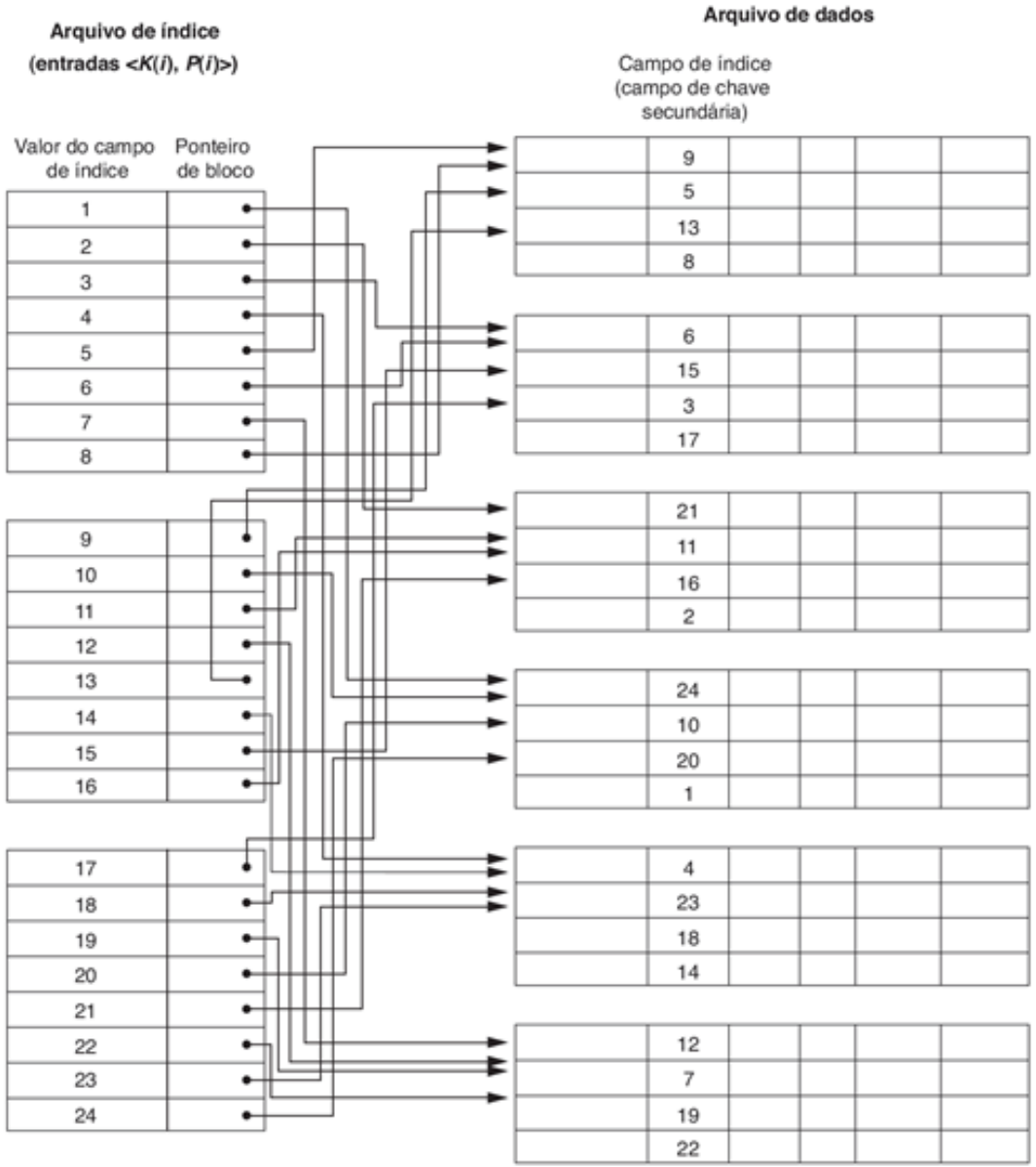


Índices Secundários com chaves candidatas

- As entradas de índice são ordenadas pelo valor de chave K, de modo que se pode realizar uma pesquisa binária.
- Como os registros de dados não estão ordenados pelo valor de chave secundária, não se pode utilizar **âncoras de bloco**.
- É por isso que uma entrada de índice é criada para cada registro no arquivo de dados.
- Um índice secundário, em geral, **precisa de mais espaço de armazenamento** e tempo de busca maior que um índice primário, devido ao seu **maior número de entradas**.



Índices Secundários com chaves candidatas



Exemplo 2 – Índice Secundário com Chave Candidata

- Suponha um arquivo **ordenado** com **r** = 30.000 registros armazenados em um disco com tamanho de bloco **B** = 1024 bytes. Os registros de arquivo são de tamanho fixo e não espalhados, com tamanho de registro **R** = 100 bytes. O arquivo tem 3.000 blocos.

- Suponha que queiramos procurar um registro com um valor específico para a chave secundária – um campo de chave não ordenado do arquivo que tem V = 9 bytes de extensão.

- Sem o índice secundário, para fazer uma pesquisa linear no arquivo, seriam necessário – em média – b/2 = 3.000 /2 = 1.500 acessos de bloco na média.

Exemplo 2 – Índice Secundário com Chave Candidata

- Suponha que construíssemos um índice secundário nesse campo de chave não ordenado do arquivo.
- Como no exemplo anterior, um ponteiro de bloco tem P = 6 bytes de extensão, de modo que cada entrada de índice tem Ri = (9 + 6) = 15 bytes, e o fator de bloco para o índice é bfri = 1.024/15 = 68 entradas por bloco.
- Em um índice secundário denso como esse, o número total de entradas de índice ri é igual ao número de registros no arquivo de dados, que é igual a 30.000.
- O número de blocos necessários para o índice é, portanto, bi = ri / bfri = 3.000/68 = 442 blocos.

Exemplo 2 – Índice Secundário com Chave Candidata

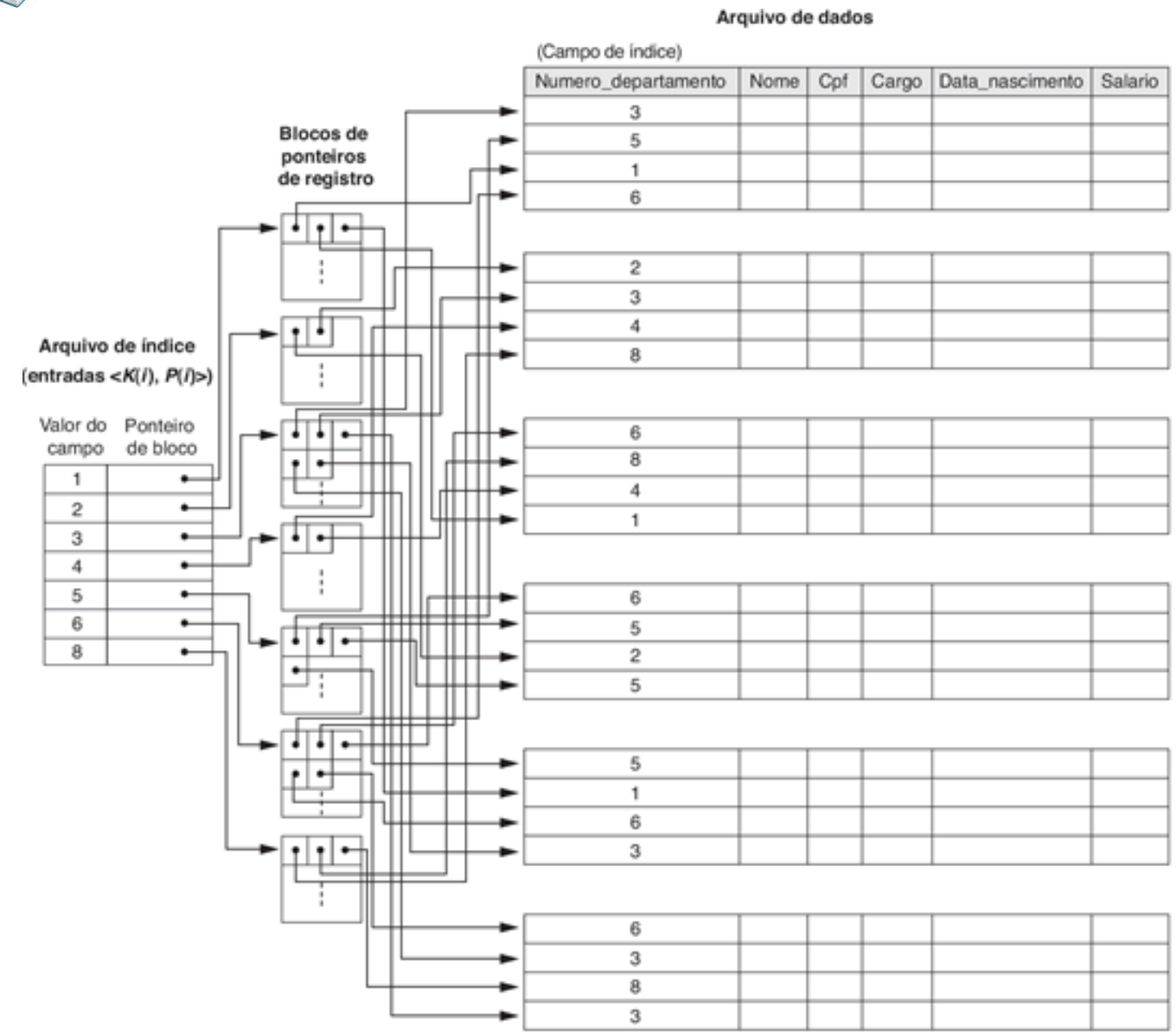
- Uma pesquisa binária nesse índice secundário precisa de $\log_2 bi = \log_2 442 = 9$ acessos de bloco.

- Para procurar um registro usando o índice, precisamos de um acesso de bloco adicional ao arquivo de dados para um total de 9 + 1 = 10 acessos de bloco - uma grande melhoria em relação aos 1.500 acessos de bloco necessários – em média – para um pesquisa linear.

Índices Secundários em campos não chave

- Pode-se também criar índices secundários em um campo não chave, não ordenado de um arquivo de dados.
- Nesse caso, diversos registros no arquivo de dados podem ter o mesmo valor para o campo de índice.
- **Cria-se um nível de indireção extra** para lidar com os múltiplos ponteiros.

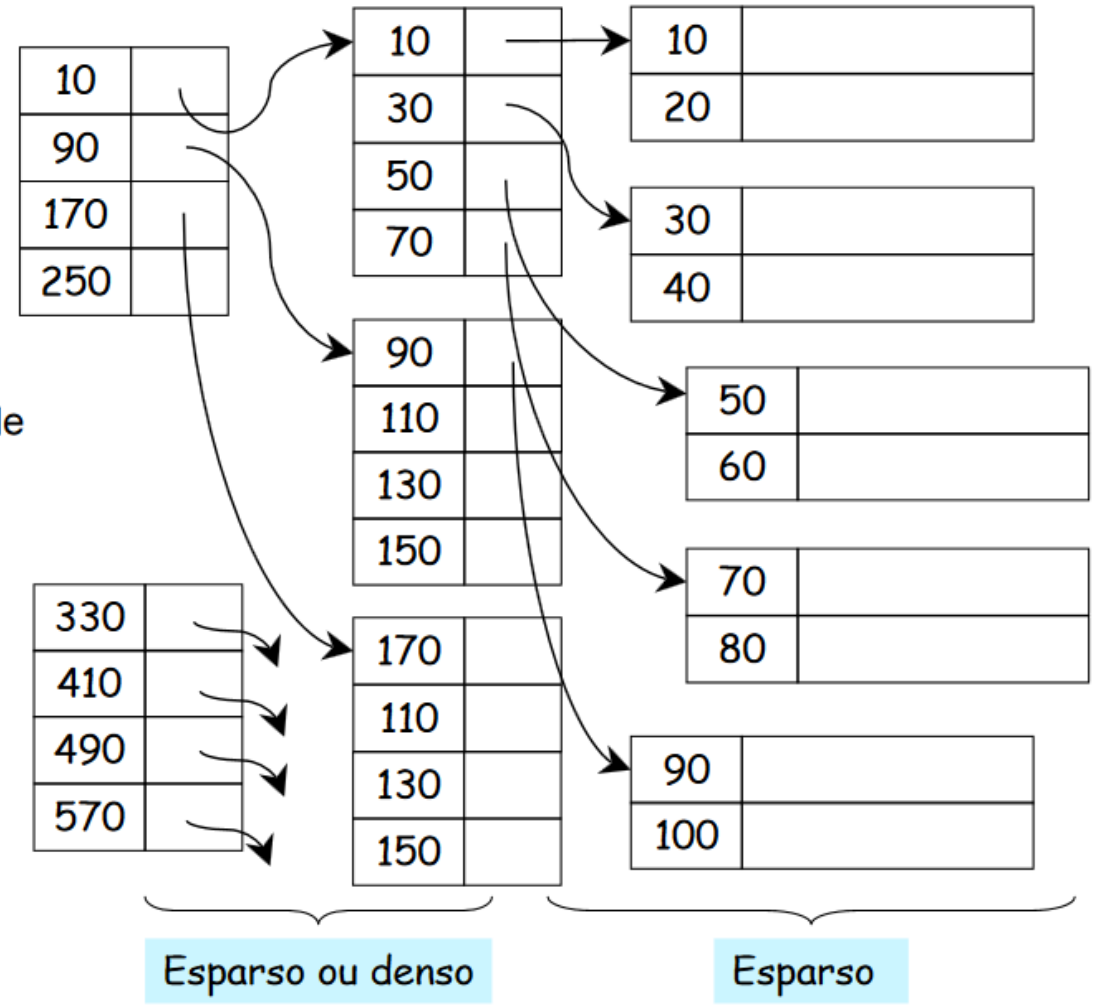
Índices Secundários em campos não chave



Índices Multiníveis

Índices Multiníveis

- Motivação: se o arquivo de índices se torna muito grande para ser armazenado em bloco de disco, é interessante indexá-lo em mais de um nível
- Vantagem: índice pequeno pode ser mantido em memória e o tempo de busca é mais baixo
- Desvantagem: muitos níveis de índices podem aumentar a complexidade do sistema (talvez seja melhor usar a árvore-B)



Índices Multiníveis

→ Um índice multinível é um "Índice de índice".

- Primeiro nível: arquivo ordenado pela chave de indexação, valores distintos, entradas de tamanho fixo.
- Demais níveis: índice primário sobre o índice do nível anterior e assim sucessivamente até que no último nível o índice ocupe apenas um bloco.
- Número de acessos a bloco: um a cada nível de índice, mais um ao bloco do arquivo de dados.

Índices Multiníveis

- Com índices ordenados de um nível, operações de searching podem ser aplicadas por meio de uma pesquisa binária que requer aproximadamente $\log_2 b_i$ acessos de bloco para um índice com b_i blocos, pois cada etapa do algoritmo reduz a parte do arquivo de índice que se continua a pesquisa por um fator de **2**.

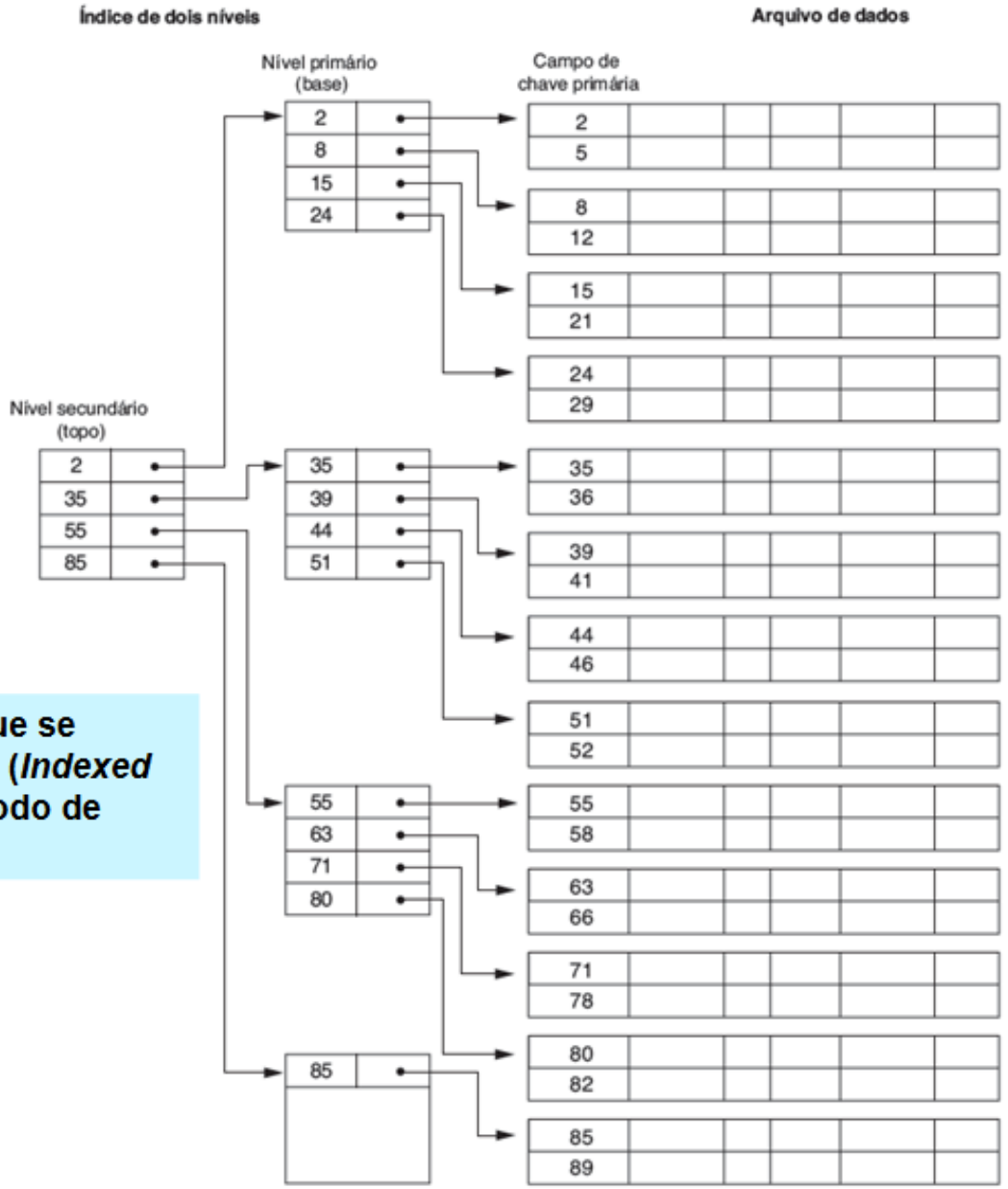
- Com **índices multinível**, pode-se reduzir a parte do índice que se continua a pesquisar por bfr_i, o fator de bloco para o índice, que é muito maior que 2.

- Logo, com índices multinível, o espaço de pesquisa é reduzido muito mais rapidamente.

- O valor **bfr_i** é chamado **fan-out** do índice multinível e simbolizado por **f_0**.

- Na pesquisa binária, o espaço de pesquisa de registro é dividido em duas metades, enquanto que com índices multinível o dividimos **n** vezes (onde **n** é o **fan-out**).

Índices Multiníveis



Índice primário de dois níveis que se parece com a organização ISAM (*Indexed Sequential Acess Method* – Método de Acesso Sequencial Indexado).

Exemplo 3 – Índice Multinível

- Suponha que o índice secundário denso do Exemplo 2 seja convertido em um índice multinível;
- O fator de bloco de índice bfri = **68** entradas de índice por bloco, que é também o fan-out fo para o índice multinível;
- O número de blocos do primeiro nível b1 = 442 também já foi calculado;
- O número de blocos de segundo nível será b2 = b1/f0 = 442/**68** = 7 blocos;
- O número de blocos de terceiro nível será b2/f0 = 7 /**68** = 1 bloco.
- Logo, o terceiro nível é o **nível topo** do índice e t = 3.
- Para acessar um registro qualquer, deve-se acessar um bloco em cada nível mais um bloco do arquivo de dados, de modo que precisaríamos t + 1 = 3 + 1 = **4 acessos de bloco**.
- No exemplo 2, foram necessários **10** acessos a bloco. (redução portanto de **10** p/ **4** acessos de bloco).

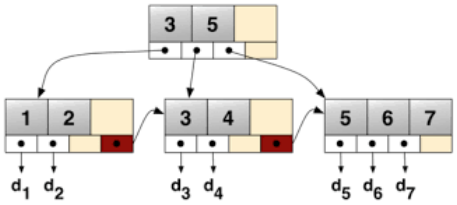
Índice Multinível – Observações

- Com índices multinível, reduz-se o número de blocos acessados quando se pesquisa um registro, dado seu valor de campo de indexação.

- Ainda se enfrenta problemas ao se lidar com inserções e **exclusões** de índice, pois todos os níveis de índice são arquivos **fisicamente** ordenados.

- Pode-se adotar um índice multinível chamado índice multinível dinâmico, que deixa algum espaço em cada um de seus blocos para inserir novas entradas e usa algoritmos apropriados de inserção/exclusão para criar e excluir novos blocos de índice quando o arquivo de dados cresce e encolhe. Esses esquemas são geralmente implementados por meio de estruturas de dados chamadas **B-trees** e **B$^+$-trees**.

- B-trees e B+-trees são casos especiais da famosa estrutura de dados de pesquisa, conhecida por **árvore**.

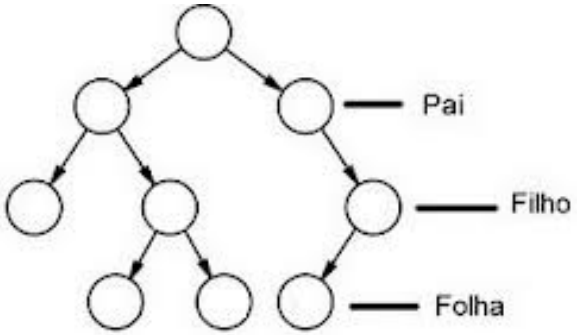


Árvores

- Árvore é uma estrutura de dados não-linear.
- Tem uma importância muito grande na Computação, pois disponibiliza algoritmos muito mais rápidos que os encontrados nas estruturas lineares.
- Têm diversas aplicações: sistemas de arquivos, interfaces gráficas, banco de dados, etc.
- Os relacionamentos encontrados em uma árvore são hierárquicos.
- Exemplo: Árvore Genealógica

Definição

- Árvore é um tipo abstrato de dados onde os dados são estruturados de forma hierárquica.
- Com exceção do topo, cada elemento da árvore tem um elemento pai e zero ou mais elementos filhos.
- Normalmente, o elemento topo é chamado **raiz** da árvore



Definição Formal

- Uma árvore **T** é um conjunto de nós que armazenam elementos em relacionamentos pai-filho com as seguintes propriedades:

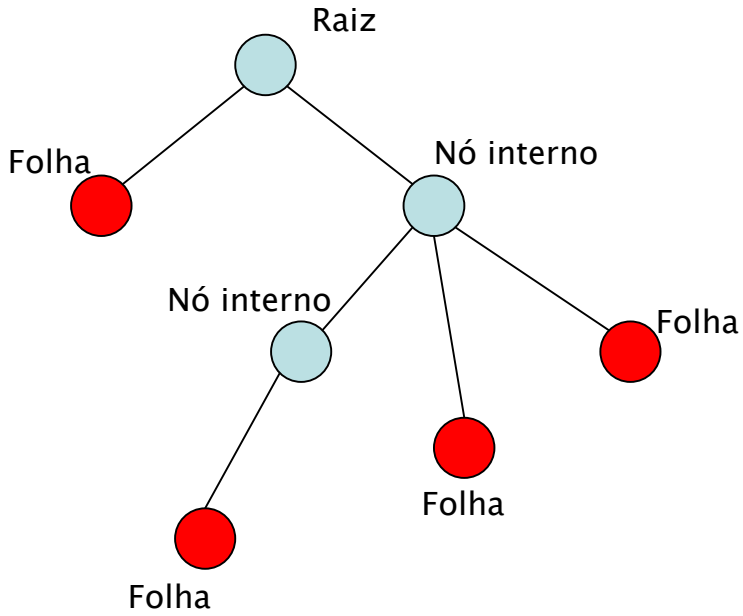
  - Se **T** não é vazia, ela tem um nó especial chamado **raiz** de **T**, que não tem pai.
  - Cada nó v de **T** diferente da raiz tem um único nó pai w;

- Uma árvore pode não ter nós. Quando isso ocorre, dizemos que a árvore **T** é vazia.

- Assim, uma árvore **T** ou é vazia ou consiste de um nó raiz **r** e um conjunto (possivelmente vazio) de árvores cujas raízes são filhas de **r**.

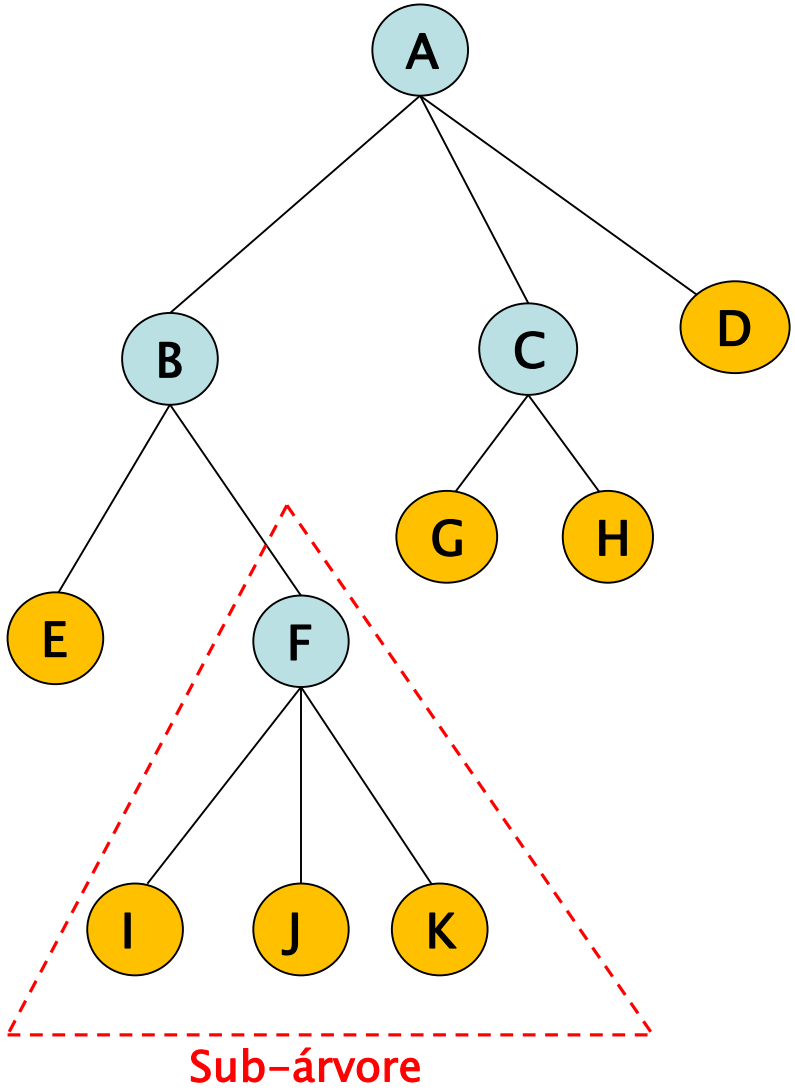
Outros relacionamentos

- Dois nós que são filhos do mesmo pai são **irmãos**.
- Um nó **v** é **externo** se não tem filhos.
- Nós externos também são conhecidos por **folhas**.
- Um nó **v** é **interno** se tem um ou mais filhos.



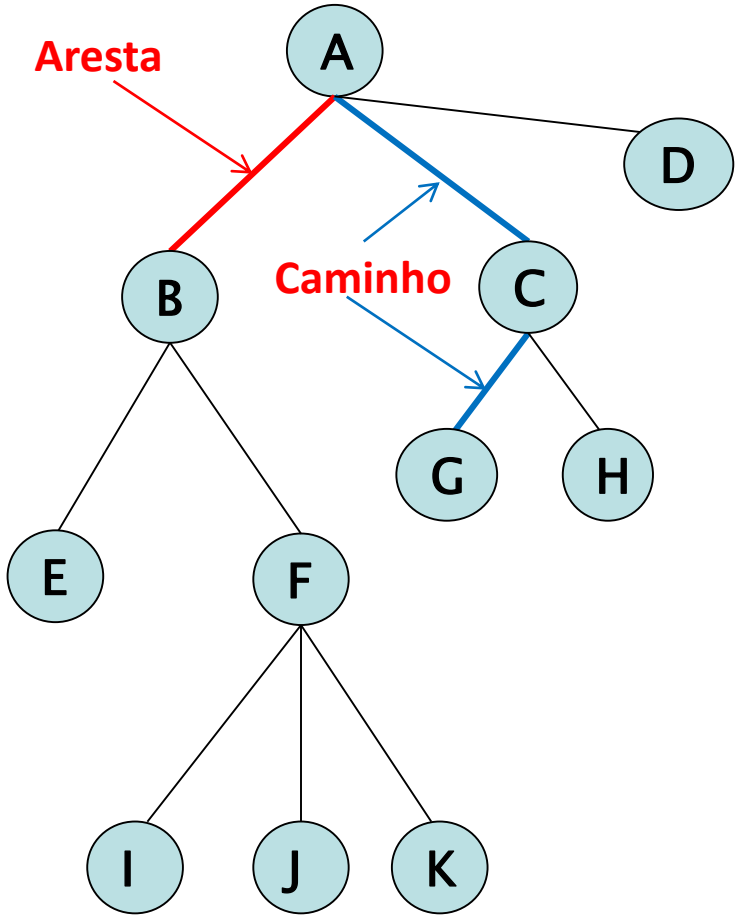
Definições

- **Raiz** (root): Nó sem pai (A)
- **Nó interno**: Nó com pelo menos um filho (A,B,C,F)
- Nó externo ou nó **folha**: nó sem filhos (D,E,G,H,I,J,K)
- **Ancestral** de um nó: pai, avô, bisavô, ...
- **Descendente** de um nó: filho, neto, bisneto, ...
- **Sub-Árvore**: árvore formada por um nó e seus descendentes.



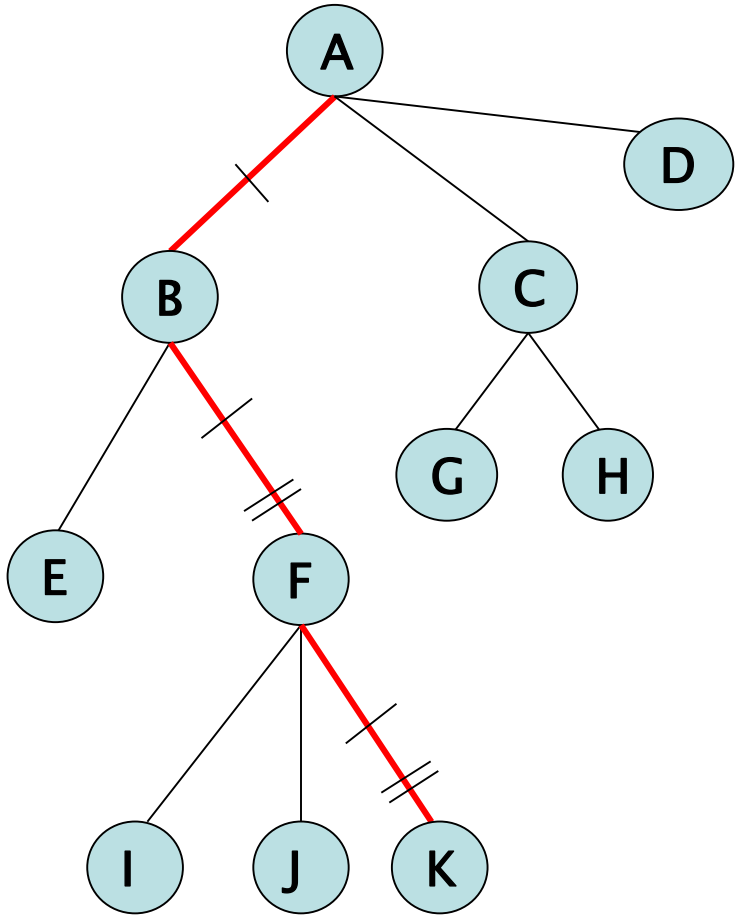
Definições

- **Aresta**: é um par de nós (u,v) tal que u é pai de v. (A,B)
- **Caminho**: é uma sequência de nós tais que quaisquer dois nós consecutivos da sequência sejam arestas. ((A,C),(C,G))
- **Tamanho de um caminho**: # de arestas em um caminho. (Tamanho do caminho ((A,C),(C,G)) = 2).



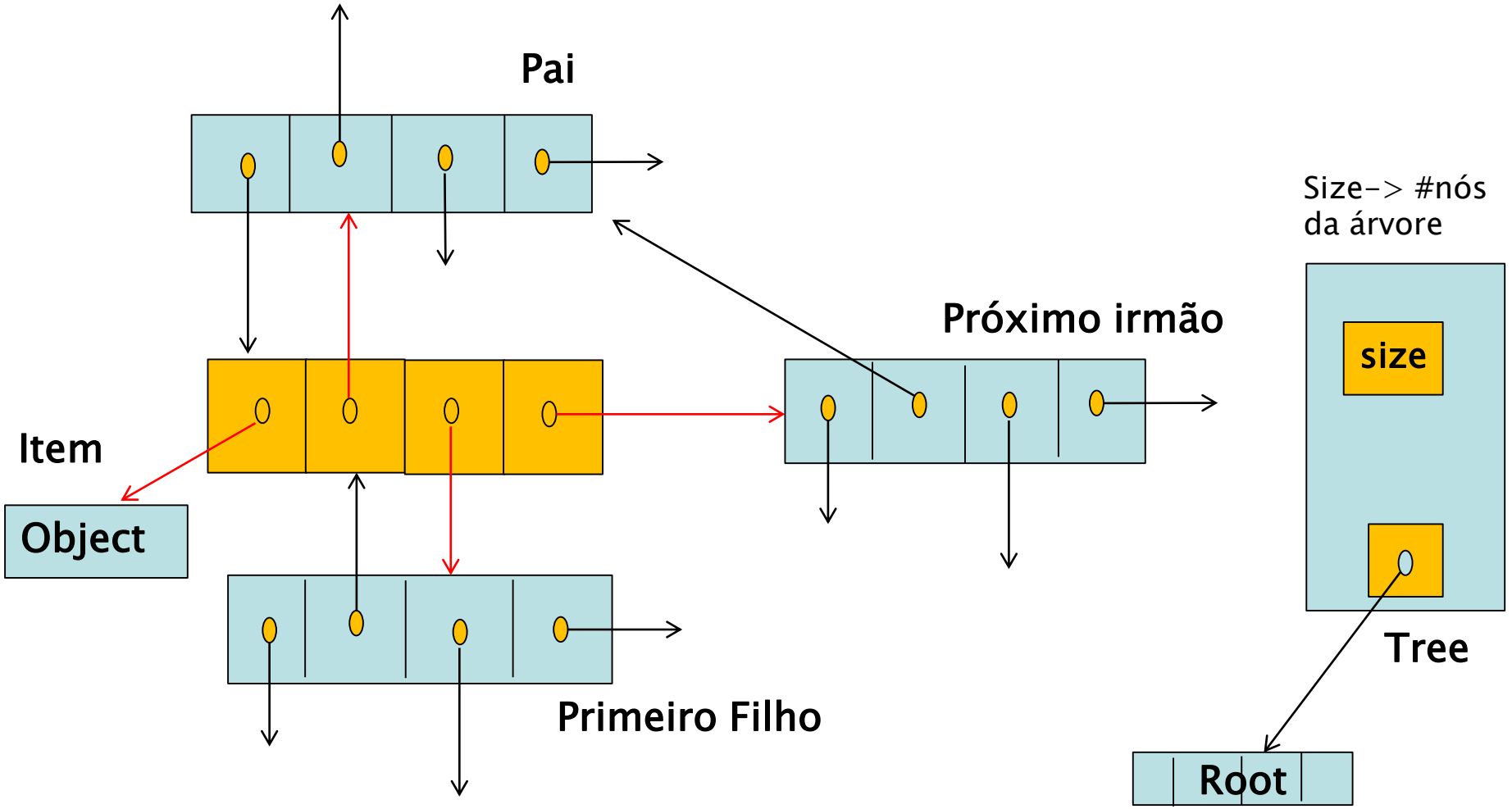
Definições

- **Profundidade de um nó n**: é Tamanho do caminho da raiz até o nó **n**.
  (Dept (K) = 3)
- **Profundidade da raiz: ZERO**
- **Altura de um nó**: Tamanho do caminho de **n** até seu mais profundo descendente.
  (Altura(B) = 2) .
- **Altura de qualquer folha**: ZERO
- **Altura da Árvore** = **Altura da Raiz**



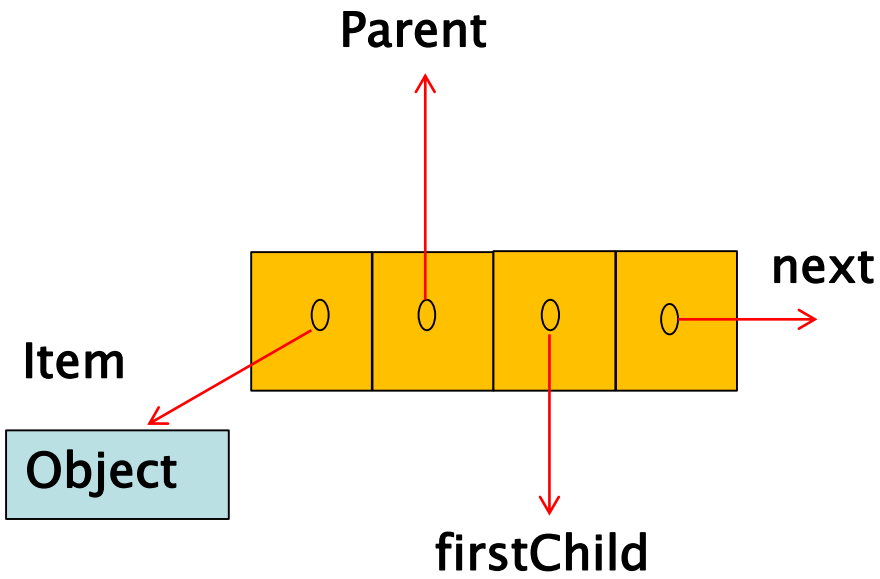
Representando Nó de Árvores

- Cada nó tem quatro referências: item, pai, primeiro filho e próximo irmão.



Representando Nó de Árvores

- Cada nó tem quatro referências: item, pai, primeiro filho e próximo irmão.



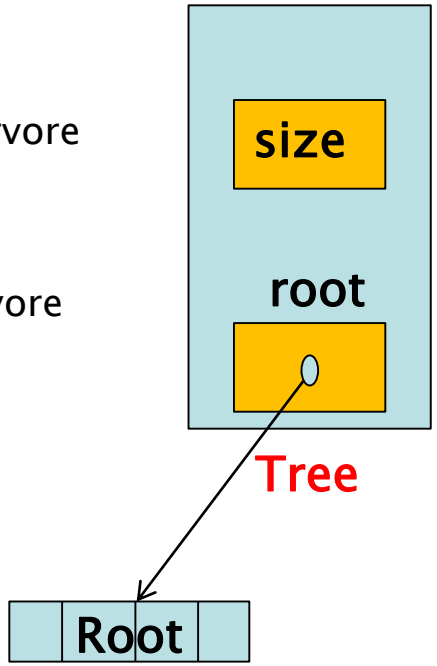

```
Class Node_Tree {

        Object item;
        Node_Tree parent;
        Node_Tree firstChild;
        Node_Tree next;
        .
        .
        .

}
```

Representando Árvores

- O nó de controle possui a referência para o root e o total de nós na árvore.

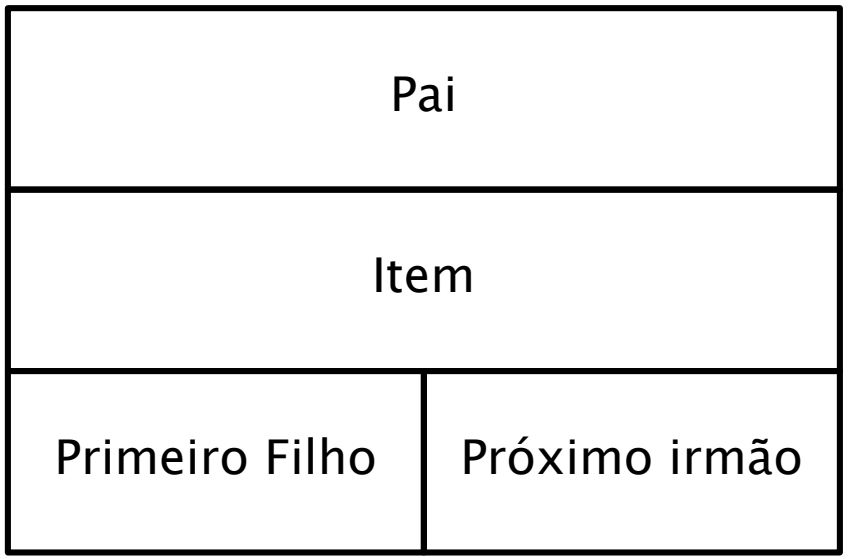
size -> #nós da árvore

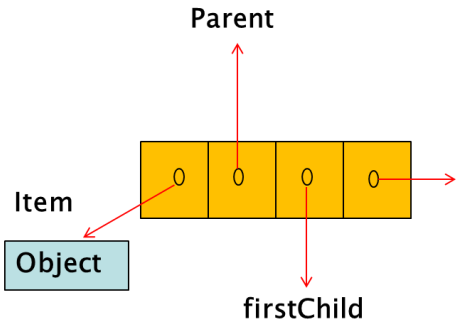
root -> raiz da árvore



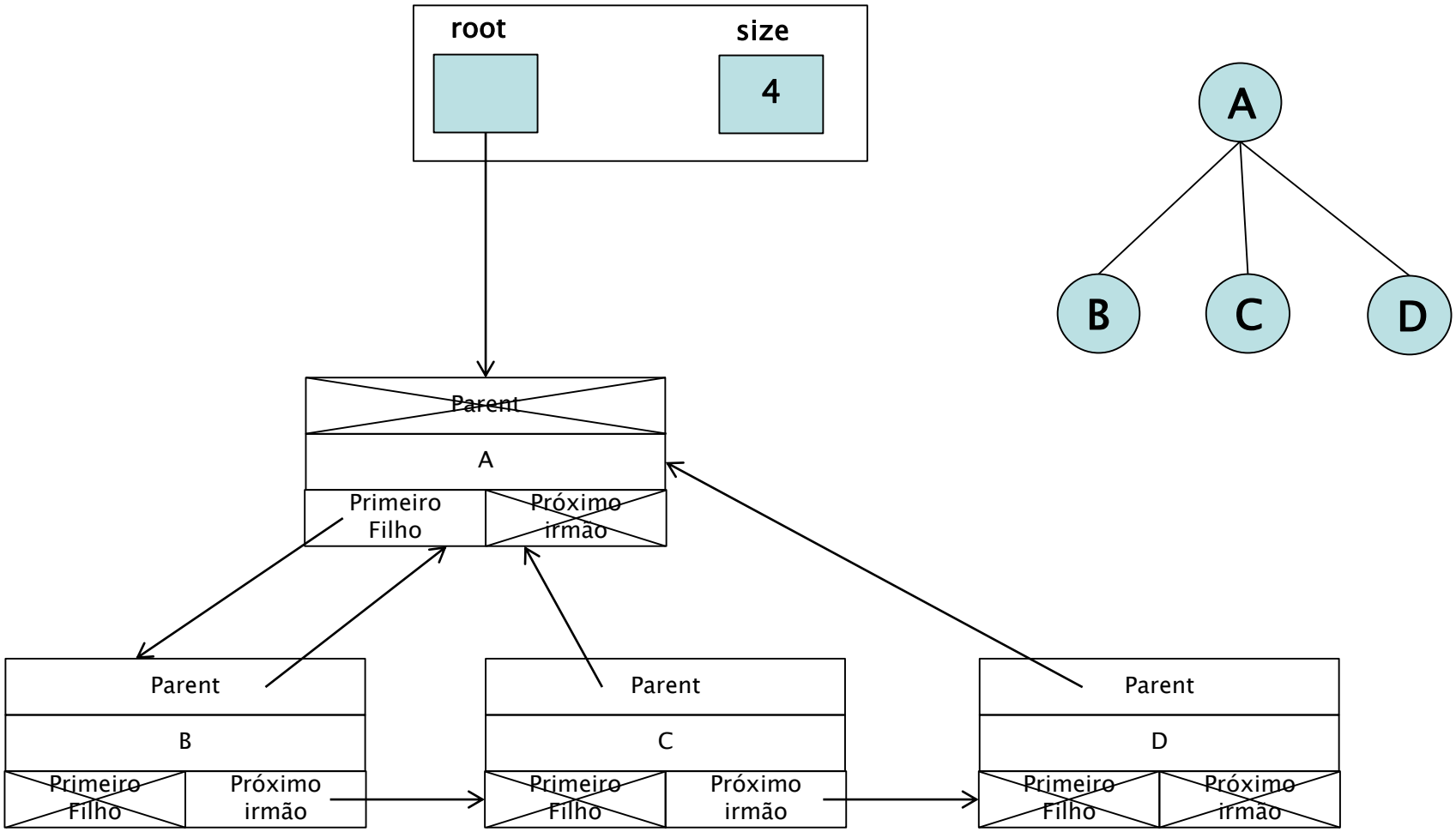

```
Class Tree {

        Node_Tree root;
        int size;
        .
        .
        .

}
```

Representando Nó da árvore

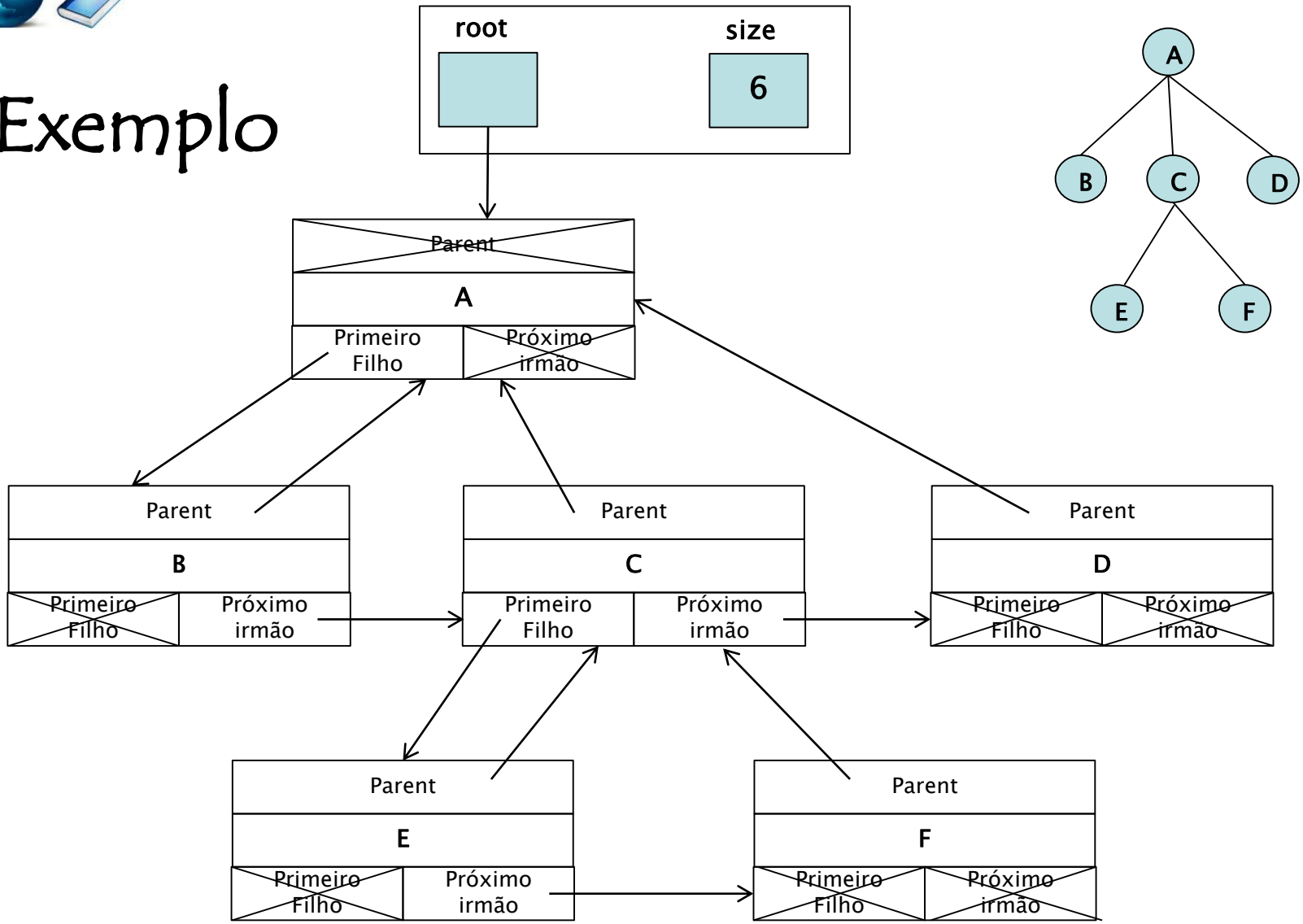




Exemplo


root
size
4
A
B
C
D
Parent
A
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
B
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
C
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
D
Primeiro Filho
Próximo irmão

Exemplo

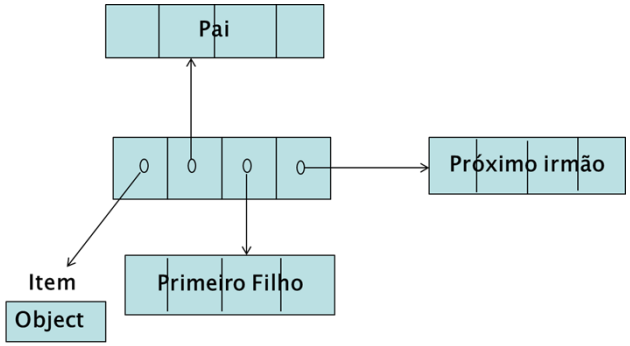

root
size
6
A
B
C
D
E
F
Parent
A
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
B
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
C
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
D
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
E
Primeiro Filho
Próximo irmão
Parent
F
Primeiro Filho
Próximo irmão

Os tipos abstratos de dados
Tree e Node_Tree

ret_Root(): retorna o node root da árvore
parent(): retorna o pai do nó
imprime_Parent(): imprime o dado armazenado no pai
children(): retorna lista com os filhos do nó
imprime_Filhos(): Imprime dados dos filhos do nó
isInternal(): testa se nó é node interno
isExternal(): testa se nó é node externo
size(): retorna o número de nodes na árvore
isEmpty(): testa se a árvore é vazia
dept(): retorna o número de ancestrais do node
height(): retorna a altura do node
preorder(): retorna nodes em ordem preorder
postorder(): retorna nodes em ordem postorder
listNodes(): retorna uma coleção dos nodes da árvore
replace(v,e): altera o dado em um determinado node

Classe Node_Tree

```
package maua;

import java.util.Iterator;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;

public class Node_Tree {

        Integer item;
        Node_Tree parent;
        Node_Tree firstChild;
        Node_Tree Next;

        public Node_Tree(Integer item) {
                this.item = item;
                this.parent = null;
                this.firstChild = null;
                this.Next = null;
        }
```



parent(v): retorna o pai de v

imprime_Parent(): imprime o dado armazenado no pai

```
public Node_Tree parent() {

        if (this.parent == null)
                return null;

        else return (this.parent );

}

public void imprime_Parent() {
        if (this.parent != null)
                System.out.println("Pai:   " + this.parent.item );

        else
                System.out.println("Este nó é root, não tem pai...");
}
```

children(): retorna lista com os filhos do nó

```
public List<Node_Tree> children() {

        List<Node_Tree> lista_children = new LinkedList<Node_Tree>();

        Node_Tree trab;

        if (this.firstChild != null) {
                lista_children.add(this.firstChild);
                trab = this.firstChild ;
                while (trab.Next != null) {
                        lista_children.add(trab.Next );
                        trab = trab.Next ;
                }
                return lista_children;
        }
        else return null;

}
```

imprime_Filhos(): Imprime dados dos filhos do nó

```
public void Imprime_Filhos() {

        List<Node_Tree> lista_children = new LinkedList<Node_Tree>();

        lista_children = this.children();

        if (lista_children != null ) {

                Iterator<Node_Tree> il = lista_children.iterator();

                while (il.hasNext()) {
                        System.out.println(il.next().item);

                }
        }
        else
        System.out.println("Este nó não tem filhos....");
}
```

isInternal(): testa se nó é node interno

```
public boolean isInternal() {
        if (this.firstChild != null)
                return true;
        else return false;
}
```

dept(): retorna o número de ancestrais do nó

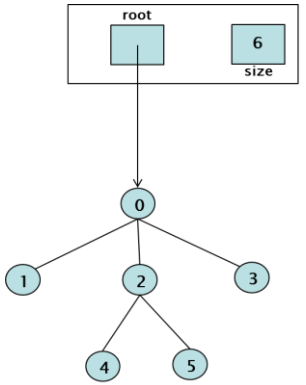
```
public int dept() {
        if (this.parent == null)
                return 0;
        else return ( 1 + this.parent.dept() );

}
```

height(): retorna a altura do nó

```
public int height() {

        if (this.firstChild == null )
                return 0;
        else  {
                int h=0;
                List<Node_Tree> lista_children = this.children();
                Iterator<Node_Tree> il = lista_children.iterator();
                while (il.hasNext())
                        h = Math.max(h, il.next().height());
                return 1 + h;
        }
}
```

Classe Tree

```
package maua;

public class Tree {

        Node_Tree root;
        int size;

        public Tree() {

                this.root = null;
                this.size = 0;
        }

        public void insert_root(Integer valor) {

                Node_Tree node = new Node_Tree(valor);
                this.root = node;
                this.size = 1;

        }
```



ret_Root(): retorna o node root da árvore.

```
public Node_Tree ret_Root() {

        return (this.root);

}
```

`size()`: retorna o número de nós da árvore

```
public int size() {
        return this.size;
}
```

isEmpty(): testa se a árvore é vazia

```
public boolean isEmpty() {

        if (this.size == 0 )
                return true;
        else return false;
}
```

Travessia de Árvores

- Os métodos vistos até agora permitem que se crie a árvores, seus nós e os relacionamentos (pai/filho) entre os nós criados.
- Travessia de uma árvore significa percorrer todos os nós da mesma.

Atravessando Árvores

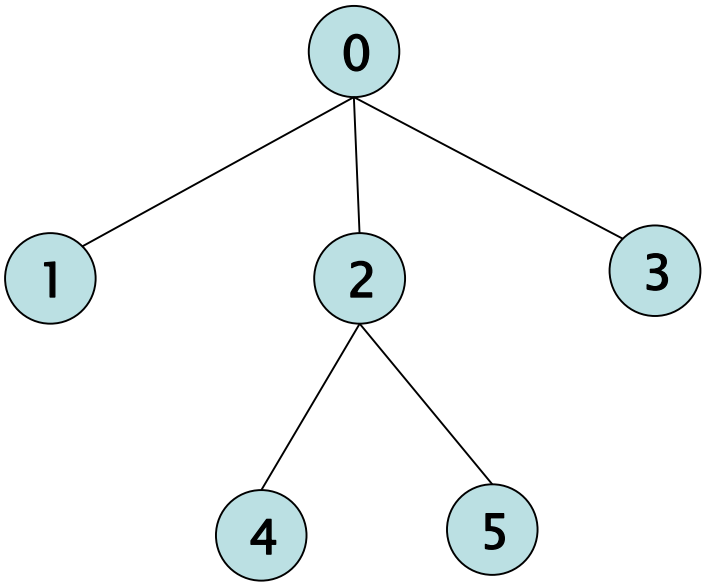
- Atravessar a árvore significa visitar **uma única vez** cada nó da árvore.
- Existem basicamente dois algoritmos de travessia: **preorder** e **postorder**.

Percurso – Preorder

- Na travessia **preorder** de uma árvore T, a raiz de T é visitada em primeiro lugar e em seguida as sub-árvores são visitadas recursivamente.

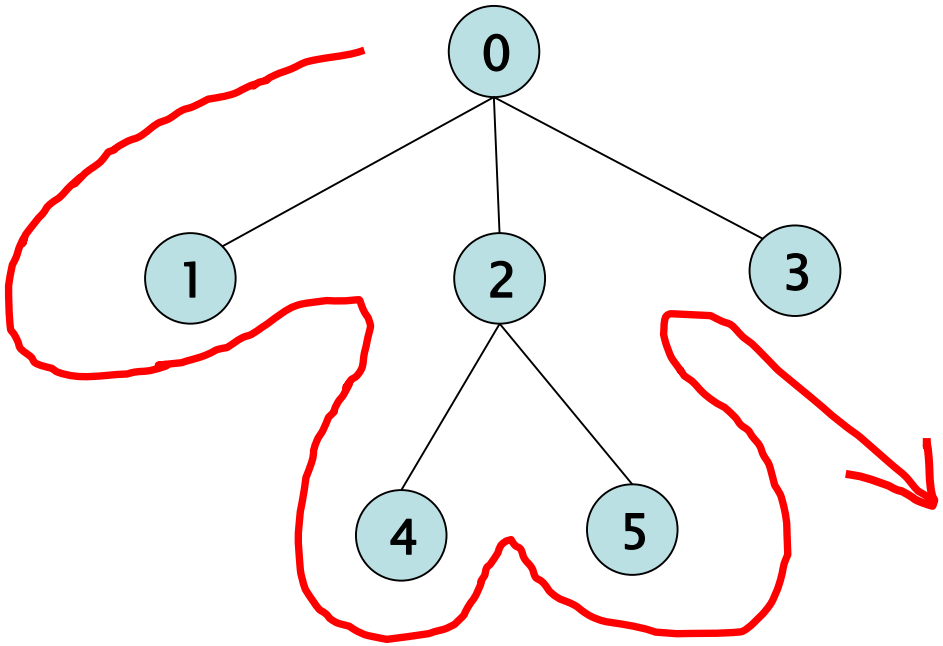
```
public  void preorder() {

        System.out.println(this.item );

        List<Node_Tree> lista_children = this.children();

        if (lista_children != null )
                for (Node_Tree x : lista_children)
                        x.preorder();
}
```

Exercício



- Imprimir os nós da árvore com o uso da travessia preorder.

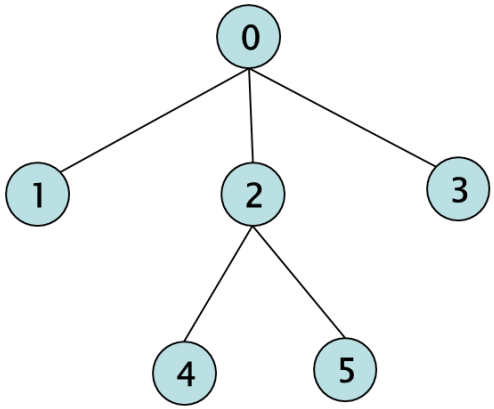
Percurso – Preorder



- Nós são visitados nesta ordem: 0 1 2 4 5 3

- Cada nó é visitado somente uma vez, assim o percurso preorder gasta tempo **O(n)**, onde n é o total de nós da árvore.

Solução

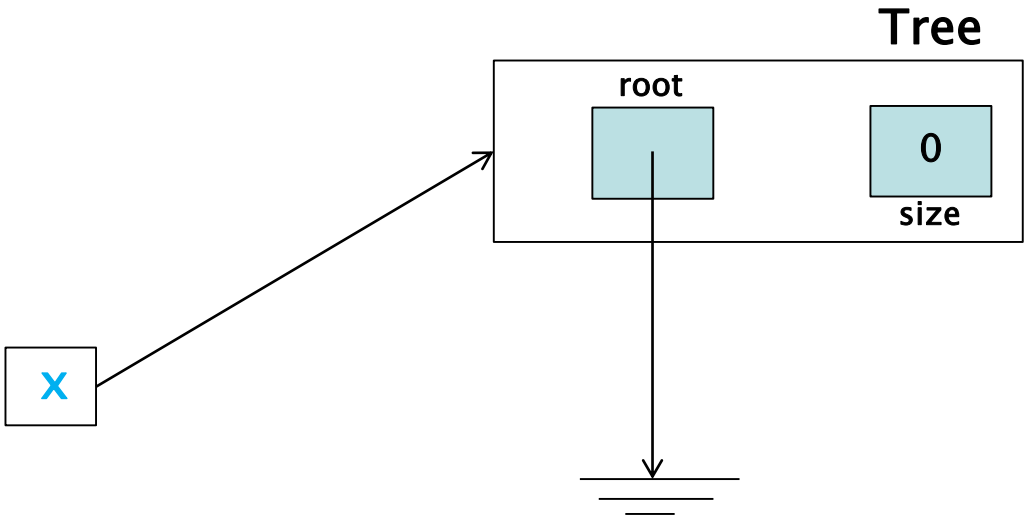


1. Construir a estrutura de dados que corresponde à árvore (estrutura de controle)
2. Criar o nó root e vinculá-lo à árvore
3. Construir os nós que compõem a árvore
4. Estabelecer os relacionamentos hierárquicos entre os nós
5. Aplicar o algoritmo de preorder na raiz da árvore.

1. Construir a estrutura de dados que corresponde à árvore (estrutura de controle)

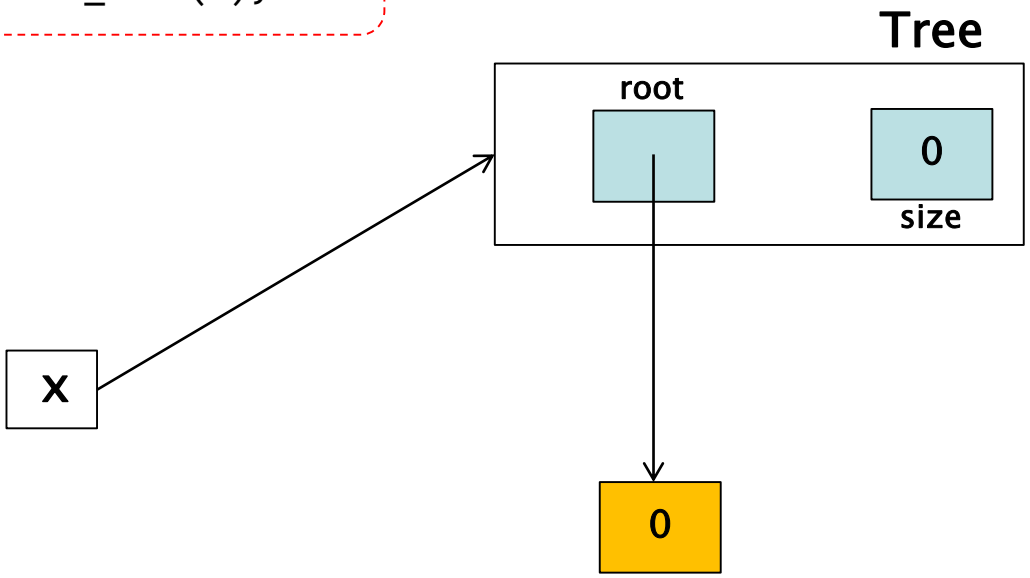
```
package maua;
public class Teste_Tree_preorder {
        public static void main(String[] args ) {
```

```
Tree x = new Tree();
```

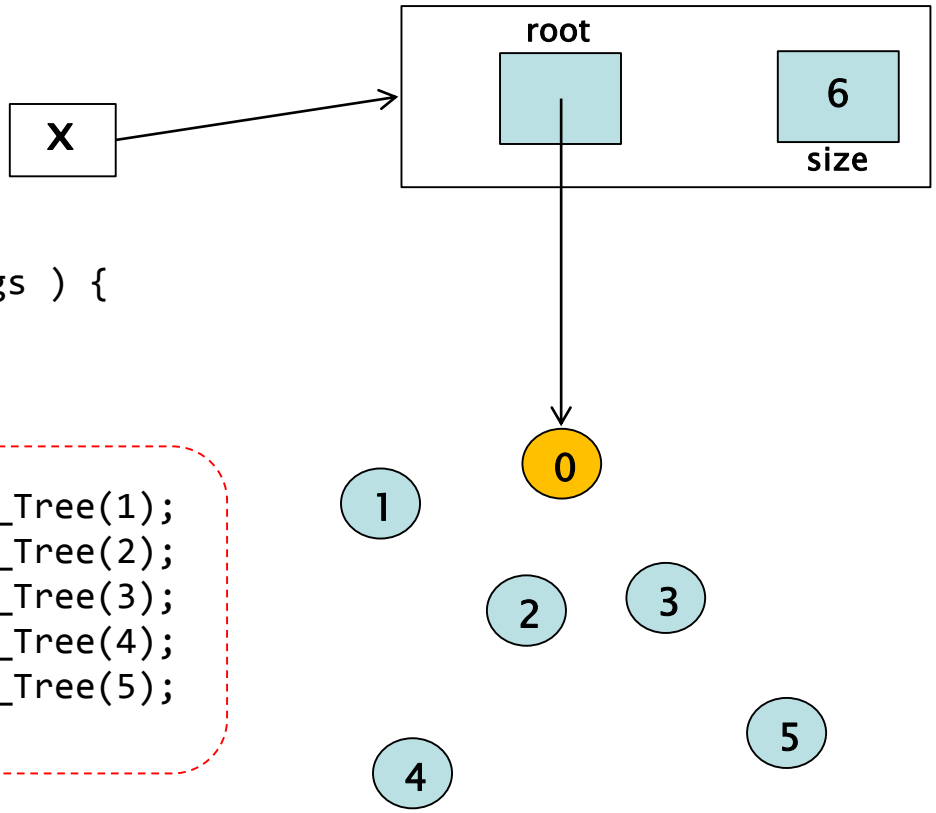


2. Criar o nó root e vinculá-lo à árvore

```
package maua;
public class Teste_Tree {
        public static void main(String[] args ) {
                Tree x = new Tree();
                x.insert_root(0);
```



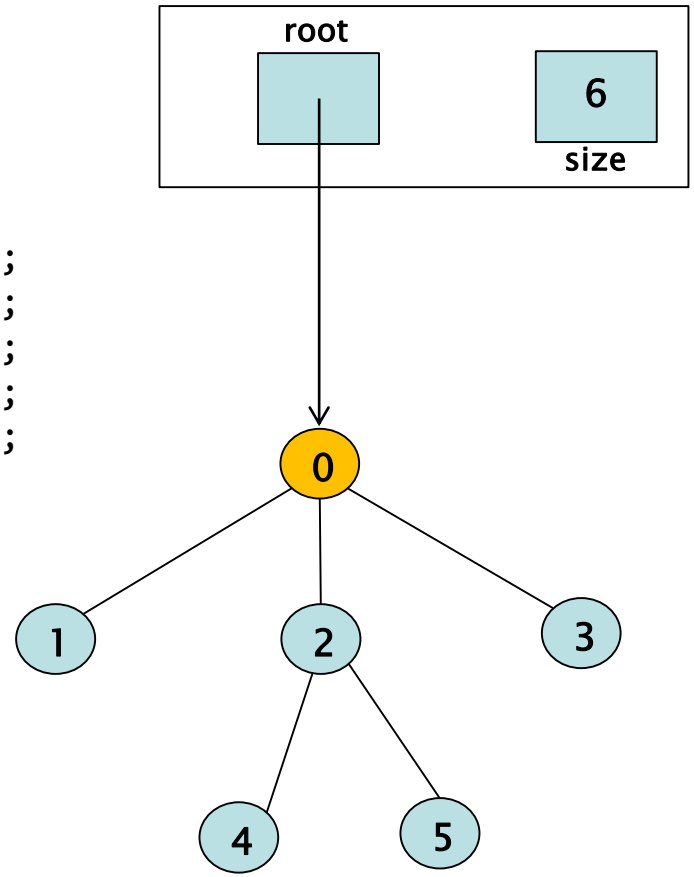
3. Construir os nós que compõem a árvore




```
package maua;
public class Teste_Tree {
        public static void main(String[] args ) {

            Tree x = new Tree();
            x.insert_root(0);

            Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
            Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
            Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
            Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
            Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);
```

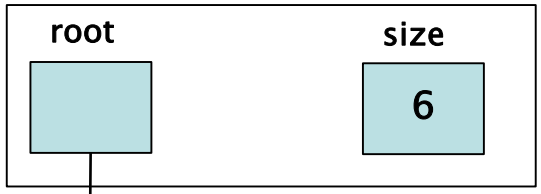
4. Estabelecer os relacionamentos hierárquicos entre os nós

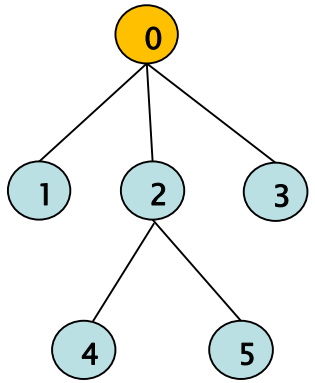
```
package maua;
public class Teste_Tree {
        public static void main(String[] args ) {

                Tree x = new Tree();
                x.insert_root(0);

                Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
                Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
                Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
                Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
                Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);

                x.root.firstChild = no_1;
                no_1.parent = x.root;
                no_1.Next = no_2;

                no_2.parent = x.root;
                no_2.Next = no_3;

                no_3.parent = x.root;

                no_2.firstChild = no_4;
                no_4.parent = no_2;

                no_4.Next = no_5;
                no_5.parent = no_2;
```



4. Estabelecer os relacionamentos hierárquicos entre os nós

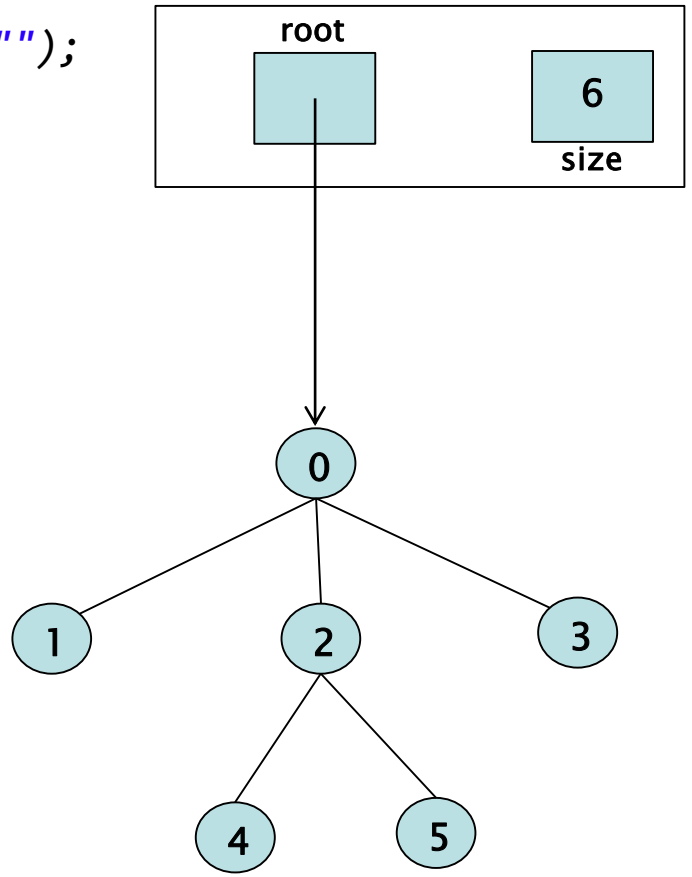
```
x.root.firstChild = no_1;

no_1.parent = x.root;
no_1.Next = no_2;

no_2.parent = x.root;
no_2.Next = no_3;
no_2.firstChild = no_4;

no_3.parent = x.root;

no_4.parent = no_2;
no_4.Next = no_5;

no_5.parent = no_2;
```





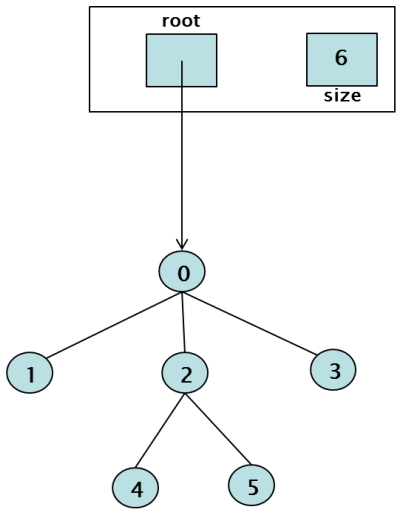
5. Aplicar o algoritmo de preorder na raiz da árvore.

```
            x.root.preorder();
            System.out.println ("");

        }

    }
```



Resposta do programa:

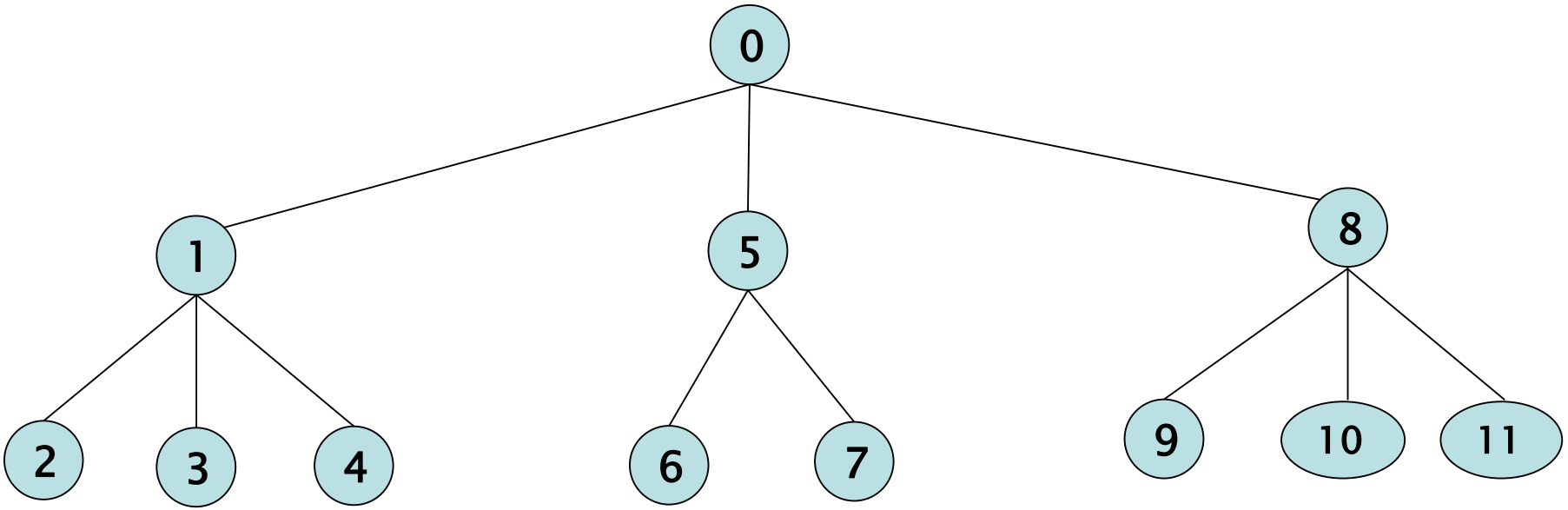

```
package maua;

public class Teste_Tree_preorder {

        public static void main(String[] args ) {

        Tree x = new Tree();

        x.insert_root(0);

        Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
        Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
        Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
        Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
        Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);

        x.root.firstChild = no_1;

        no_1.parent = x.root;
        no_1.Next = no_2;

        no_2.parent = x.root;
        no_2.Next = no_3;

        no_3.parent = x.root;

        no_2.firstChild = no_4;
        no_4.parent = no_2;

        no_4.Next = no_5;
        no_5.parent = no_2;

        x.root.preorder();
        System.out.println ("");
    }
}
```



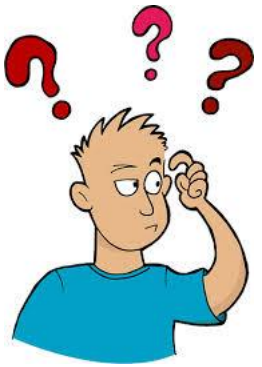
Resposta do programa:

0
1
2
4
5
3

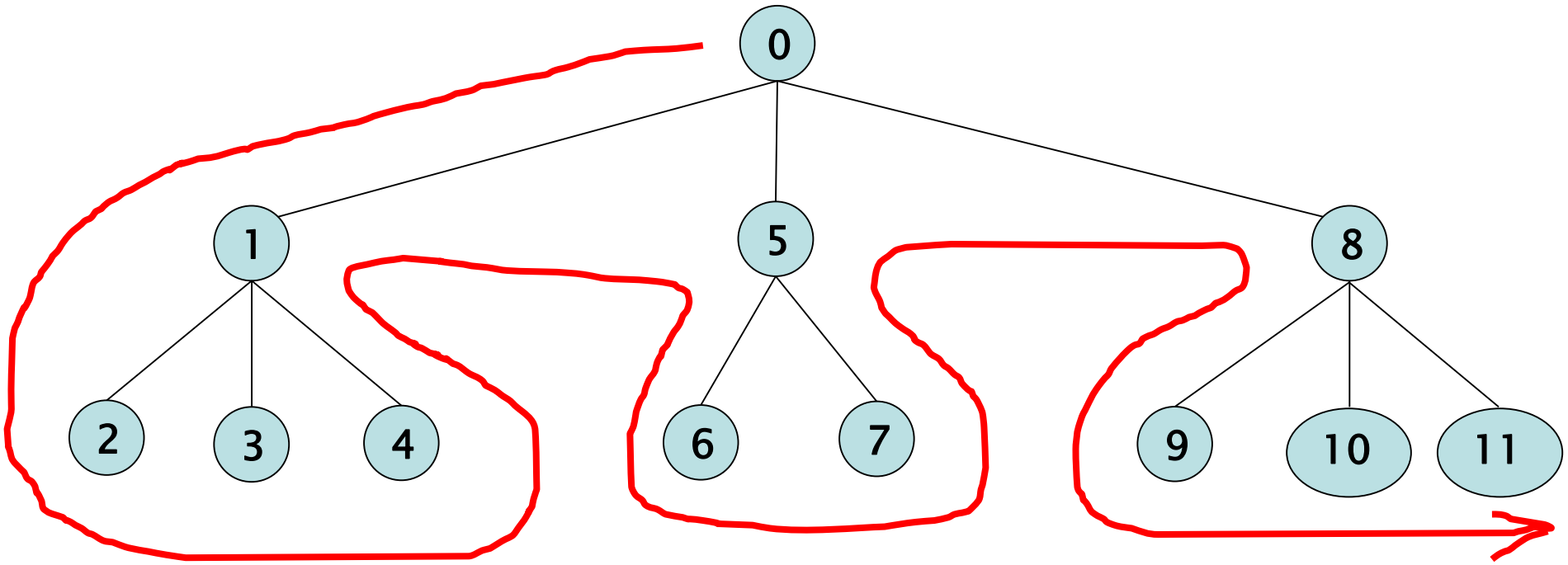
Outro exemplo

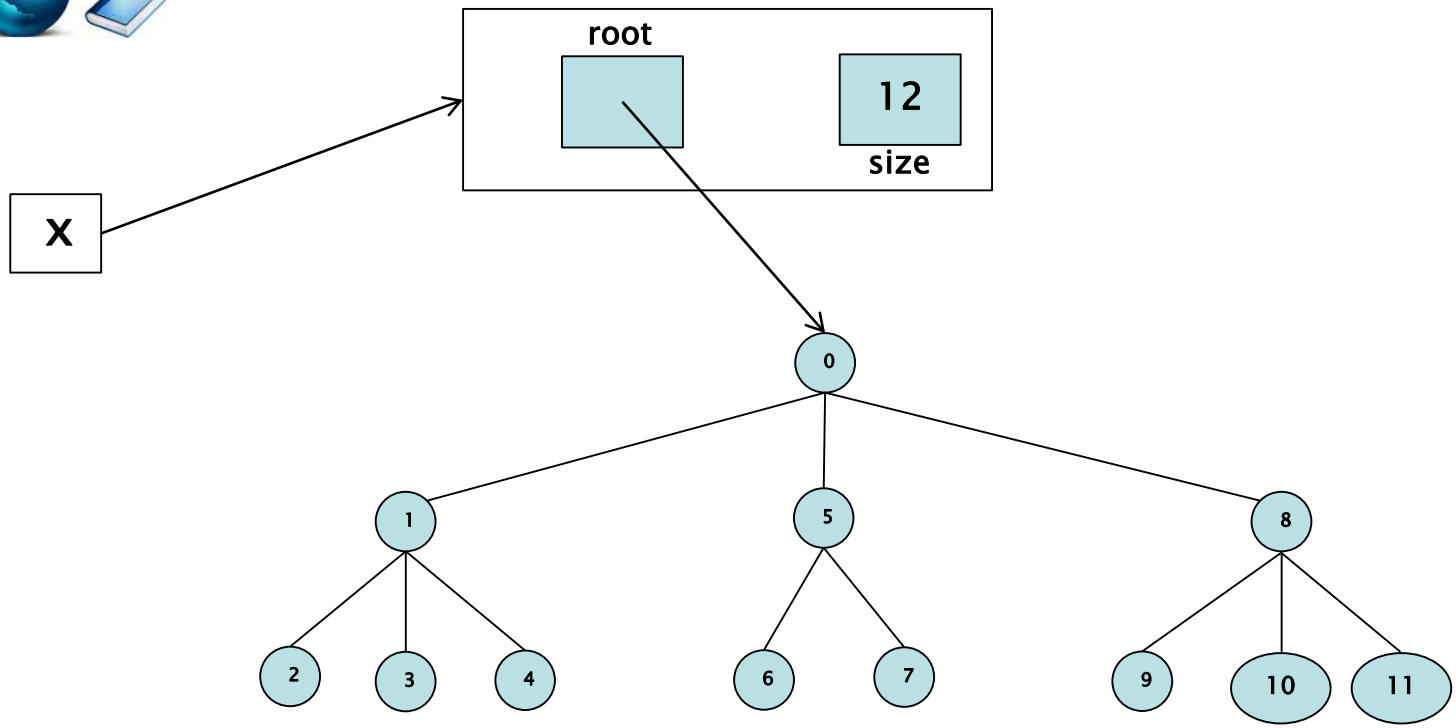


Qual o percurso preordem desta árvore ?

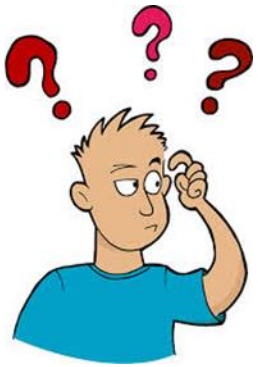


Preorder



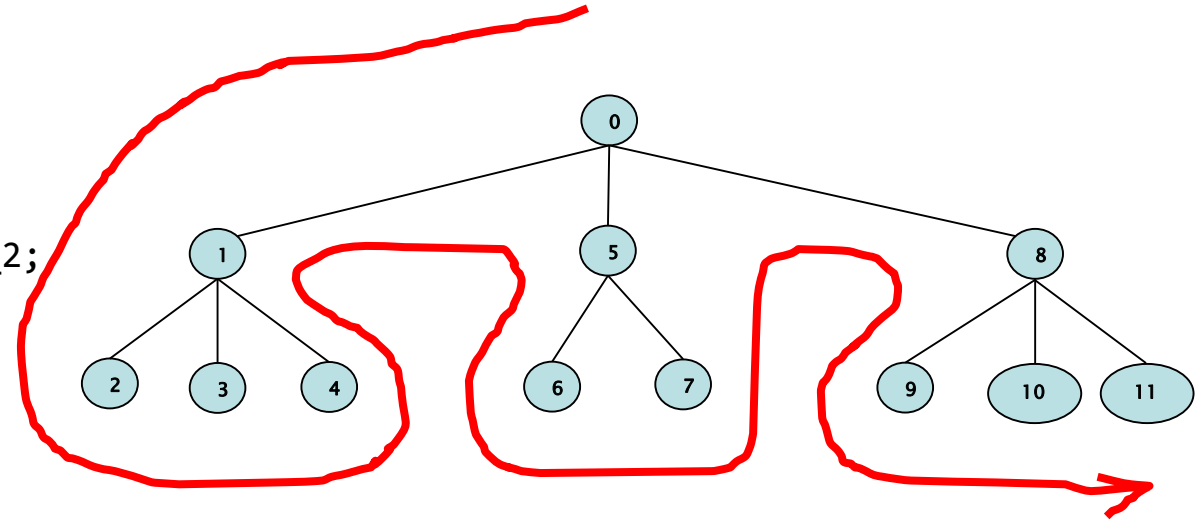


Qual o percurso preordem desta árvore ?



```
package maua;
        public class Teste_Tree {
                public static void main(String[] args ) {

                Tree x = new Tree();
                x.insert_root(0);

                Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
                Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
                Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
                Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
                Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);
                Node_Tree  no_6 = new Node_Tree(6);
                Node_Tree  no_7 = new Node_Tree(7);
                Node_Tree  no_8 = new Node_Tree(8);
                Node_Tree  no_9 = new Node_Tree(9);
                Node_Tree  no_10 = new Node_Tree(10);
                Node_Tree  no_11 = new Node_Tree(11);

                x.root.firstChild = no_1;
```

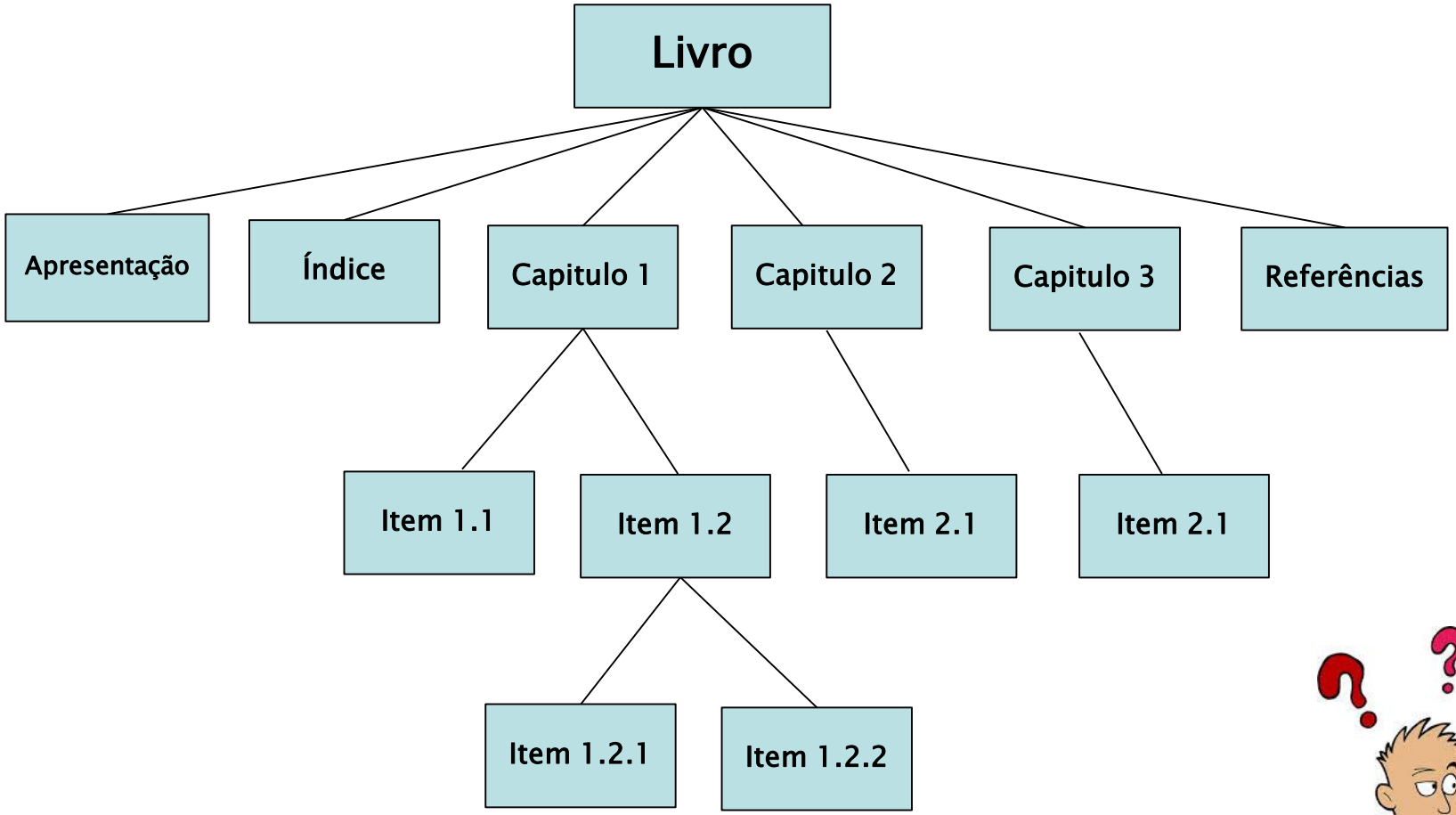
```
no_1.parent = x.root;
no_1.Next = no_5;
no_5.Next = no_8;
no_5.parent = x.root;
no_8.parent = x.root;

no_1.firstChild = no_2;
no_2.Next = no_3;
no_3.Next = no_4;
no_2.parent = no_1;
no_3.parent = no_1;
no_4.parent = no_1;

no_5.firstChild=no_6;
no_6.Next = no_7;
no_6.parent = no_5;
no_7.parent = no_5;

no_8.firstChild = no_9;
no_9.Next = no_10;
no_10.Next = no_11;
no_9.parent = no_8;
no_10.parent = no_8;
no_11.parent = no_8;

x.root.preorder();

}

}
```

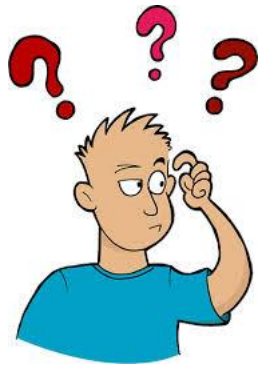


Resposta: Preorder

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

Exercício





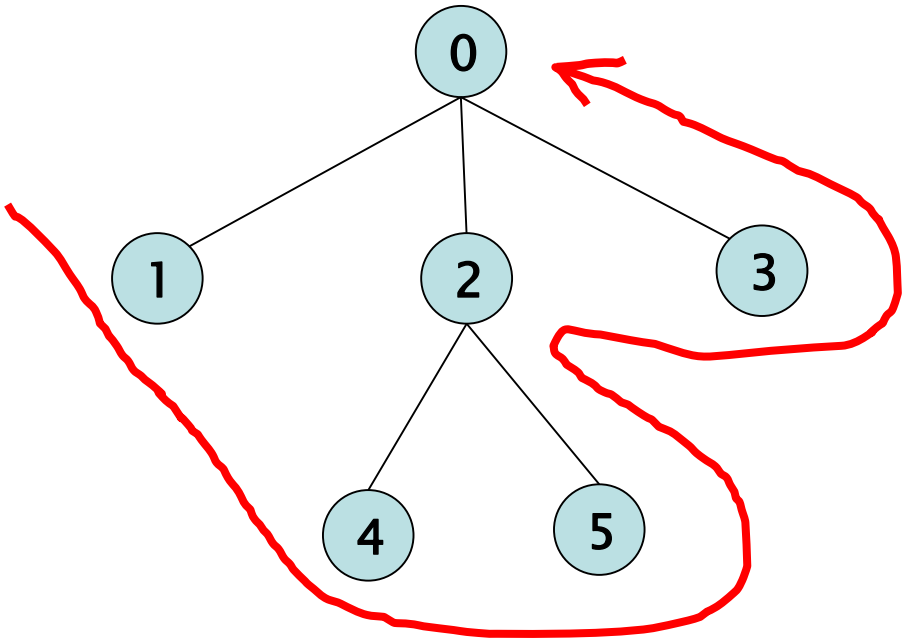
Qual o percurso preordem desta árvore ?

Percurso - Postorder

- Este algoritmo pode ser visto como o **oposto** do percurso **preorder**, pois as sub-árvores dos filhos são recursivamente atravessadas e em seguida o root é visitado.

```
public  void postorder() {

        List<Node_Tree> lista_children = this.children();

        if (lista_children != null )
                for (Node_Tree x : lista_children)
                        x.postorder();

        System.out.println(this.item );



}
```

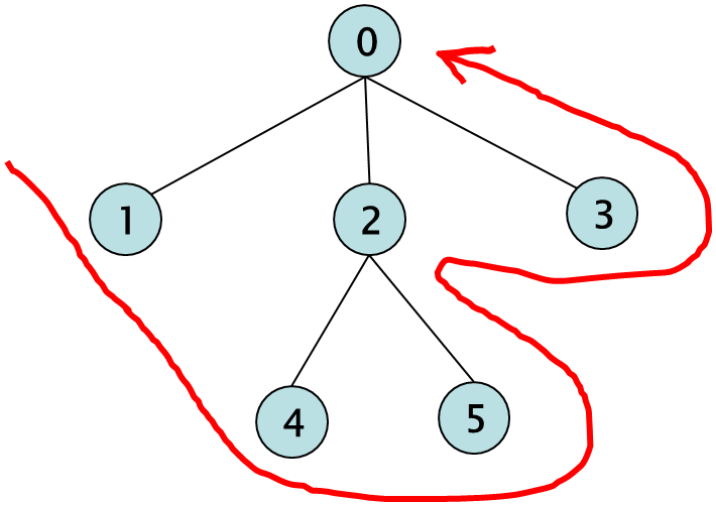
Percurso - Postorder

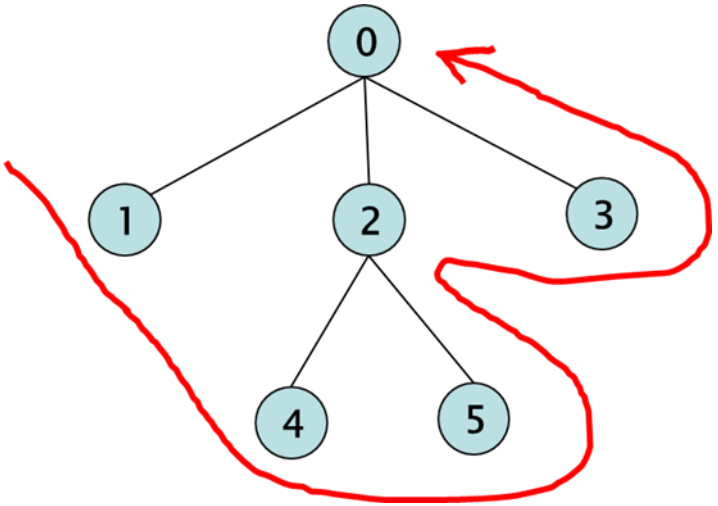


- Nós são visitados nesta ordem: 1 4 5 2 3 0

- Cada nó é visitado somente uma vez, assim o percurso preorder gasta tempo O(n), onde n é o total de nós da árvore.

```
package uscs;
public class Teste_Tree {
public static void main(String[] args ) {

Tree x = new Tree();
x.insert_root(0);

Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);

x.root.firstChild = no_1;
no_1.parent = x.root;
no_1.Next = no_2;

no_2.parent = x.root;
no_2.Next = no_3;

no_3.parent = x.root;

no_2.firstChild = no_4;
no_4.parent = no_2;

no_4.Next = no_5;
no_5.parent = no_2;
```



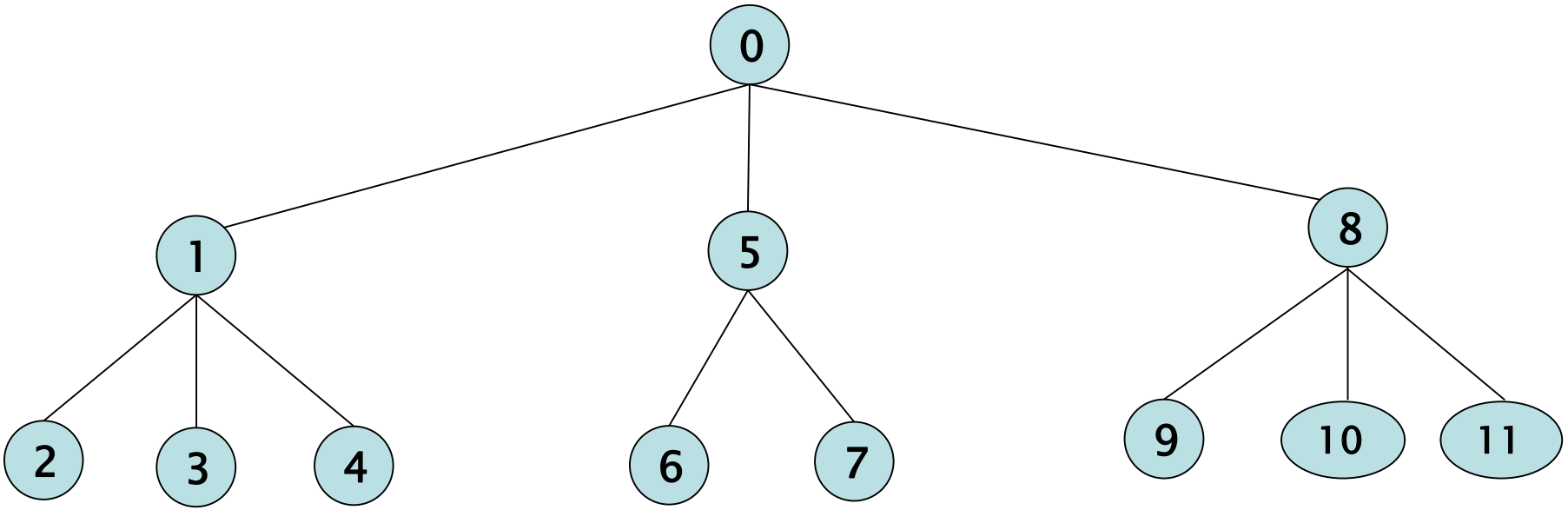



```
        x.root.postorder();
        System.out.println ("");

    }
}
```

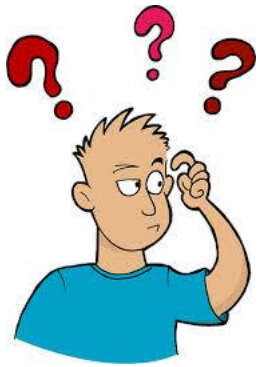
Resposta: Posorder

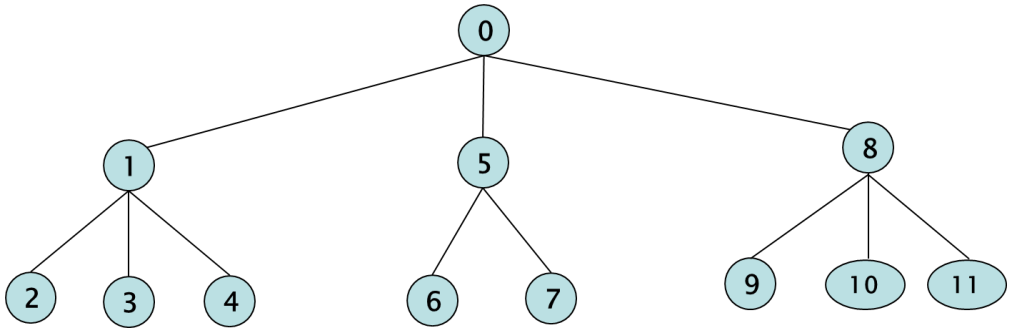
1
4
5
2
3
0

Outro exemplo



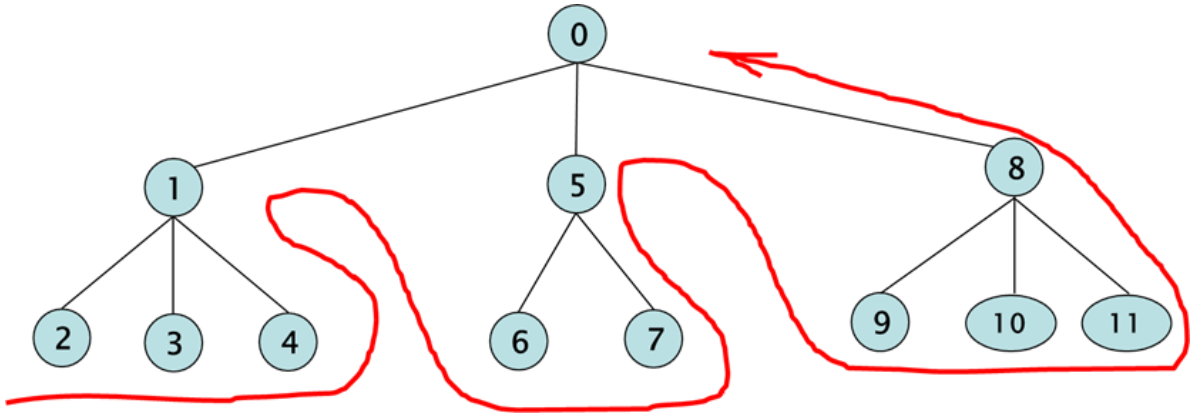
Qual o percurso postordem desta árvore ?



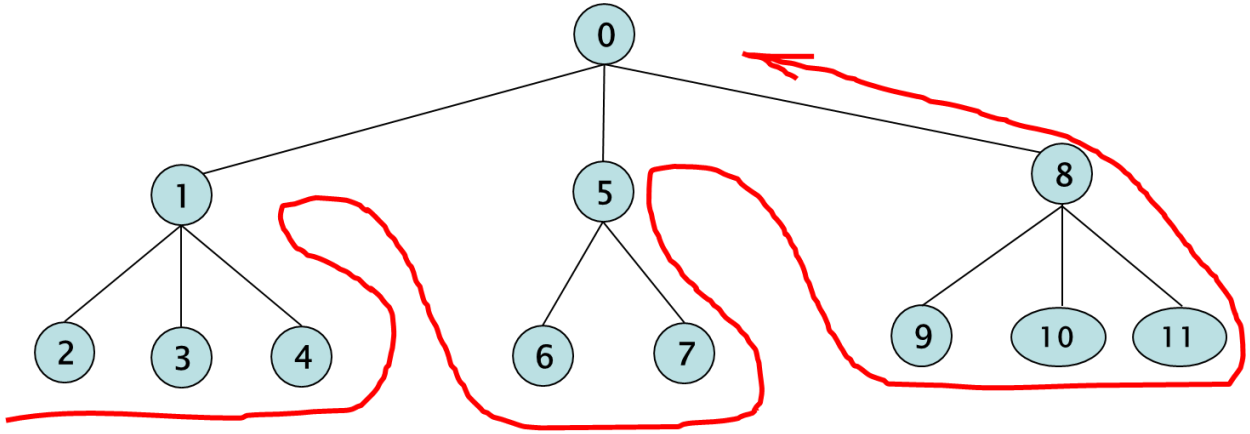



```
package maua;
public class Teste_Tree {
        public static void main(String[] args ) {

                Tree x = new Tree();
                x.insert_root(0);

                Node_Tree  no_1 = new Node_Tree(1);
                Node_Tree  no_2 = new Node_Tree(2);
                Node_Tree  no_3 = new Node_Tree(3);
                Node_Tree  no_4 = new Node_Tree(4);
                Node_Tree  no_5 = new Node_Tree(5);
                Node_Tree  no_6 = new Node_Tree(6);
                Node_Tree  no_7 = new Node_Tree(7);
                Node_Tree  no_8 = new Node_Tree(8);
                Node_Tree  no_9 = new Node_Tree(9);
                Node_Tree  no_10 = new Node_Tree(10);
                Node_Tree  no_11 = new Node_Tree(11);
```

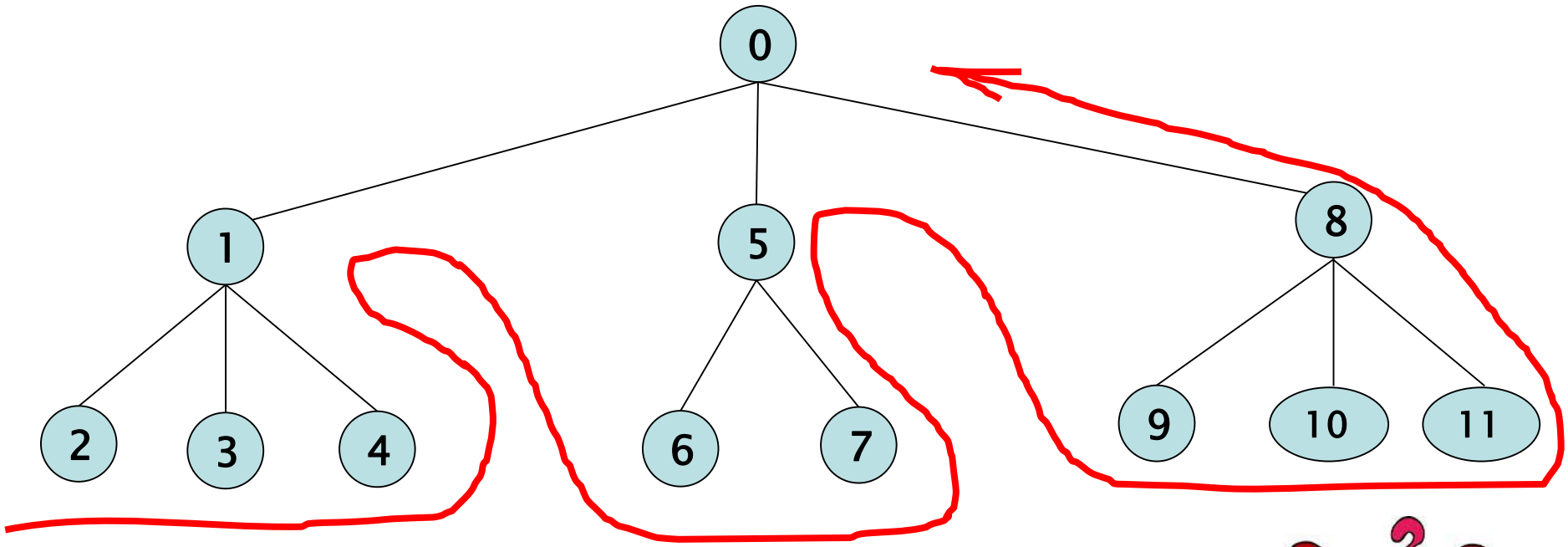
```
x.root.firstChild = no_1;
no_1.parent = x.root;
no_1.Next = no_5;
no_5.Next = no_8;
no_5.parent = x.root;
no_8.parent = x.root;

no_1.firstChild = no_2;
no_2.Next = no_3;
no_3.Next = no_4;
no_2.parent = no_1;
no_3.parent = no_1;
no_4.parent = no_1;

no_5.firstChild=no_6;
no_6.Next = no_7;
no_6.parent = no_5;
no_7.parent = no_5;
```



```
        no_8.firstChild = no_9;
        no_9.Next = no_10;
        no_10.Next = no_11;
        no_9.parent = no_8;
        no_10.parent = no_8;
        no_11.parent = no_8;

        x.root.postorder();
        System.out.println ("");

    }

}
```

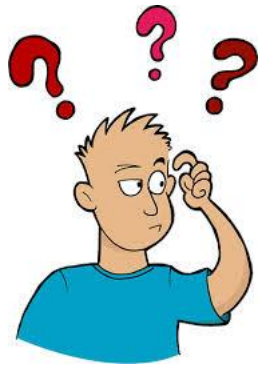


Outro exemplo



Qual o percurso postordem desta árvore ?

2 3 4 1 6 7 5 9 10 11 8 0



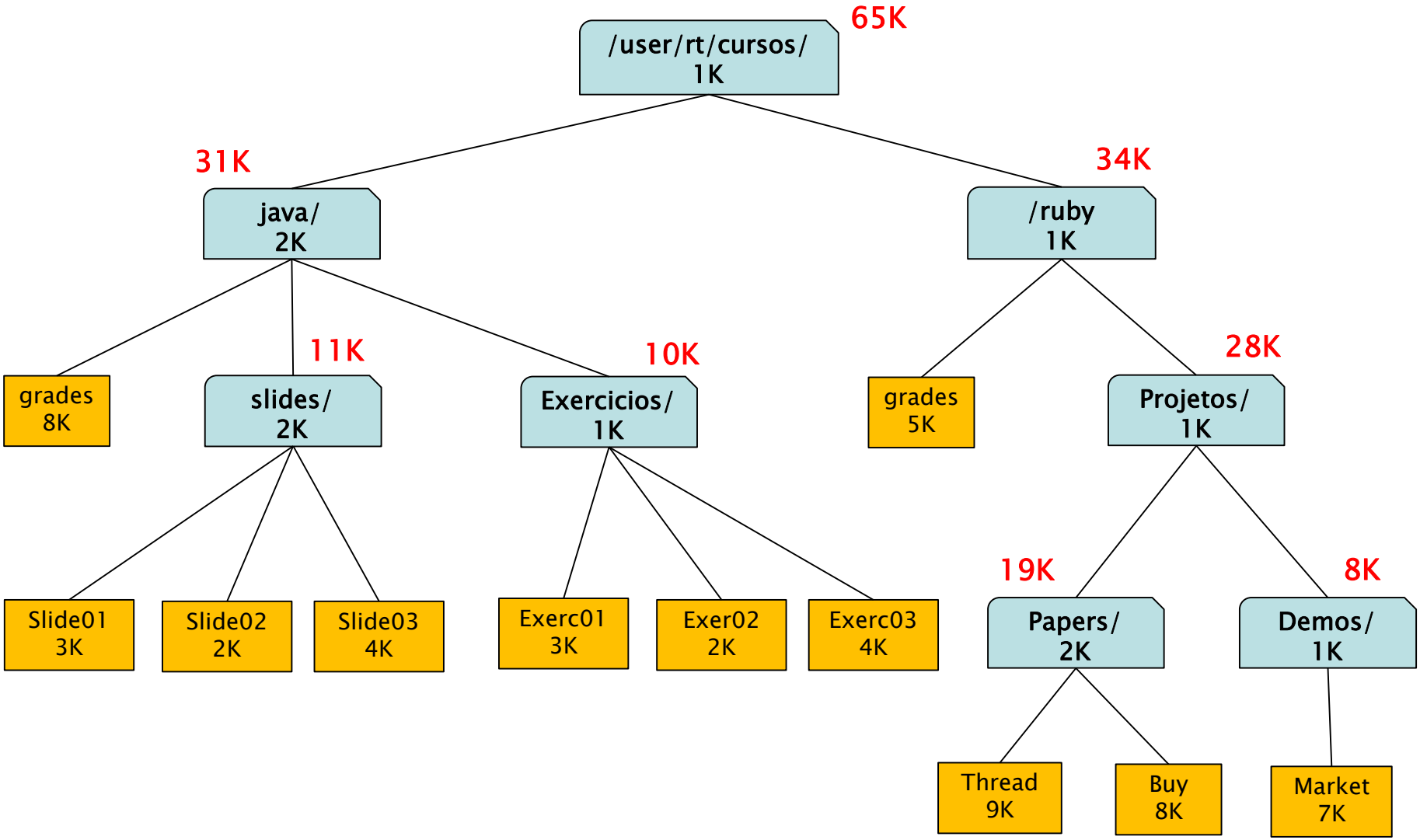
Aplicação travessia postorder

- O método **postorder** é útil para resolver problemas onde desejamos computar alguma propriedade para cada nó **v** da árvore, mas esta computação requer que a mesma computação tenha sido feita previamente para os filhos do nó **v**.

- Para exemplificar o método, considere um sistema de arquivos em árvore, onde nós externos representam arquivos e nós internos diretórios. O problema consiste em computar o espaço em disco usado por um diretório, o qual é recursivamente calculado por:

  - o tamanho do próprio diretório
  - o tamanho dos arquivos no diretório
  - o espaço usado pelos diretórios filhos

Aplicação travessia postorder



Exercício

- Escrever um código Java para retornar o espaço total de bytes armazenados por um sistema de arquivos.