


Unidade V: Árvore Binária - Pesquisa e Caminhamento



PUC Minas

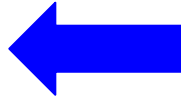
Instituto de Ciências Exatas e Informática
Departamento de Ciência da Computação

- Funcionamento básico da Pesquisa
- Algoritmo pesquisa em Java
- Análise de complexidade da Pesquisa
- Caminhamento

- **Funcionamento básico da Pesquisa** 
- Algoritmo pesquisa em Java
- Análise de complexidade da Pesquisa
- Caminhamento

Funcionamento Básico da Pesquisa

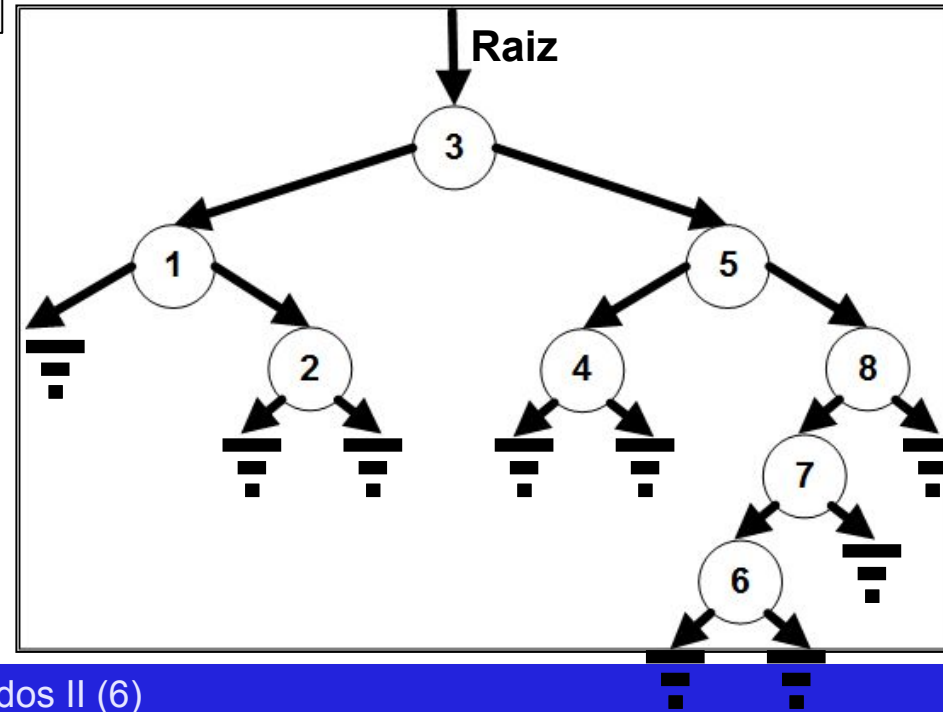
- (1) Se a raiz estiver vazia, retornar uma **pesquisa negativa**
- (2) Senão, se o elemento procurado for **igual** ao da raiz, retornar uma **pesquisa positiva**
- (3) Senão, se o elemento procurado for **menor** que o da raiz, chamar o método de pesquisa para a subárvore da **esquerda**
- (4) Senão (elemento procurado é **maior** que o da raiz), chamar o método de pesquisa para a subárvore da **direita**

- Funcionamento básico da Pesquisa
- **Algoritmo pesquisa em Java** 
- Análise de complexidade da Pesquisa
- Caminhamento

Classe Árvore Binária

```
class ArvoreBinaria {  
    No raiz;  
    ArvoreBinaria() { raiz = null; }  
    void inserir(int x) { }  
    boolean pesquisar(int x) { }  
    void remover(int x) { }  
    void caminharCentral() { }  
    void caminharPre() { }  
    void caminharPos() { }  
}
```

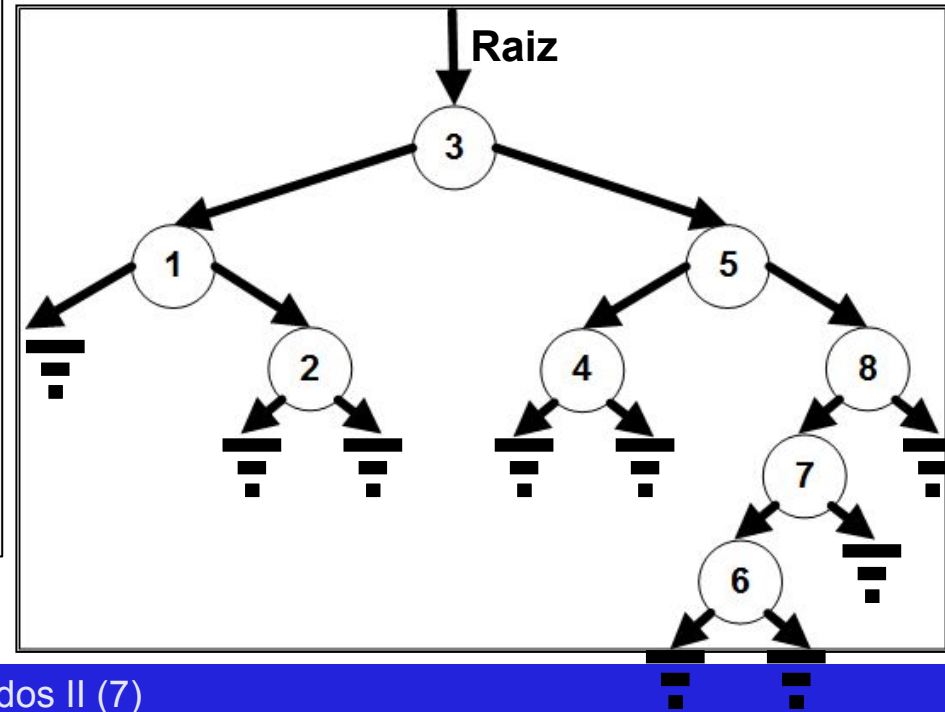
Vamos pesquisar se o
4 está em nossa árvore



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

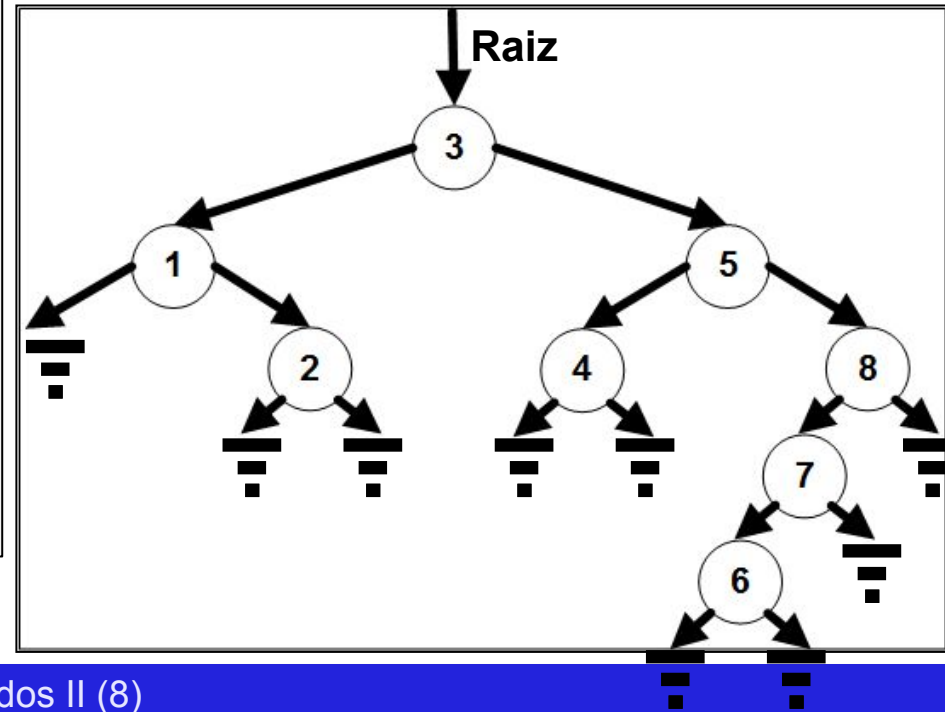


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



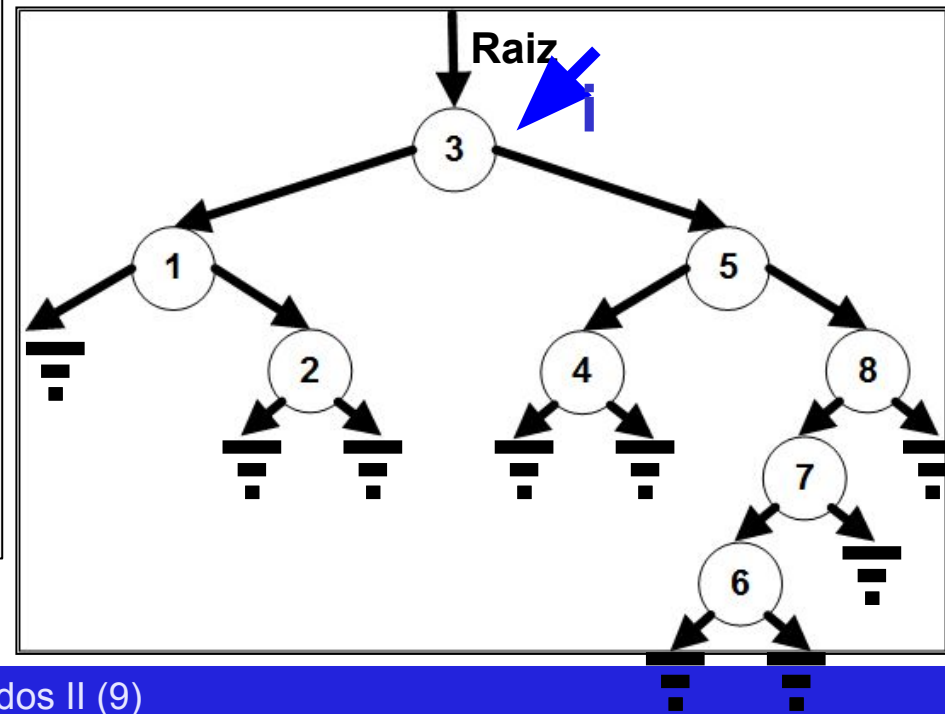
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

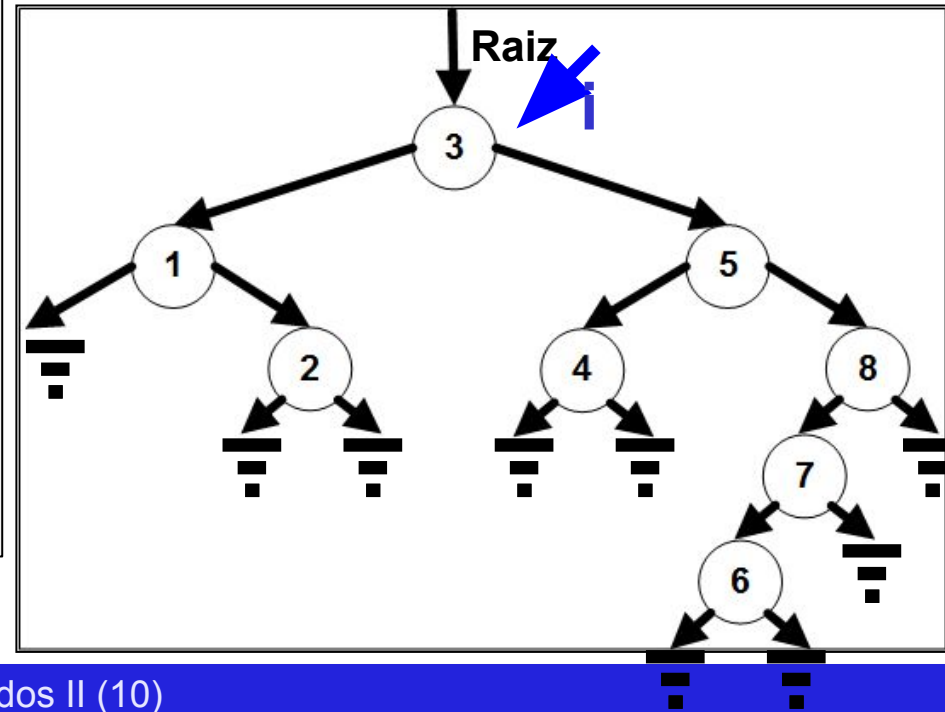
```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {
```

```
        resp = false;
```

```
    } else if (x == i.elemento) {
```

```
        resp = true;
```

```
    } else if (x < i.elemento) {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.esq);
```

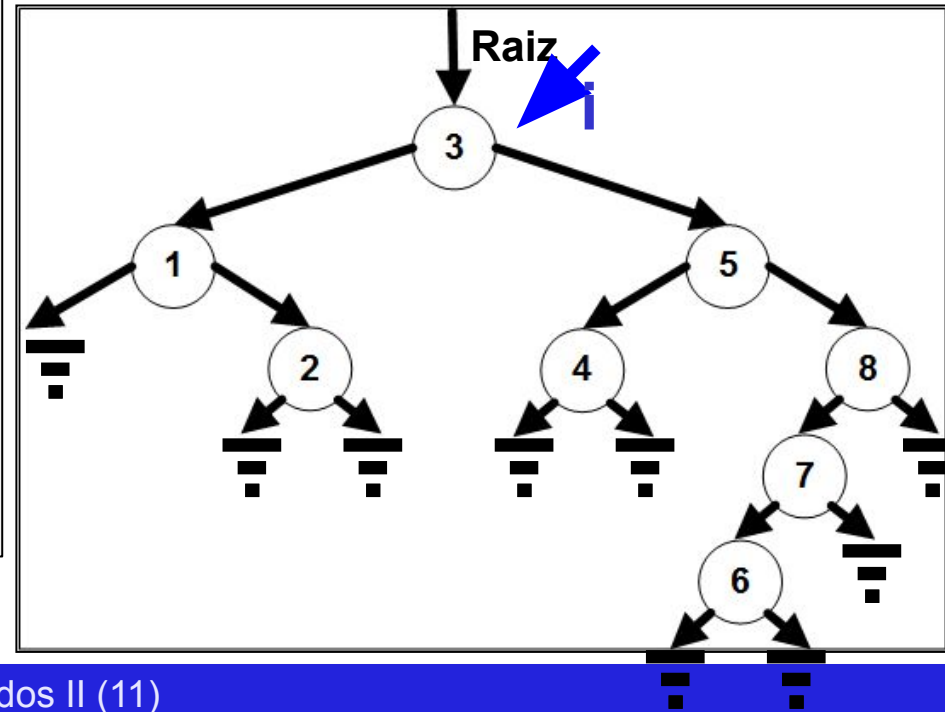
```
    } else {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.dir);
```

```
    }
```

```
    return resp;
```

```
} false: n(3) == null
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;
```

```
} else if (x == i.elemento) {
```

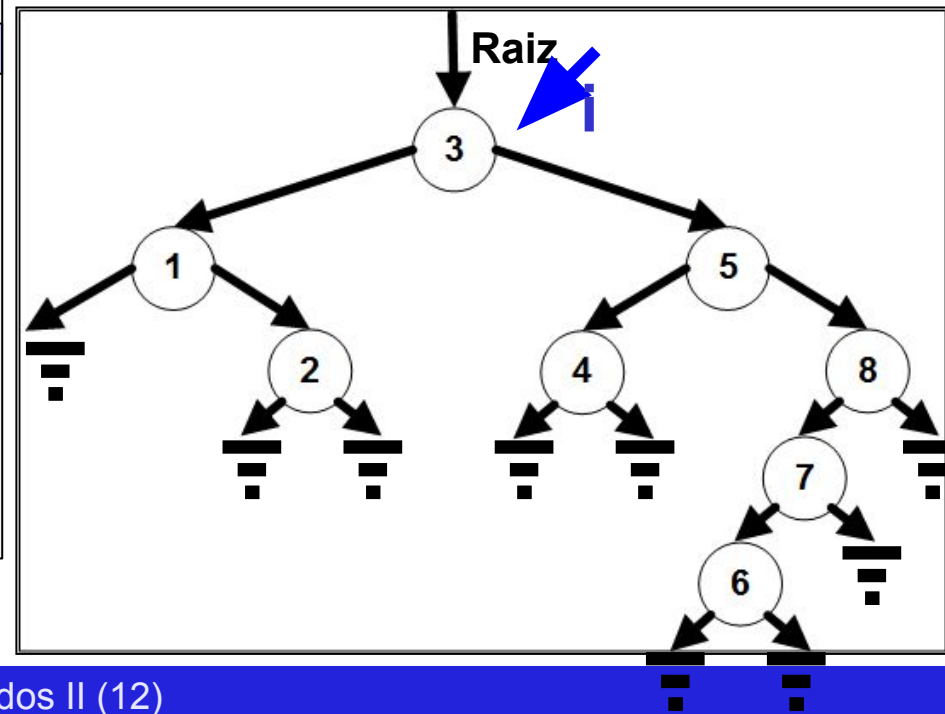
```
    resp = true;
```

```
} else if (x < i.elemento) {  
    resp = pesquisar(x, i.esq);
```

```
} else {  
    resp = pesquisar(x, i.dir);  
}
```

```
return resp;
```

false: 4 == 3



Algoritmo de Pesquisa em Java

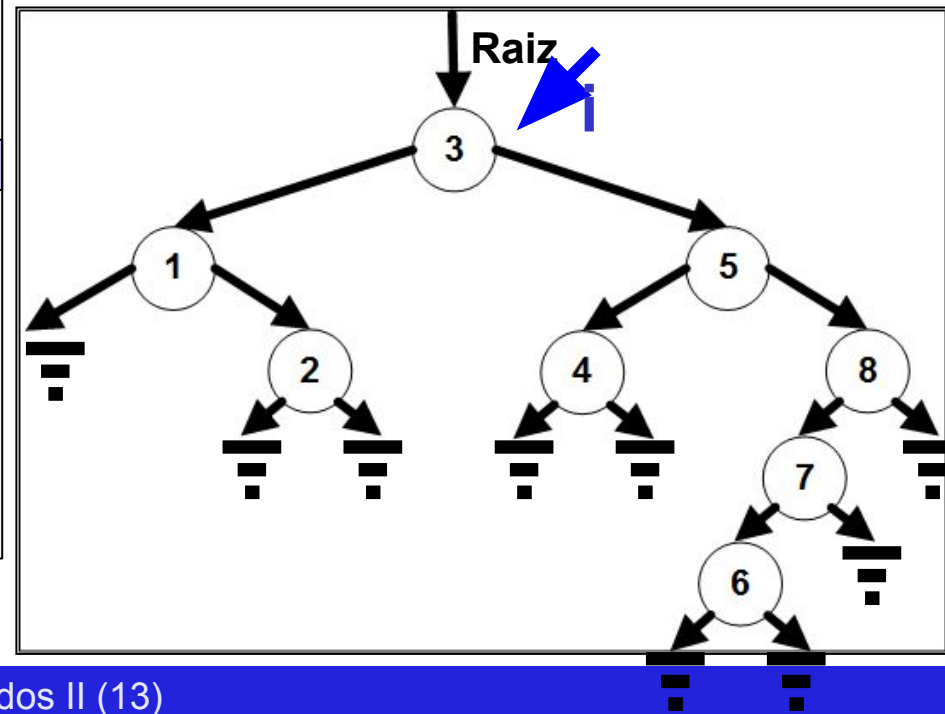
```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;
```

```
} else if (x < i.elemento) {  
    resp = pesquisar(x, i.esq);  
} else {  
    resp = pesquisar(x, i.dir);  
}  
return resp;  
}
```

false: $4 < 3$

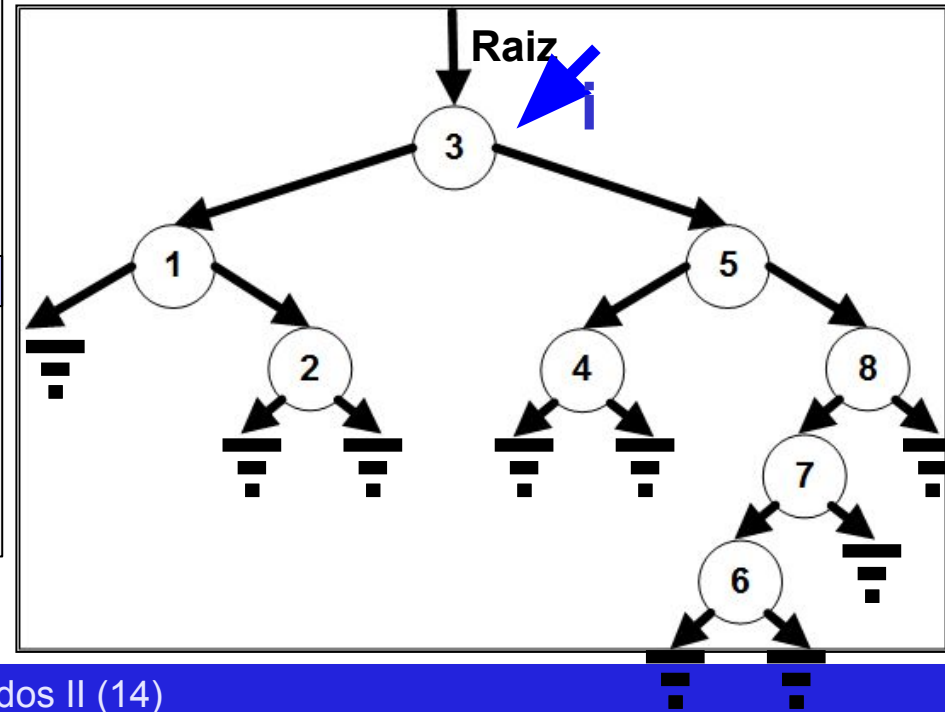


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```

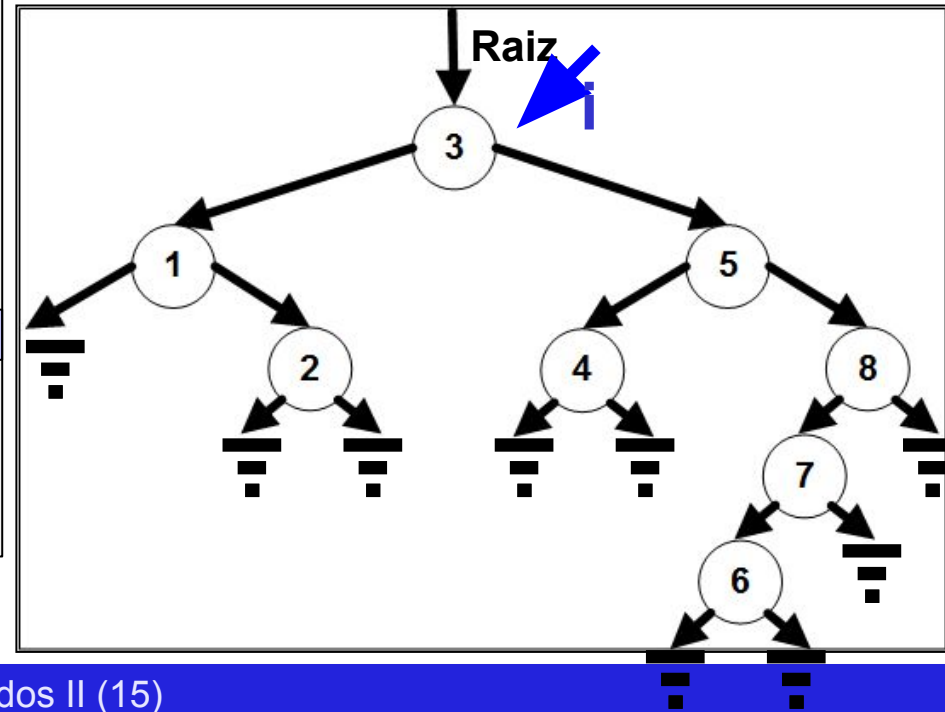


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```



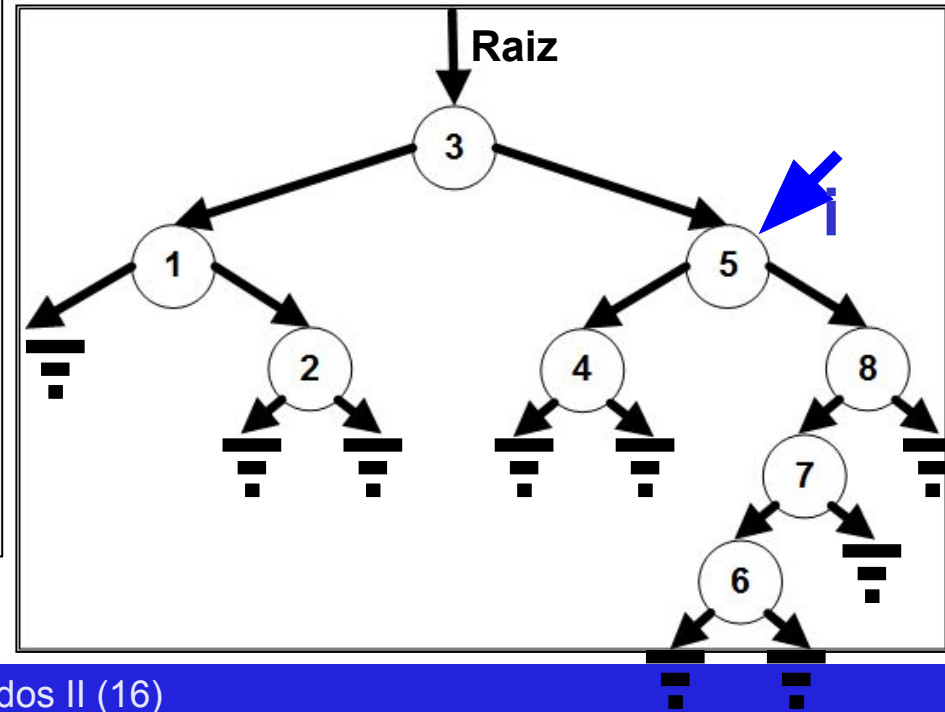
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

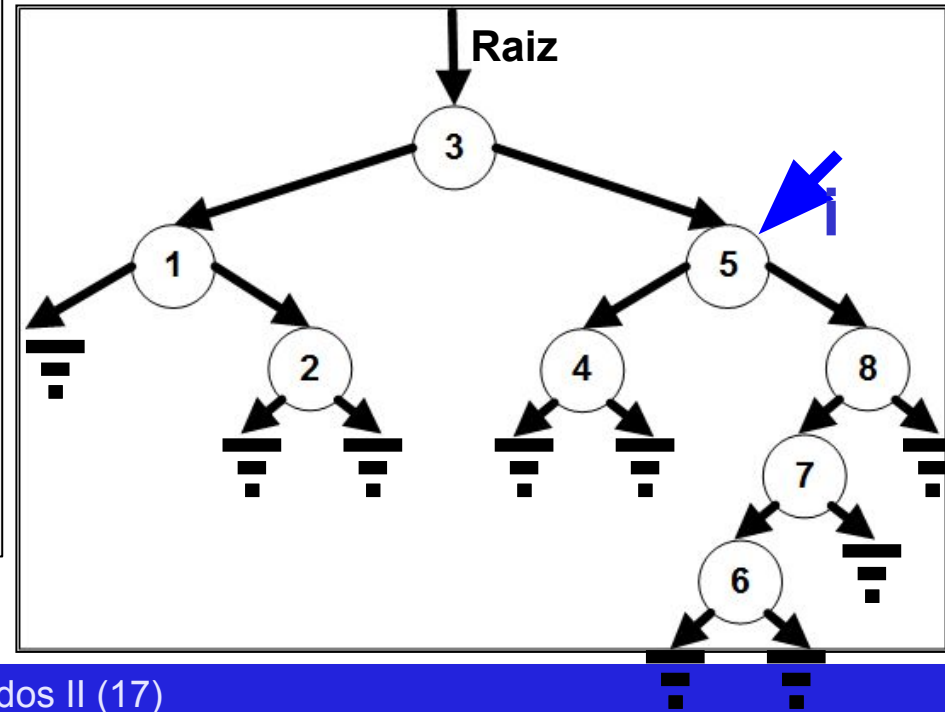
```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {
```

```
        resp = false;
```

```
    } else if (x == i.elemento) {
```

```
        resp = true;
```

```
    } else if (x < i.elemento) {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.esq);
```

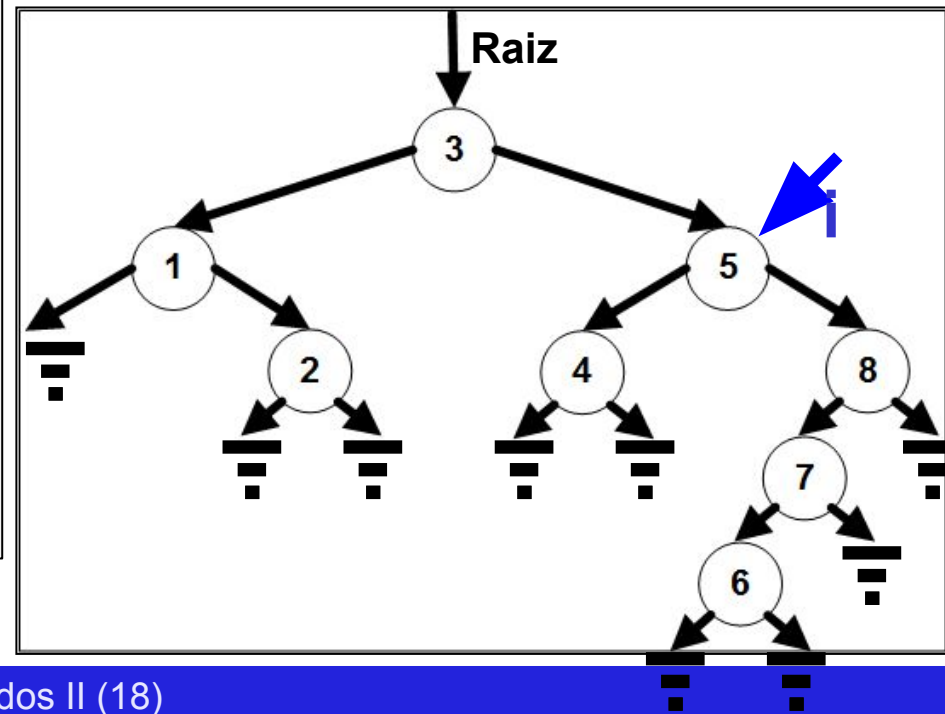
```
    } else {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.dir);
```

```
    }
```

```
    return resp;
```

```
} false: n(5) == null
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;
```

```
} else if (x == i.elemento) {
```

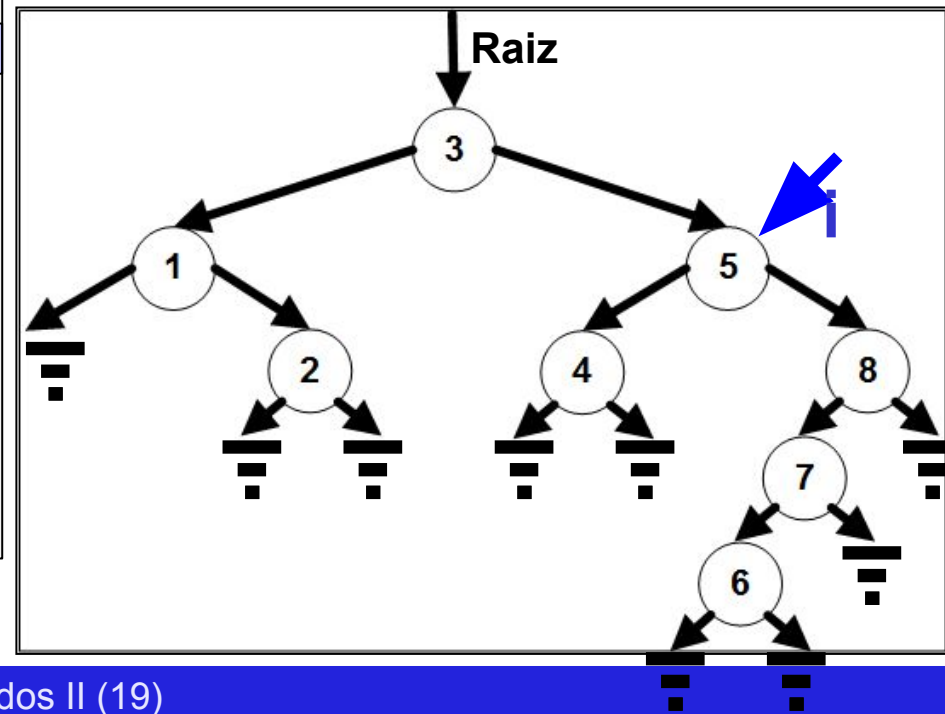
```
    resp = true;
```

```
} else if (x < i.elemento) {  
    resp = pesquisar(x, i.esq);
```

```
} else {  
    resp = pesquisar(x, i.dir);  
}
```

```
return resp;
```

false: 4 == 5



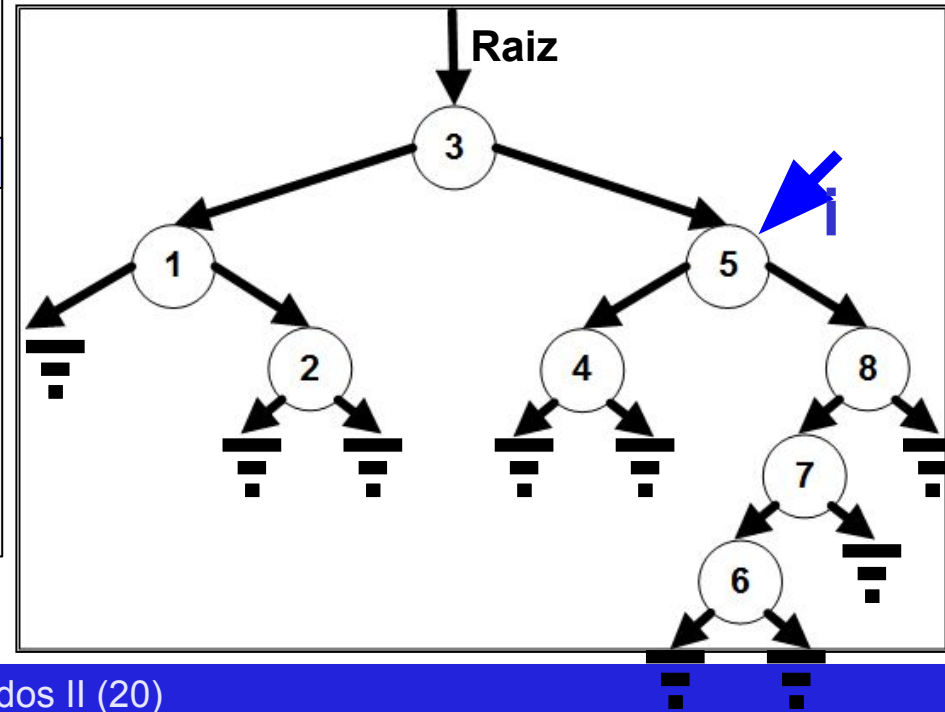
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

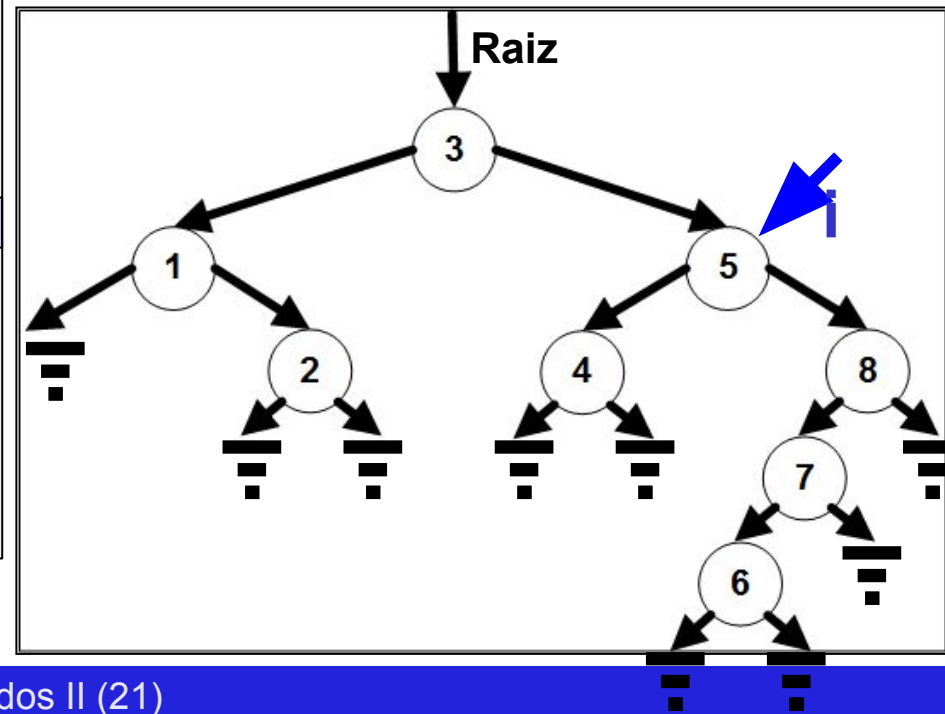
true: 4 < 5



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



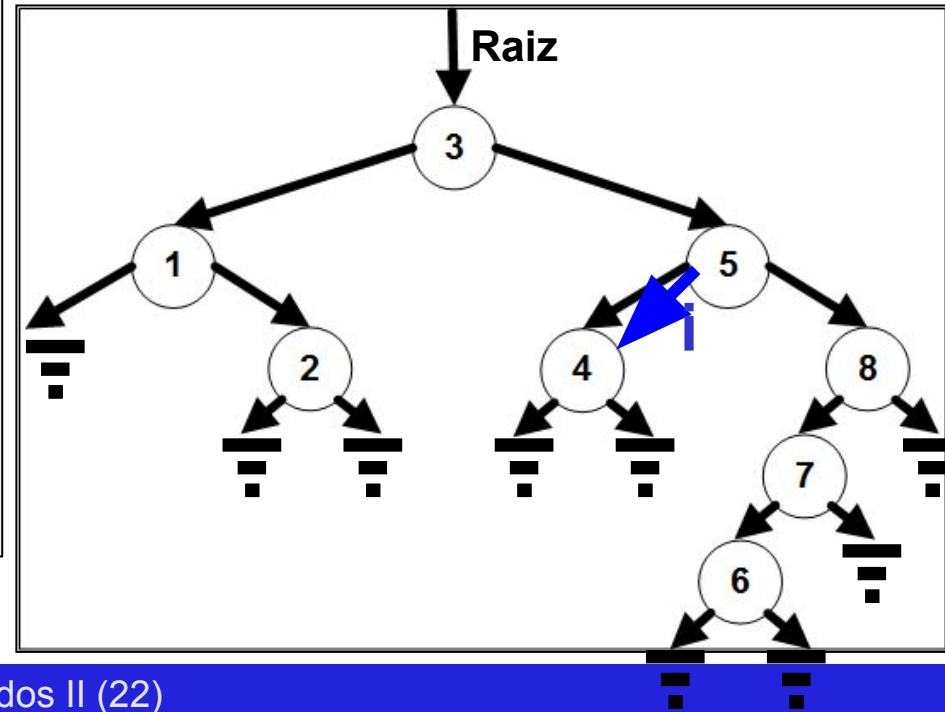
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

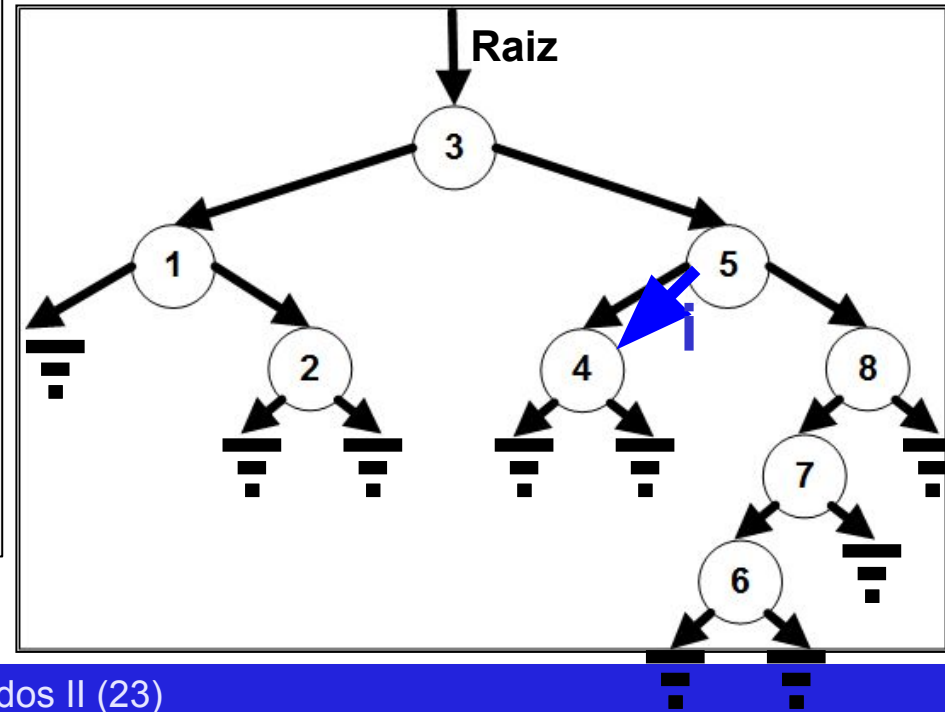
```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {
```

```
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;
```

```
    if (i == null) {
```

```
        resp = false;
```

```
    } else if (x == i.elemento) {
```

```
        resp = true;
```

```
    } else if (x < i.elemento) {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.esq);
```

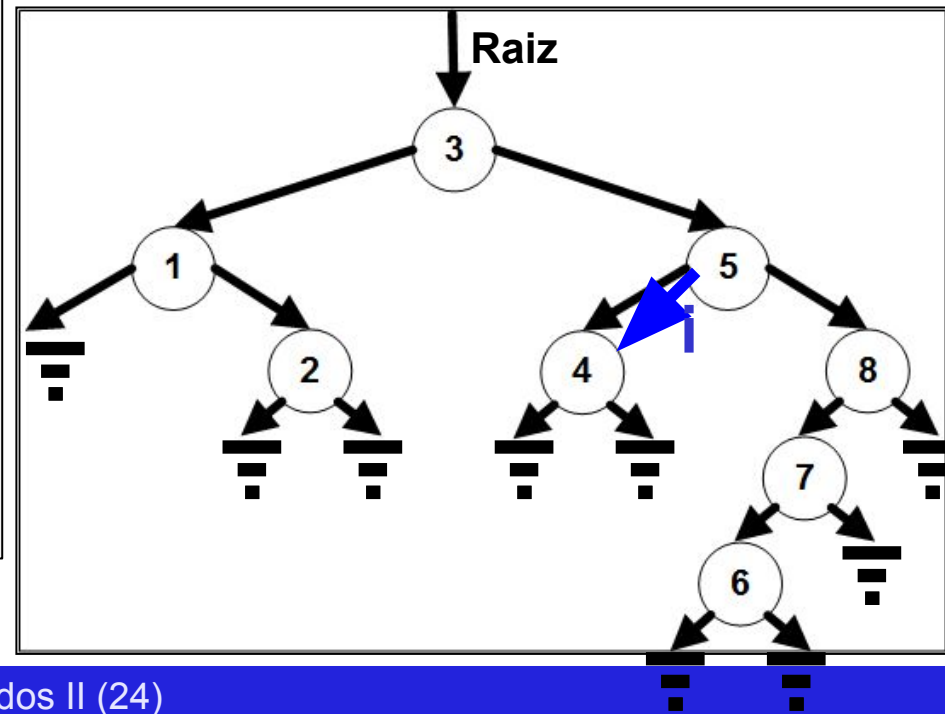
```
    } else {
```

```
        resp = pesquisar(x, i.dir);
```

```
    }
```

```
    return resp;
```

```
} false: n(4) == null
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;
```

```
    } else if (x == i.elemento) {
```

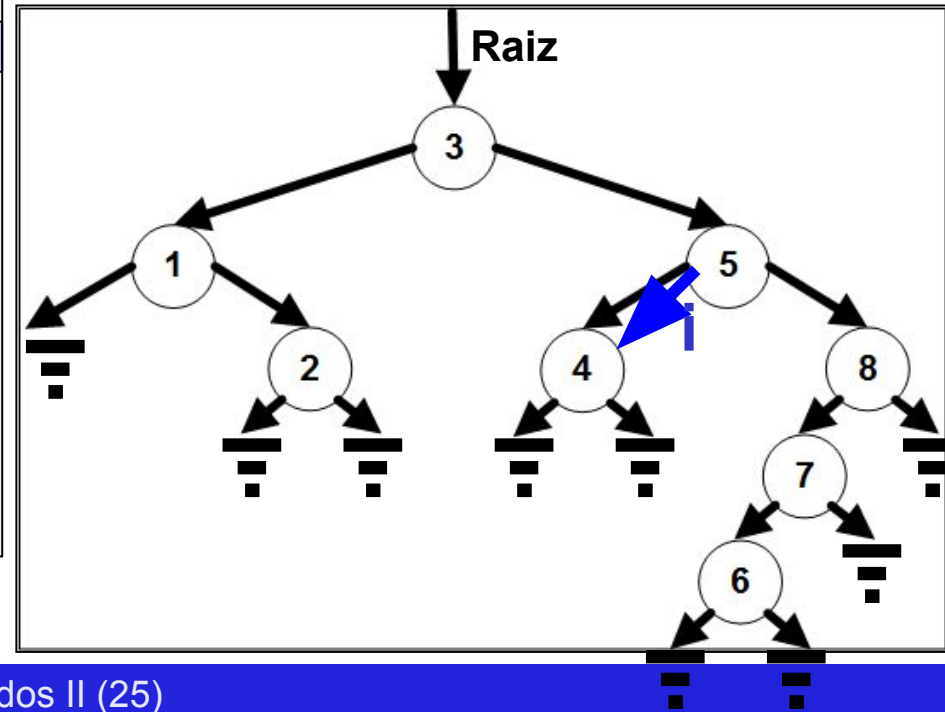
```
        resp = true;
```

```
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);
```

```
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }
```

```
    return resp;
```

true: 4 == 4

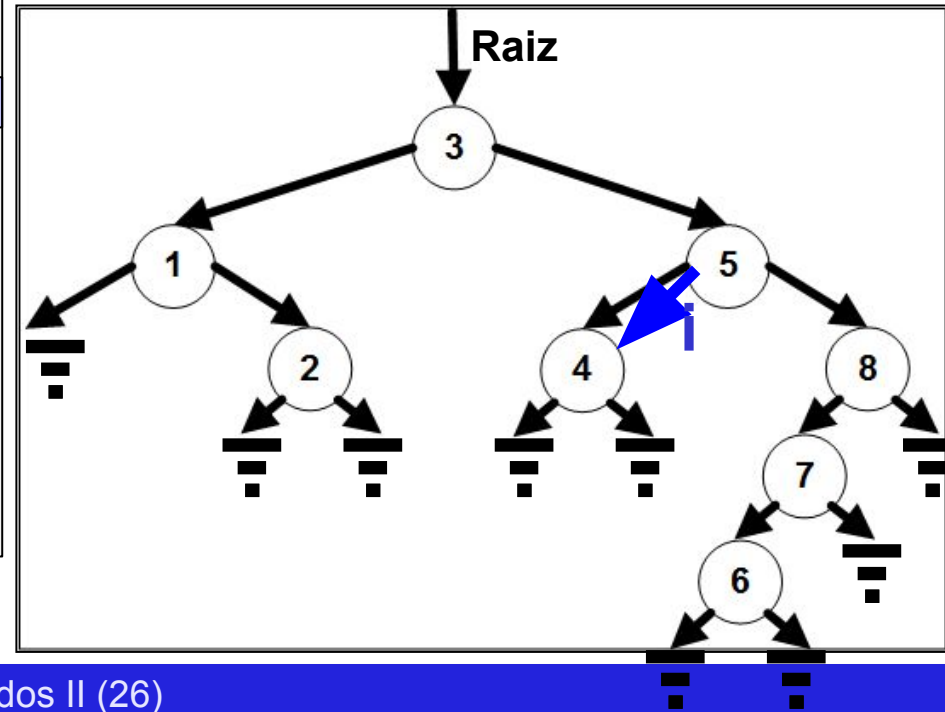


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

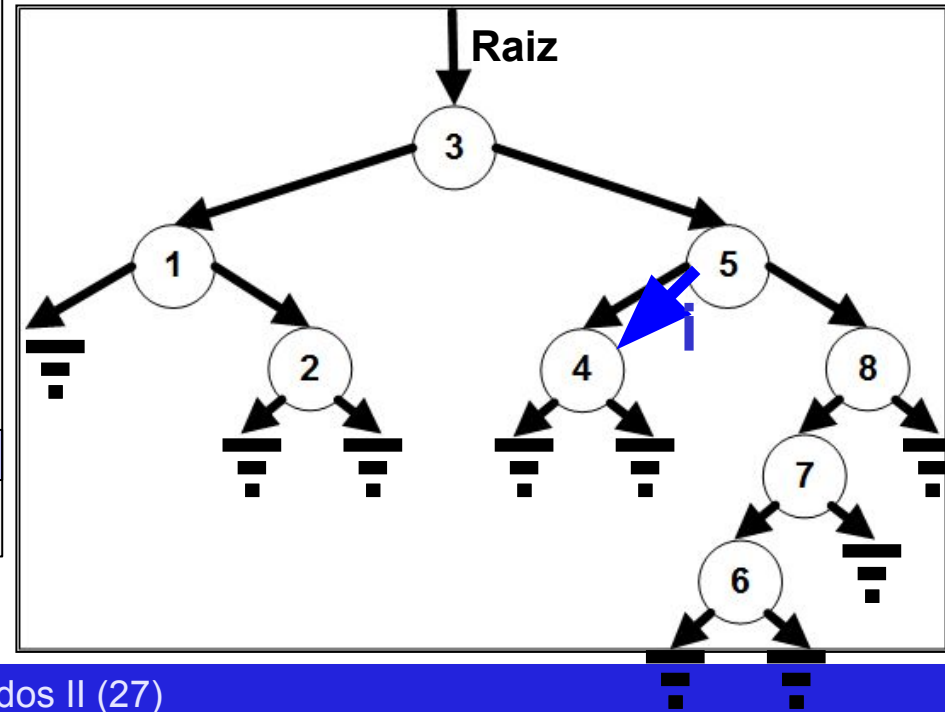
```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

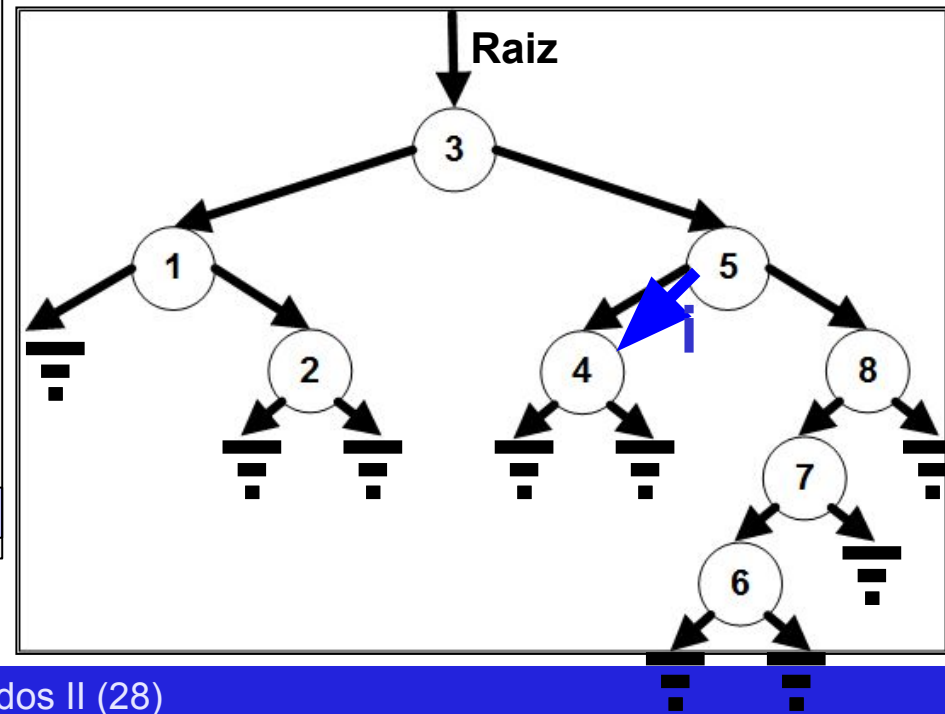
```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

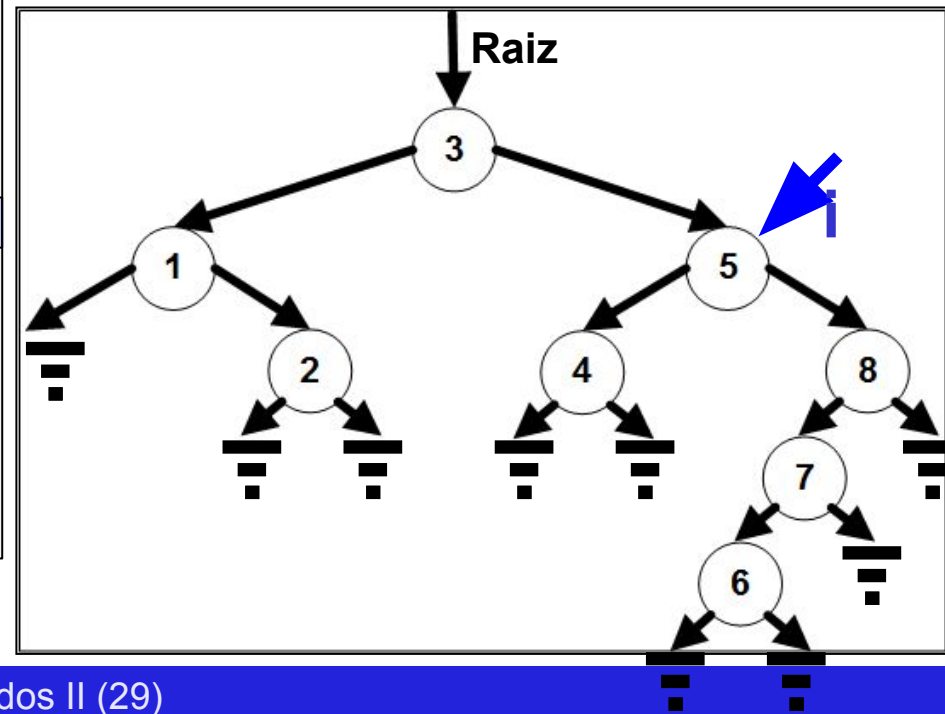
```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

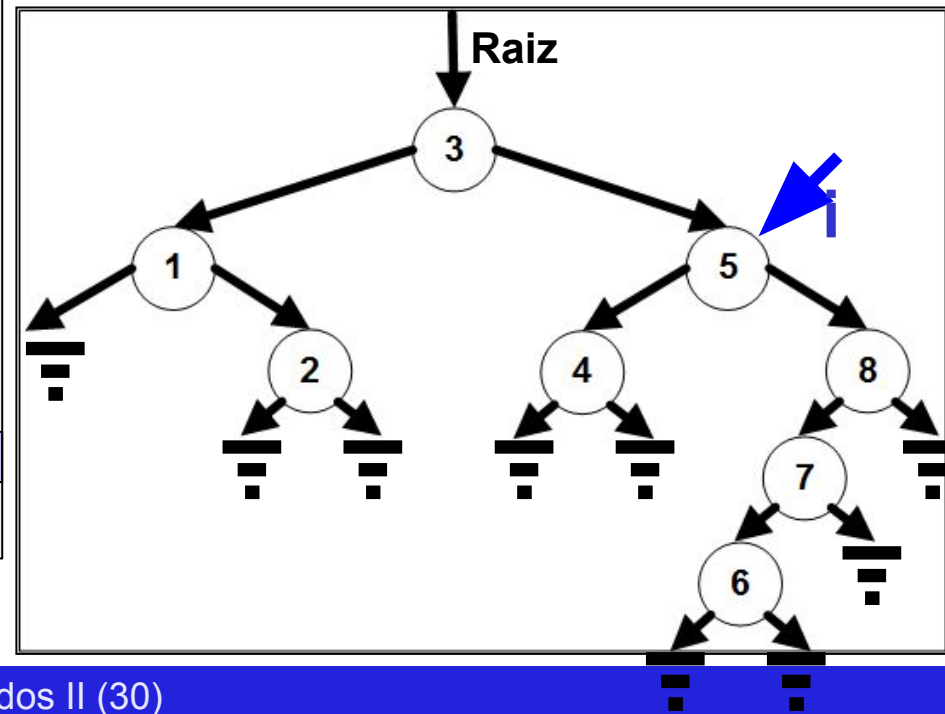
```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



Algoritmo de Pesquisa em Java

//Pesquisar(4)

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}  
  
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

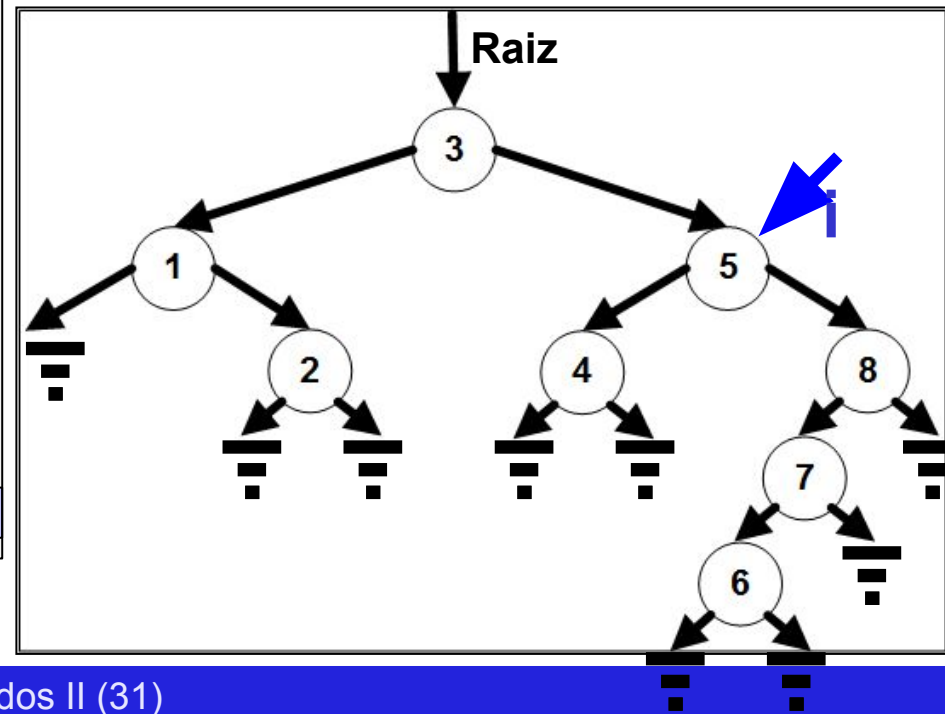


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```

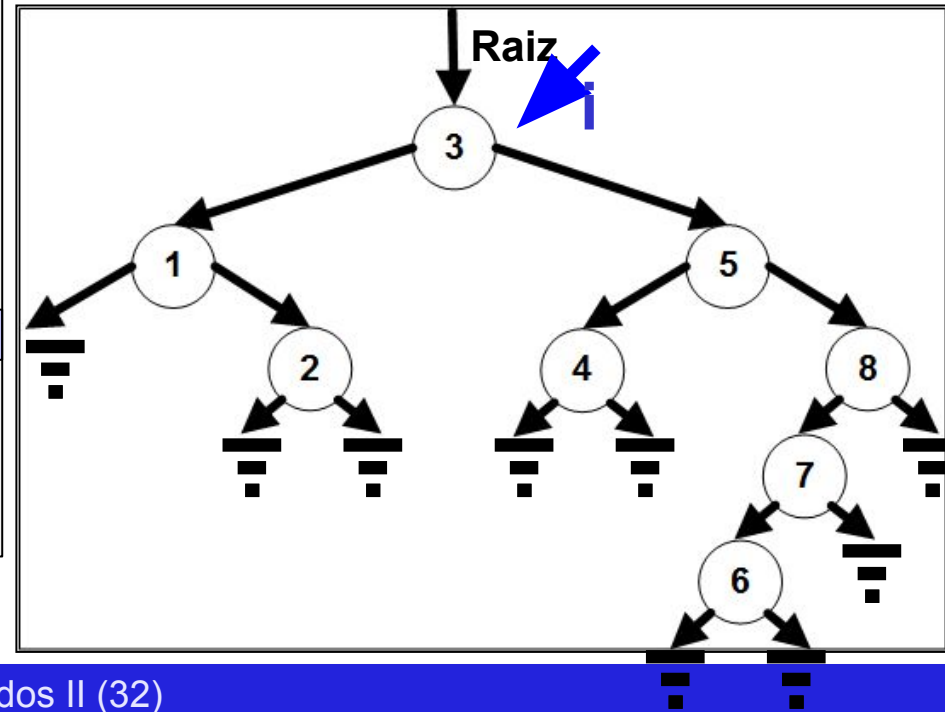


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```

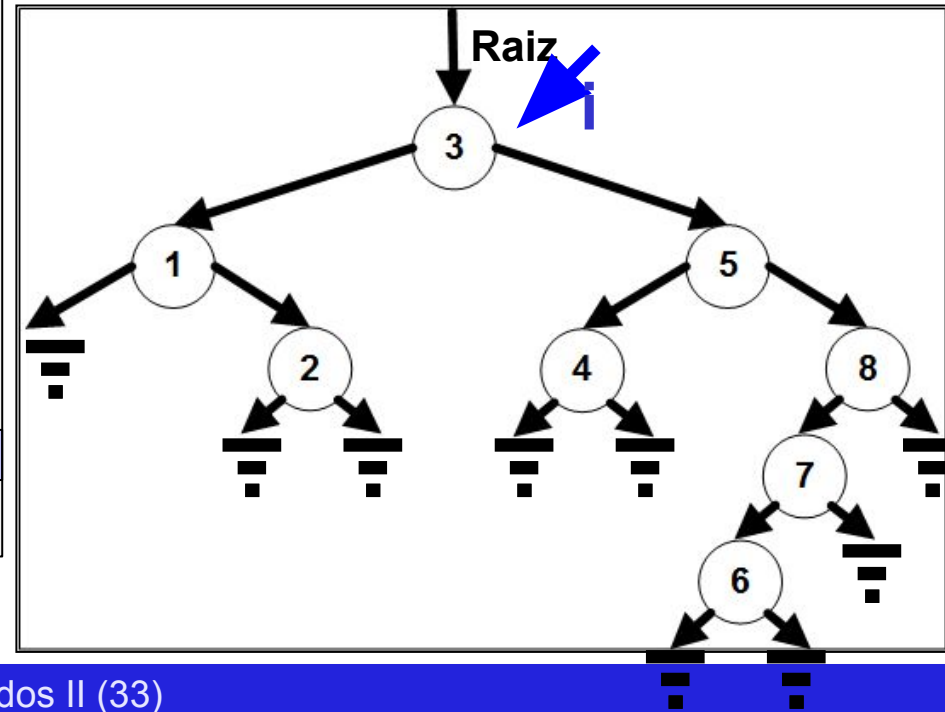


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```

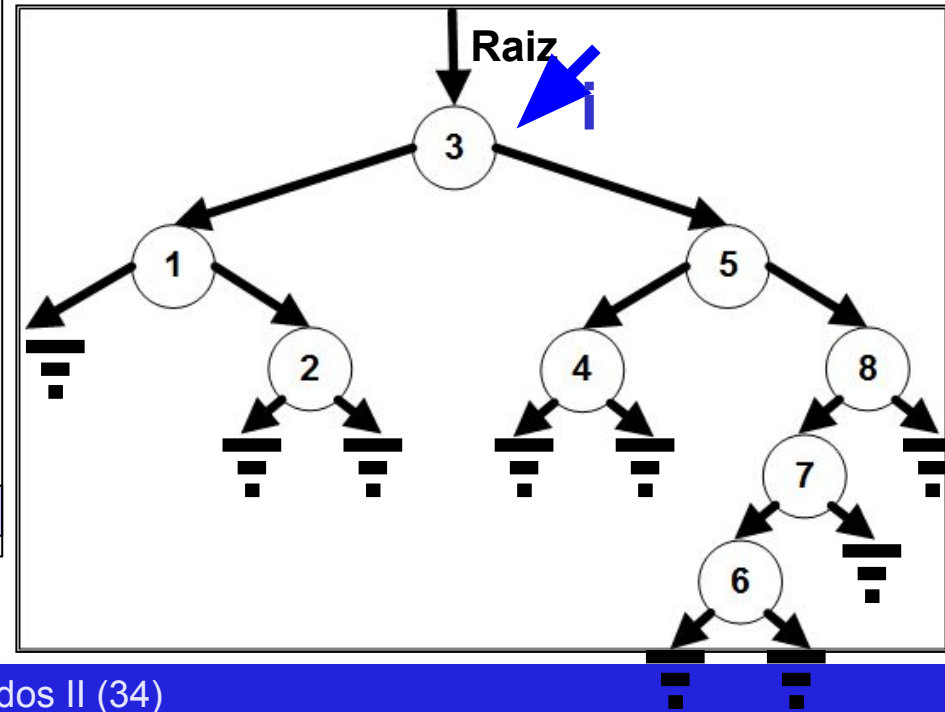


Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {
    return pesquisar(x, raiz);
}

boolean pesquisar(int x, No i) {
    boolean resp;
    if (i == null) {
        resp = false;
    } else if (x == i.elemento) {
        resp = true;
    } else if (x < i.elemento) {
        resp = pesquisar(x, i.esq);
    } else {
        resp = pesquisar(x, i.dir);
    }
    return resp;
}
```



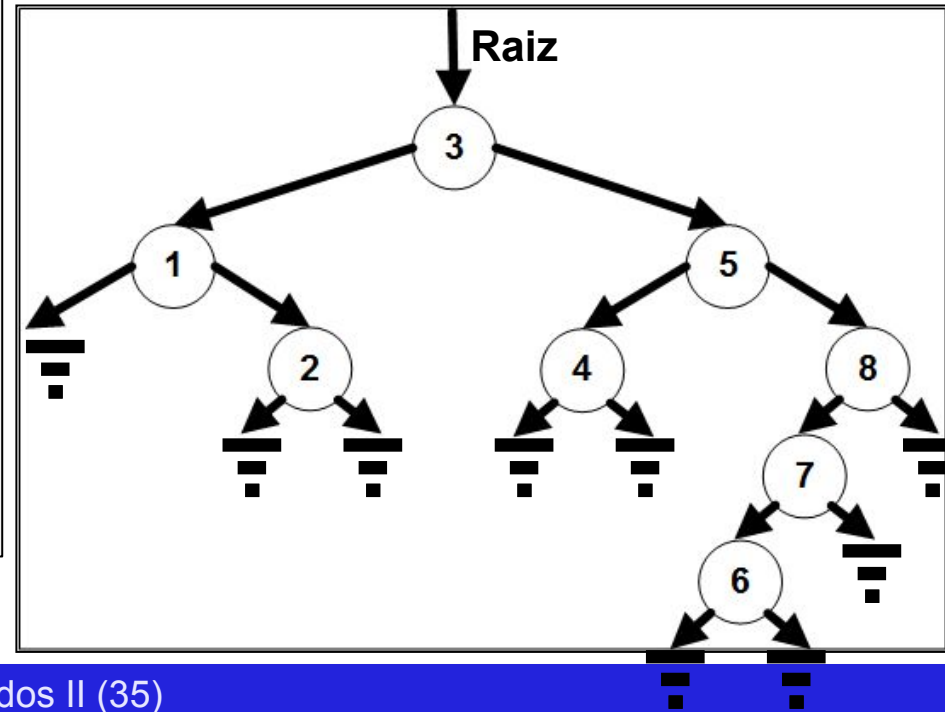
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```

retorna true

```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

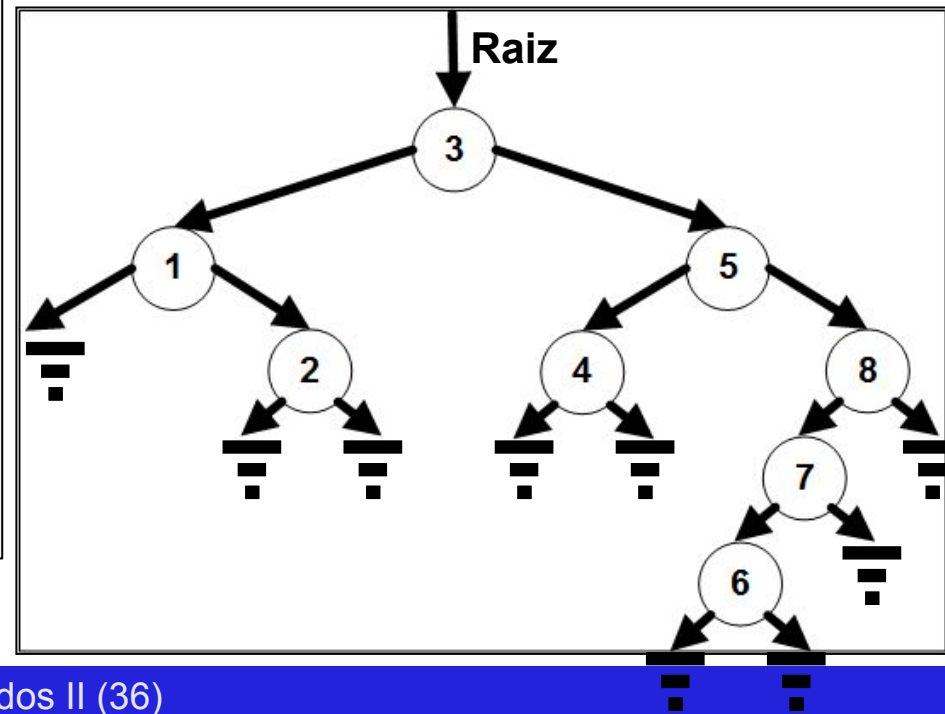


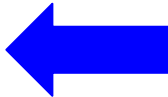
Algoritmo de Pesquisa em Java

```
//Pesquisar(4)
```

```
boolean pesquisar(int x) {  
    return pesquisar(x, raiz);  
}
```


```
boolean pesquisar(int x, No i) {  
    boolean resp;  
    if (i == null) {  
        resp = false;  
    } else if (x == i.elemento) {  
        resp = true;  
    } else if (x < i.elemento) {  
        resp = pesquisar(x, i.esq);  
    } else {  
        resp = pesquisar(x, i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```



- Funcionamento básico da Pesquisa
- Algoritmo pesquisa em Java
- **Análise de complexidade da Pesquisa** 
- Caminhamento

Análise de complexidade da Pesquisa

- **Melhor Caso:** $\Theta(1)$ comparações e acontece, por exemplo, na raiz
- **Pior Caso:** $\Theta(n)$ comparações e acontece, por exemplo, quando inserimos os elementos em ordem e o elemento desejado está na folha
- **Caso Médio:** $\Theta(\lg(n))$ comparações e acontece, por exemplo, quando a árvore está balanceada e procuramos um elemento localizado em uma das folhas

- Funcionamento básico da Pesquisa
- Algoritmo pesquisa em Java
- Análise de complexidade da Pesquisa
- **Caminhamento** 

Caminhamento

- Consiste em “caminhar” por todos os nós da árvore
- Também chamado de percorrer, buscar, visitar, mostrar,
- Análise de complexidade: $\Theta(n)$ visitas



Alguns Caminhamentos

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

//central ou em ordem

```
void caminharPos(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharPos(i.esq);  
        caminharPos(i.dir);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
    }  
}
```

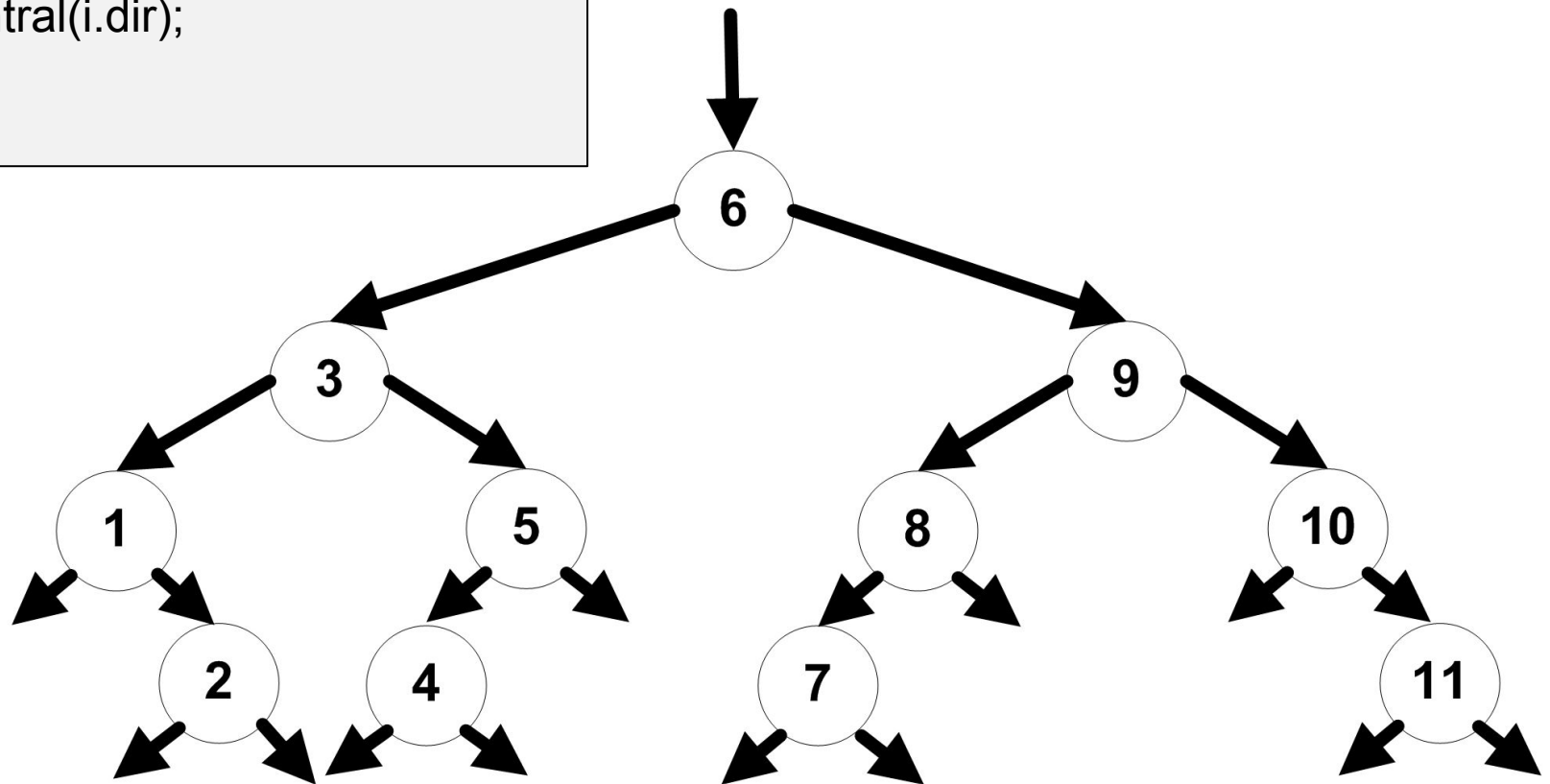
//pós-fixado ou pós-ordem

```
void caminharPre(No i) {  
    if (i != null) {  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharPre(i.esq);  
        caminharPre(i.dir);  
    }  
}
```

//pré-fixado ou pré-ordem

Caminhamento Central ou Em Ordem

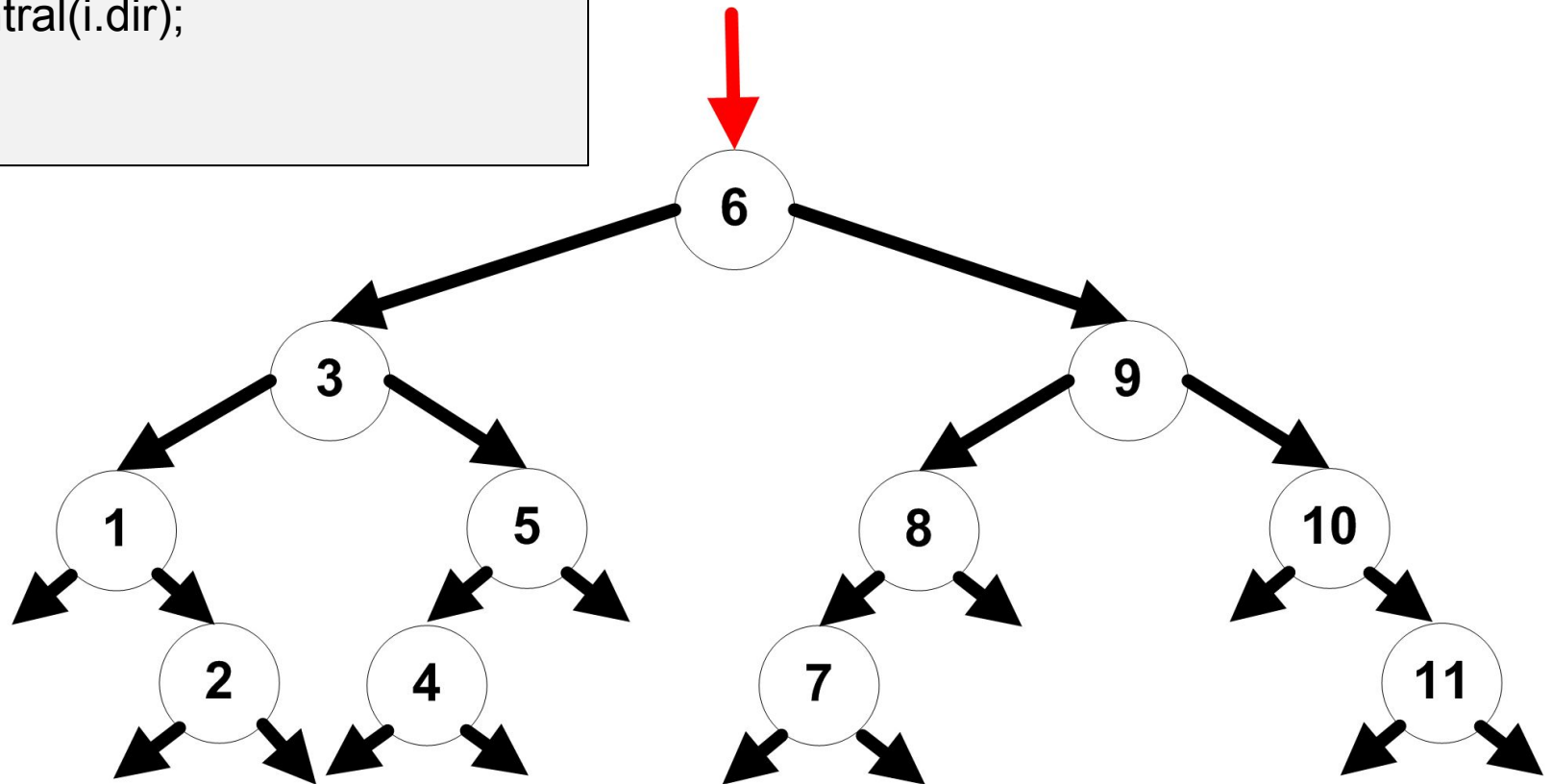
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

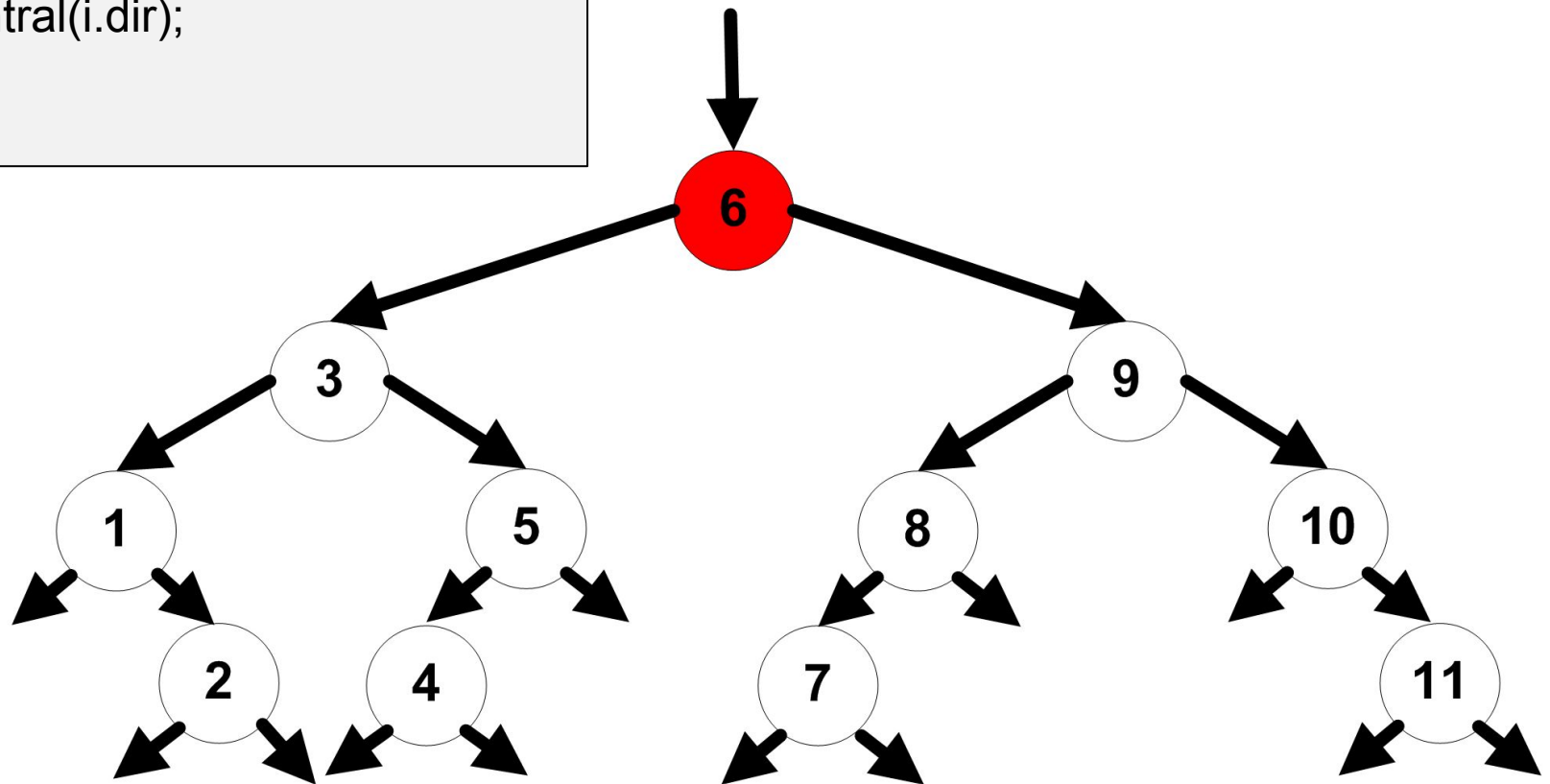
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

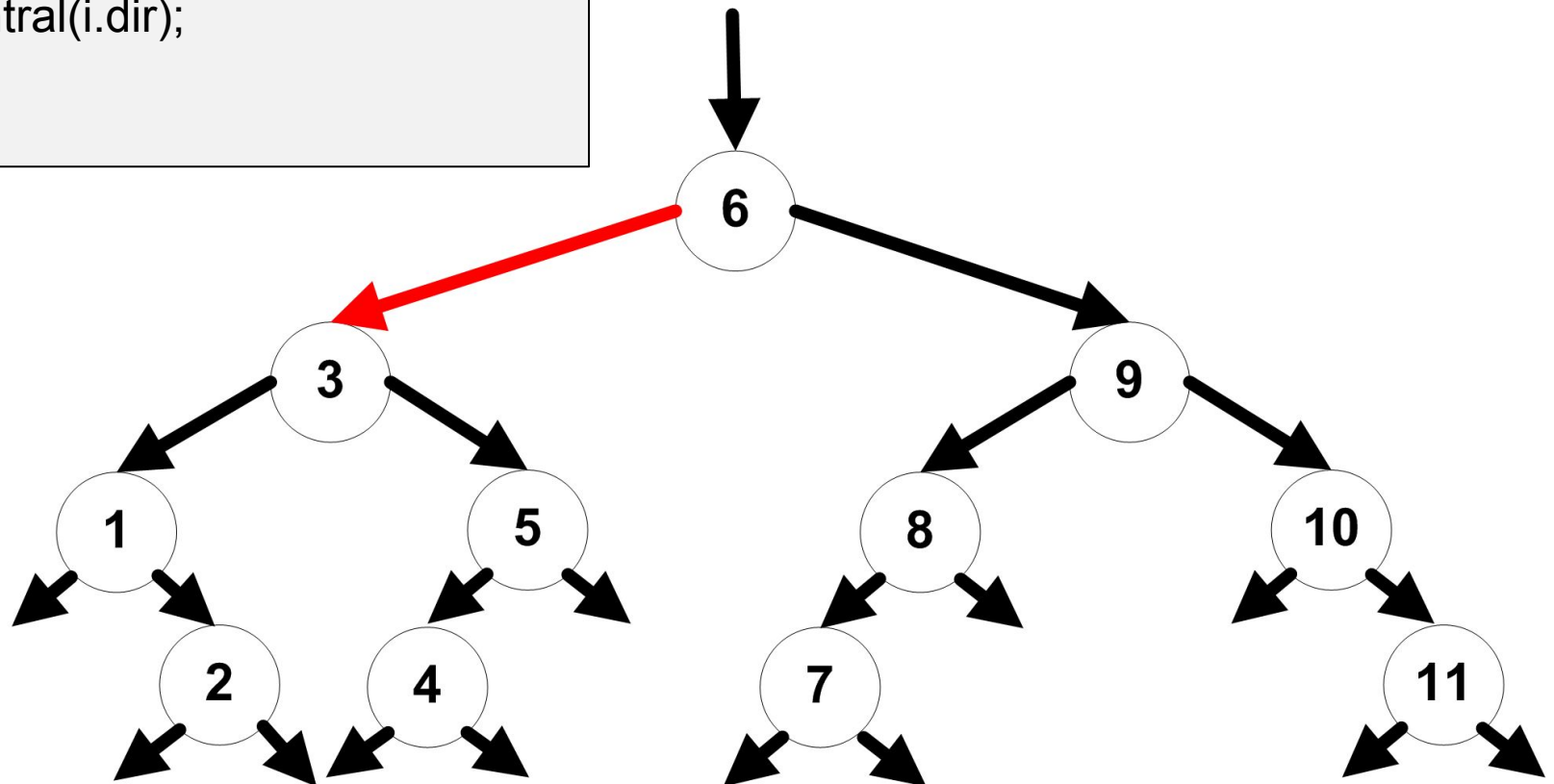
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

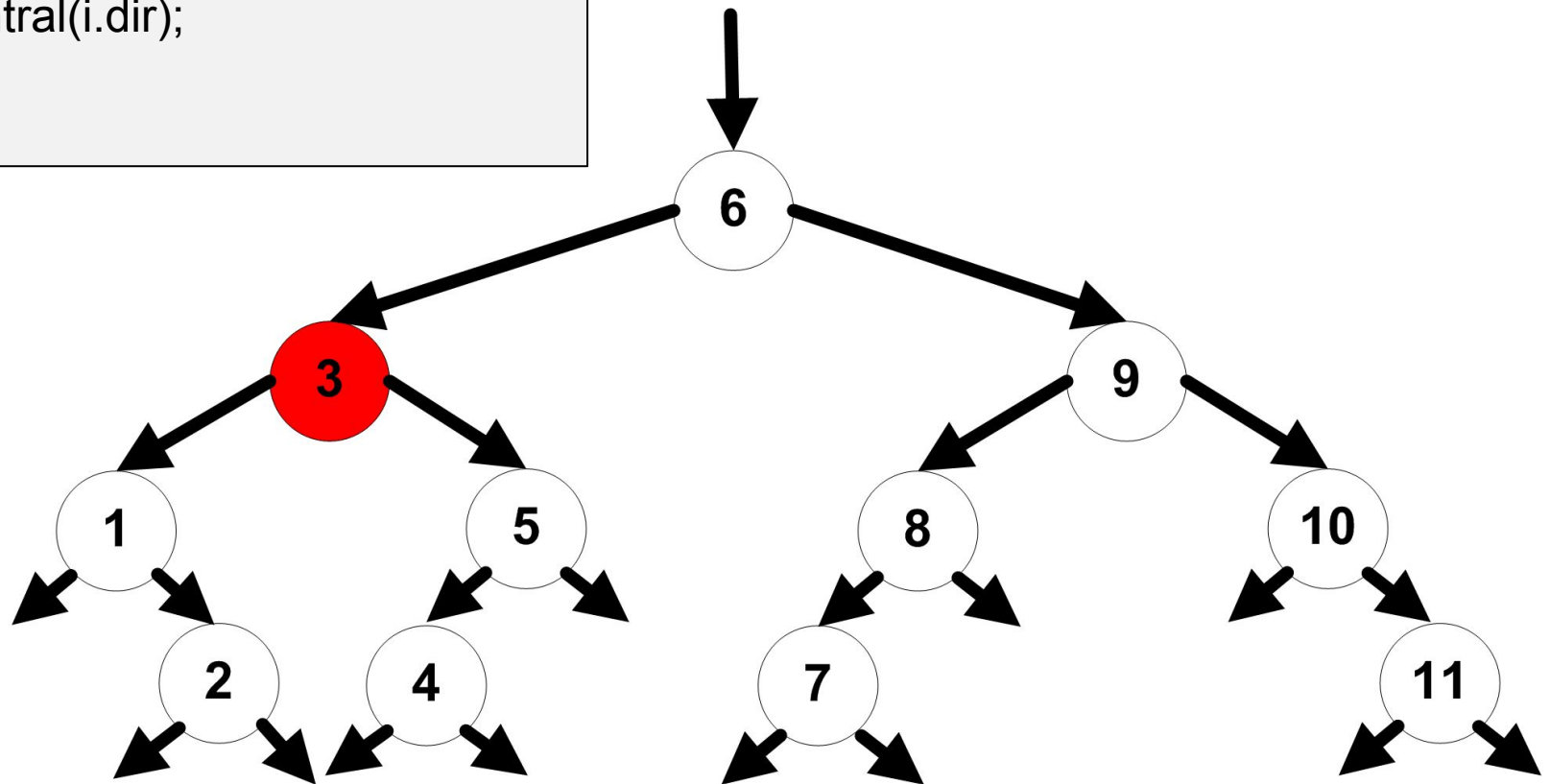
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

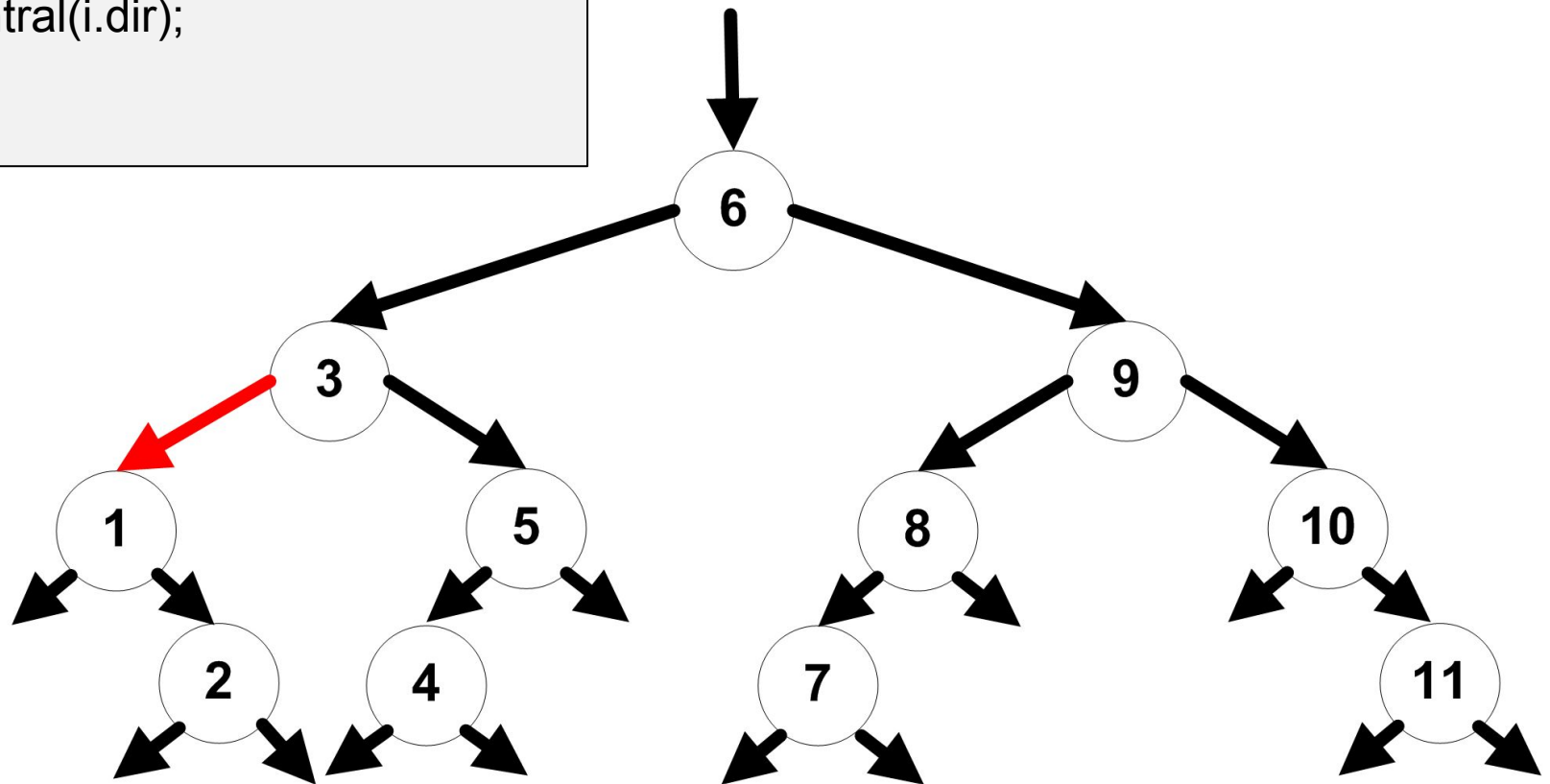
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

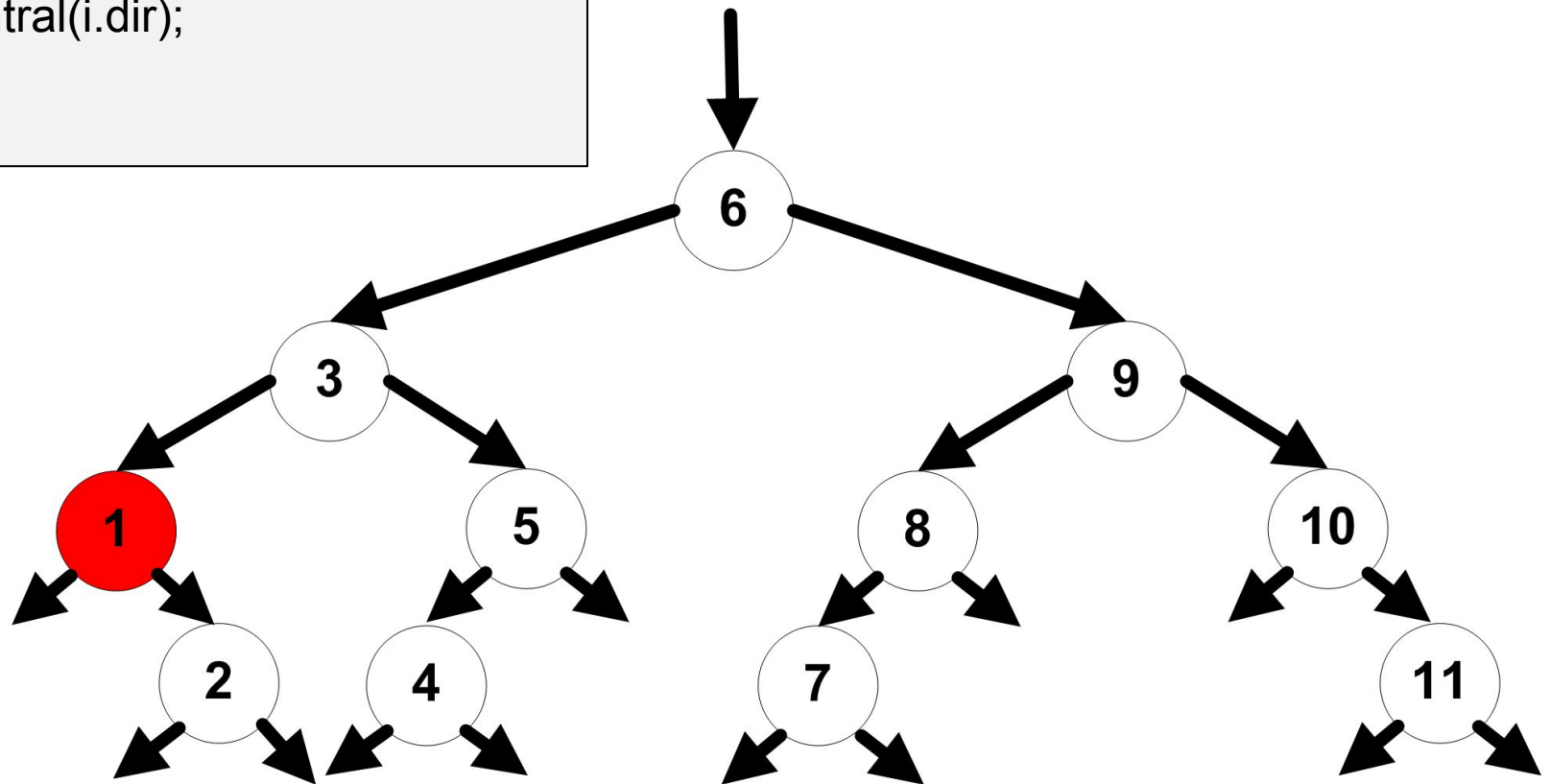
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

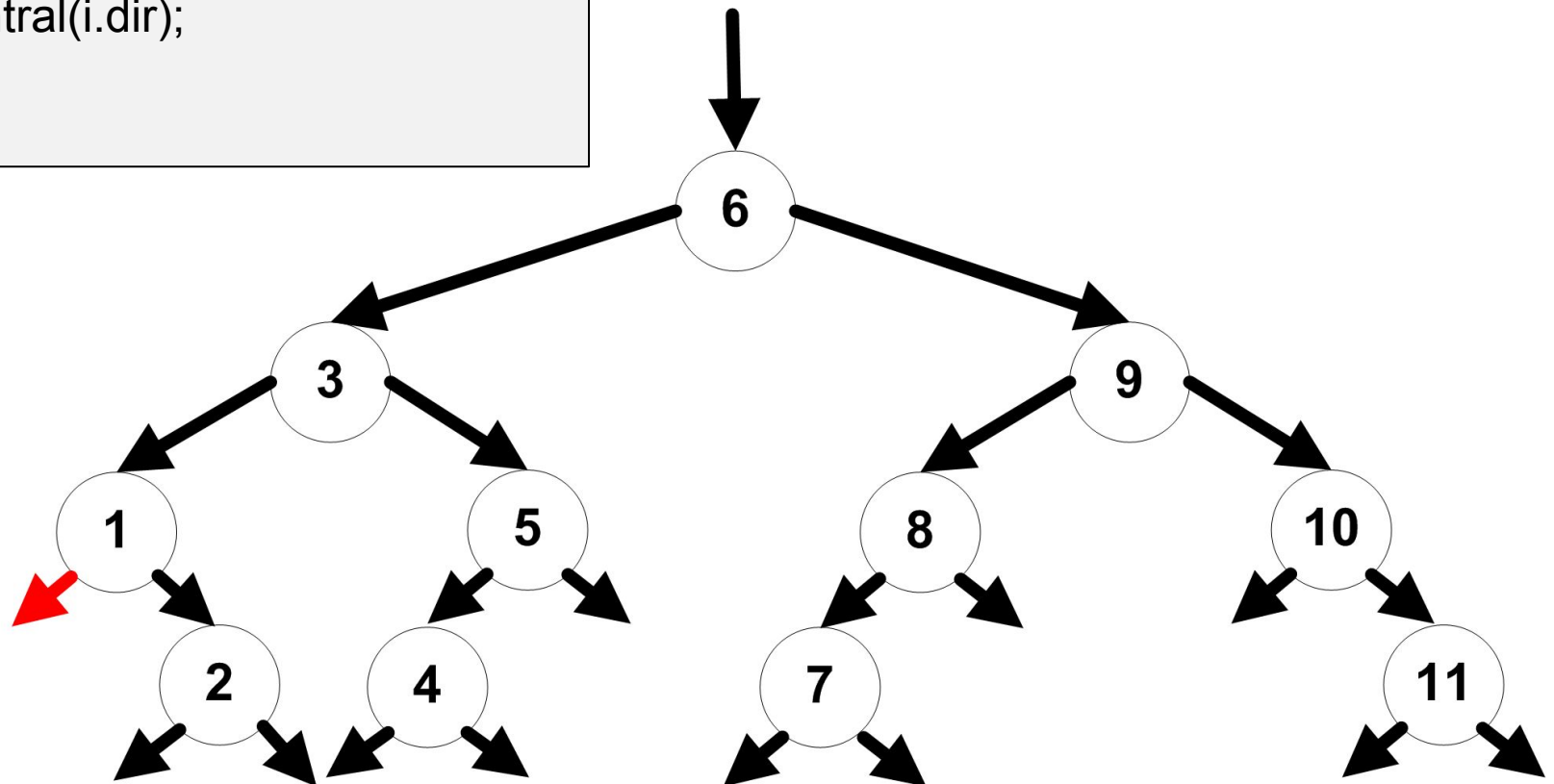
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

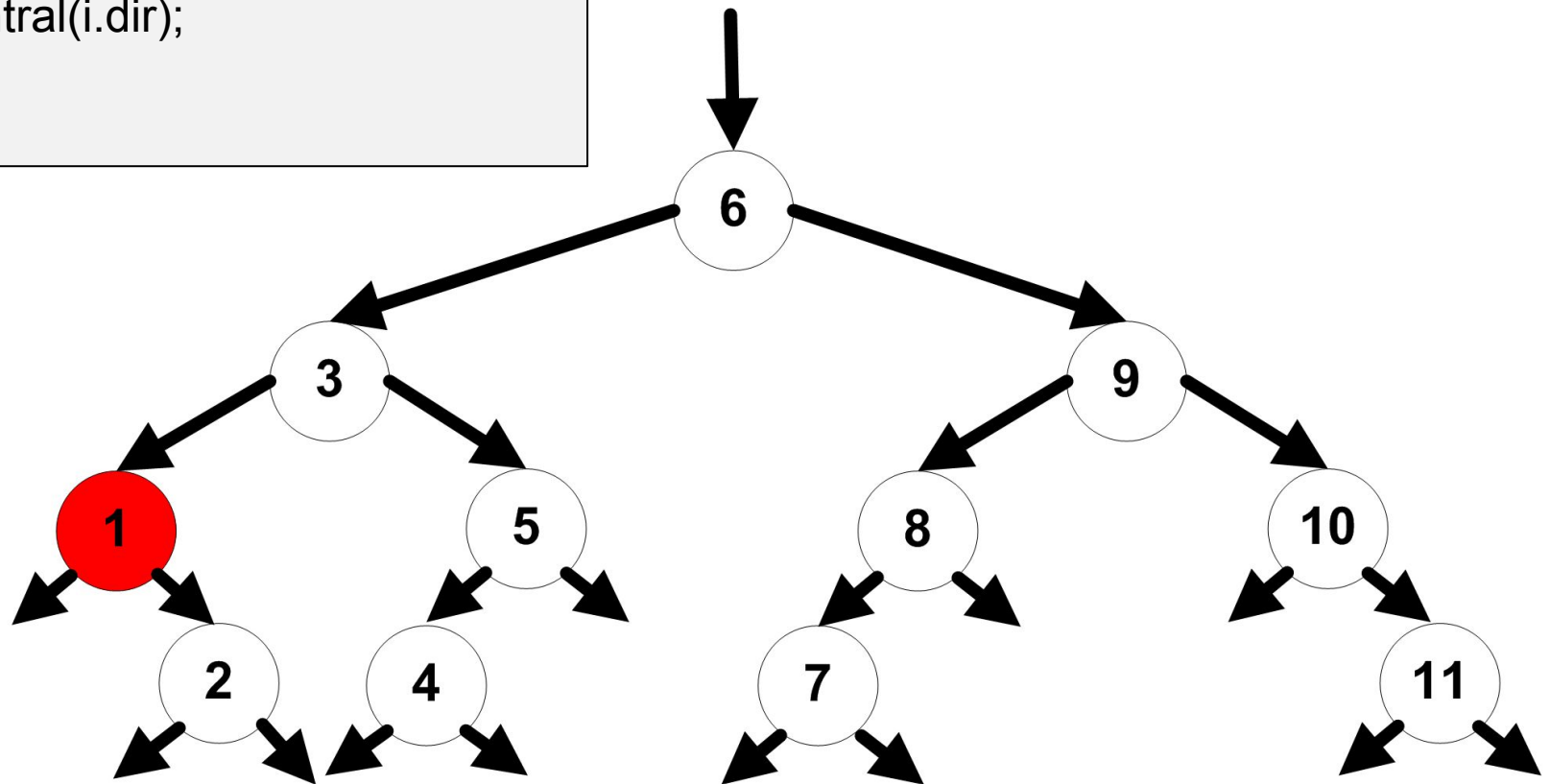
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

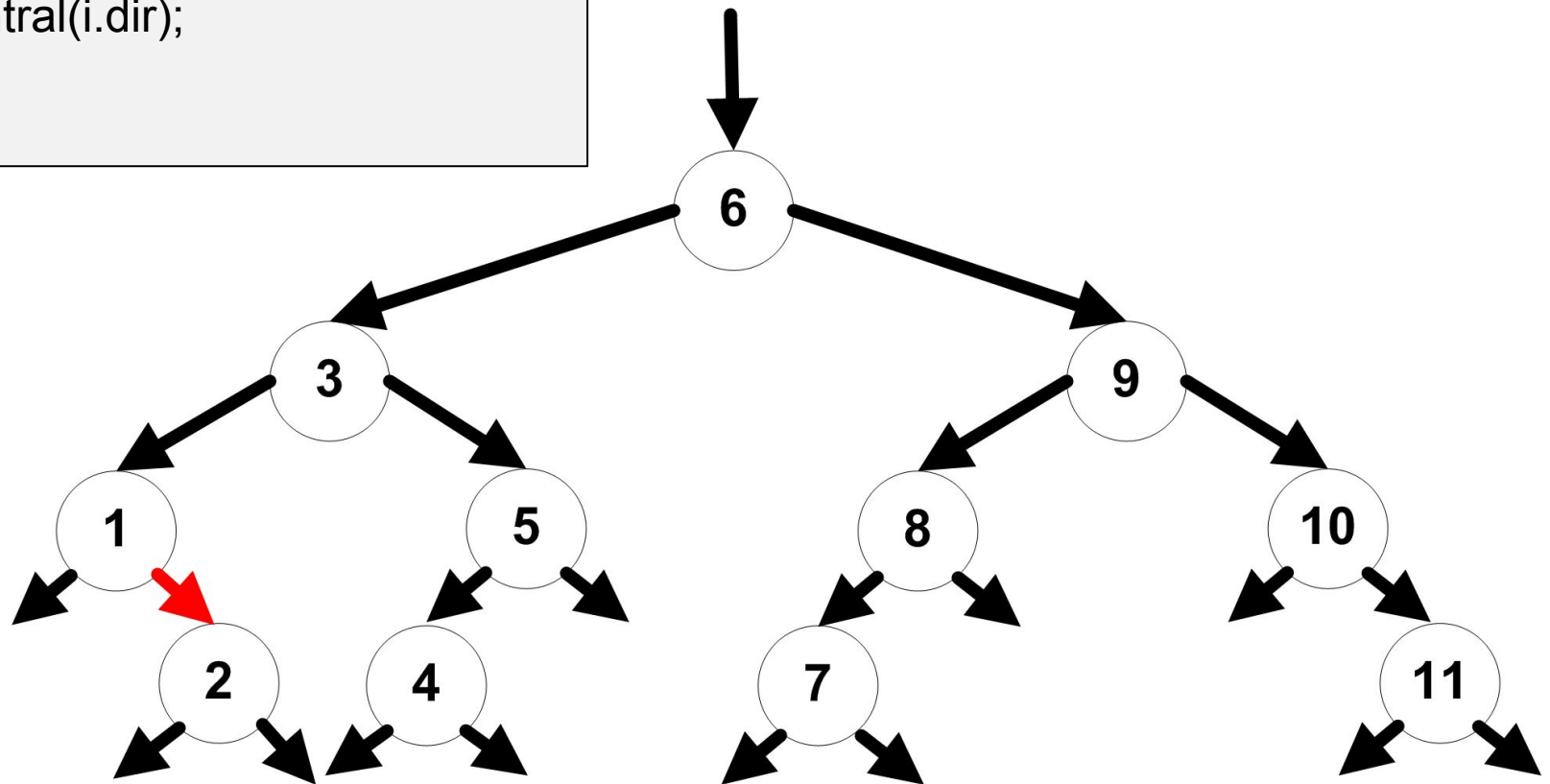


Tela

1

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

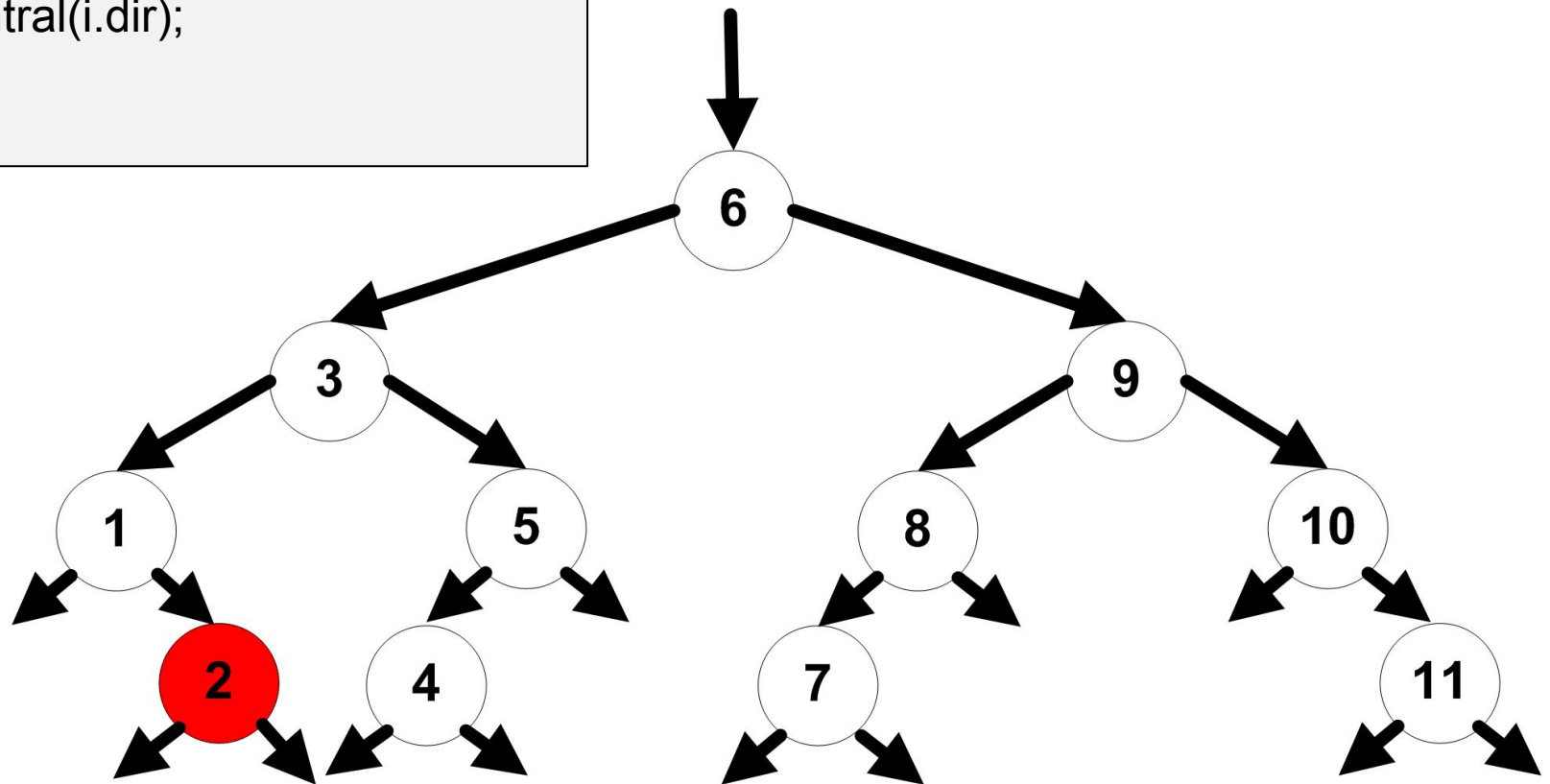


Tela

1

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

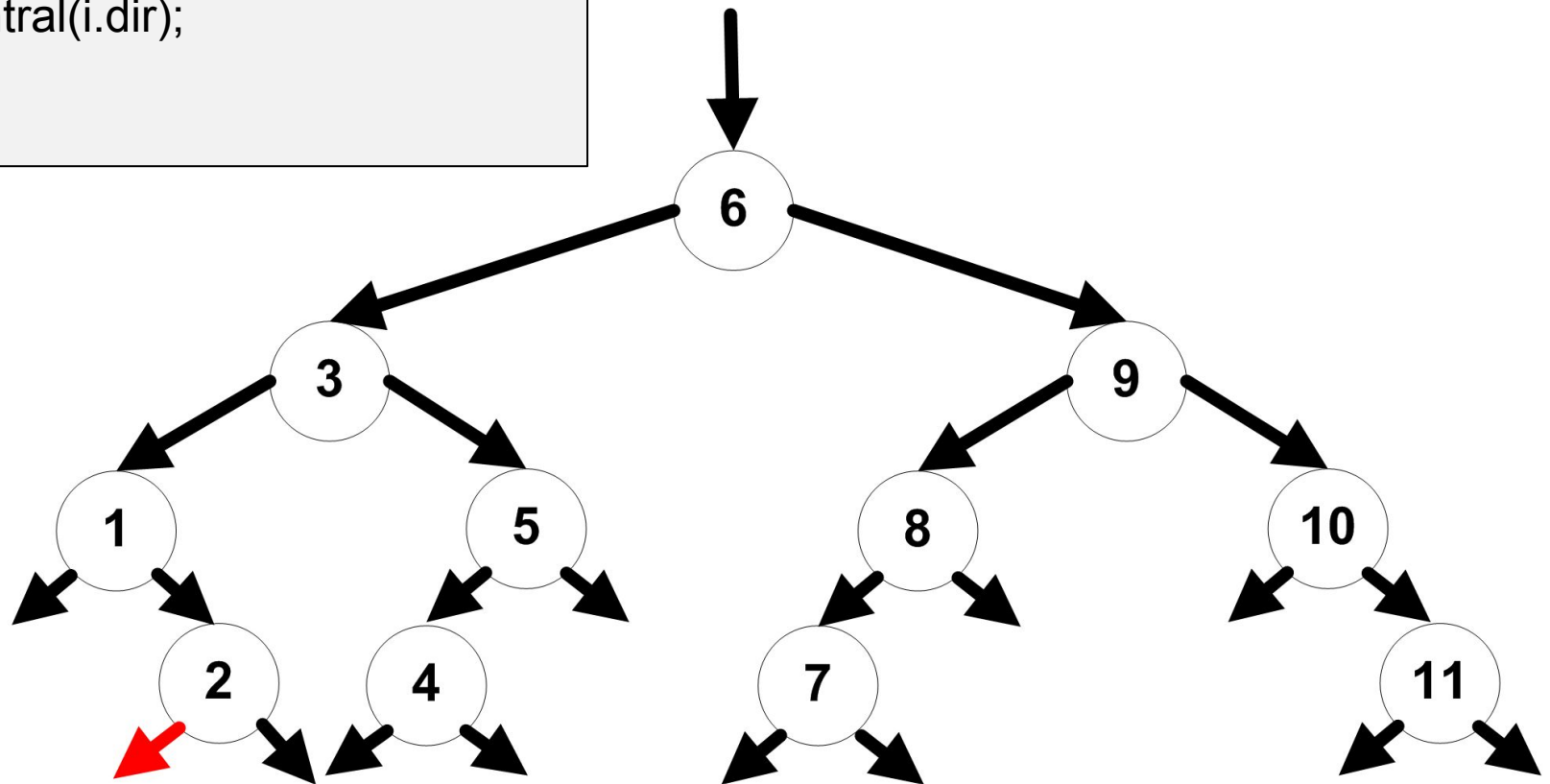


Tela

1

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

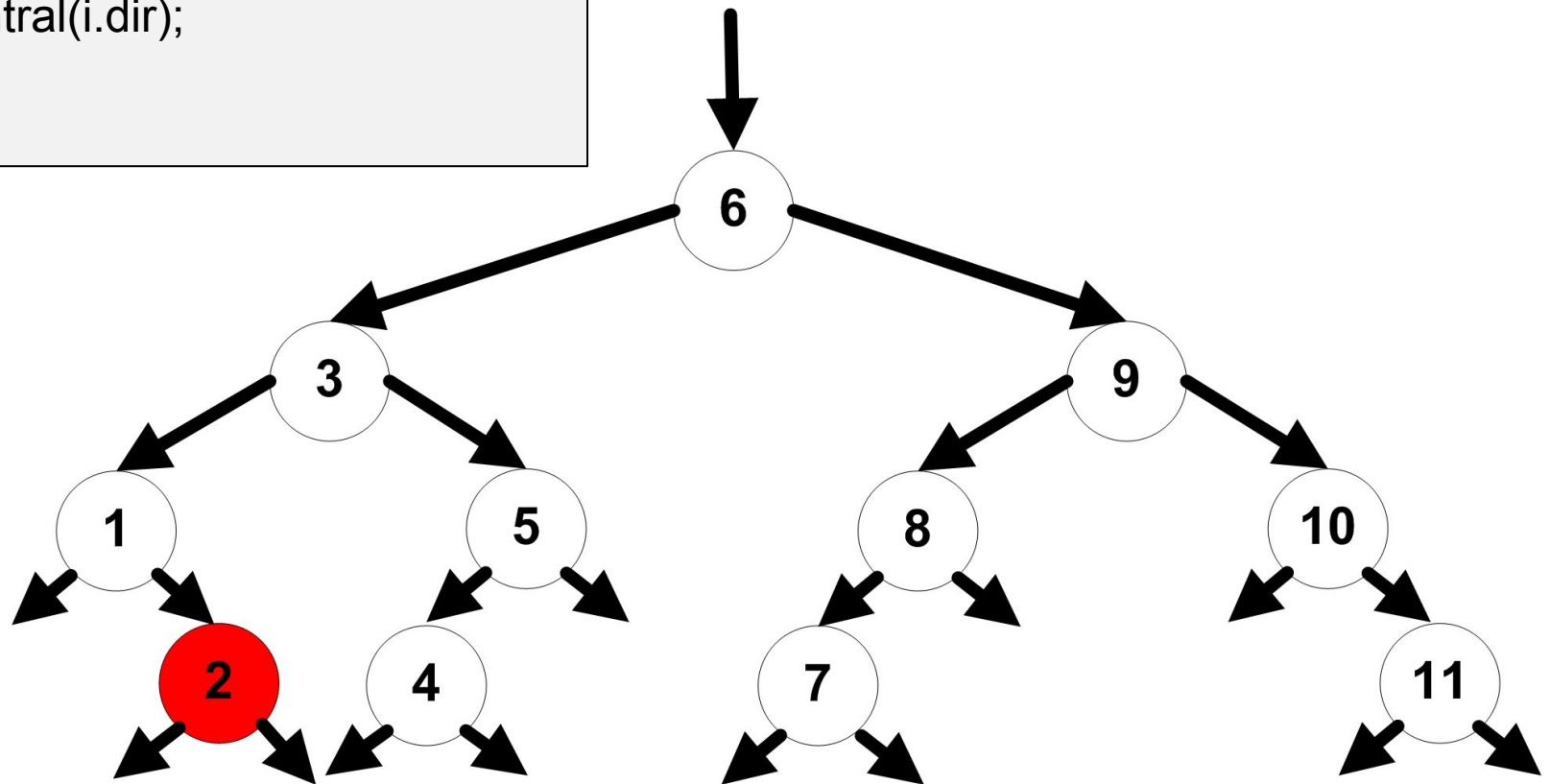


Tela

1

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



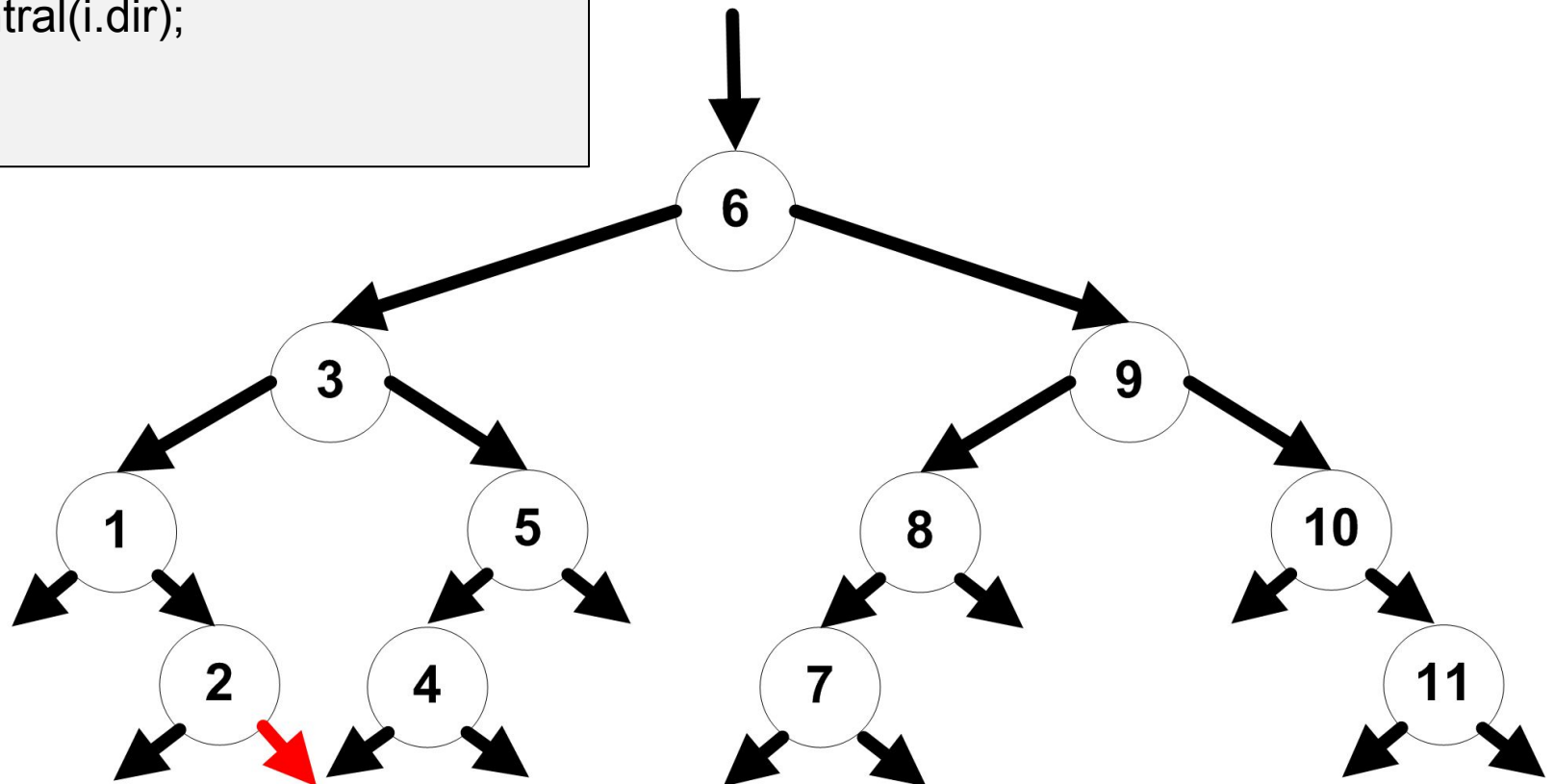
Tela

1

2

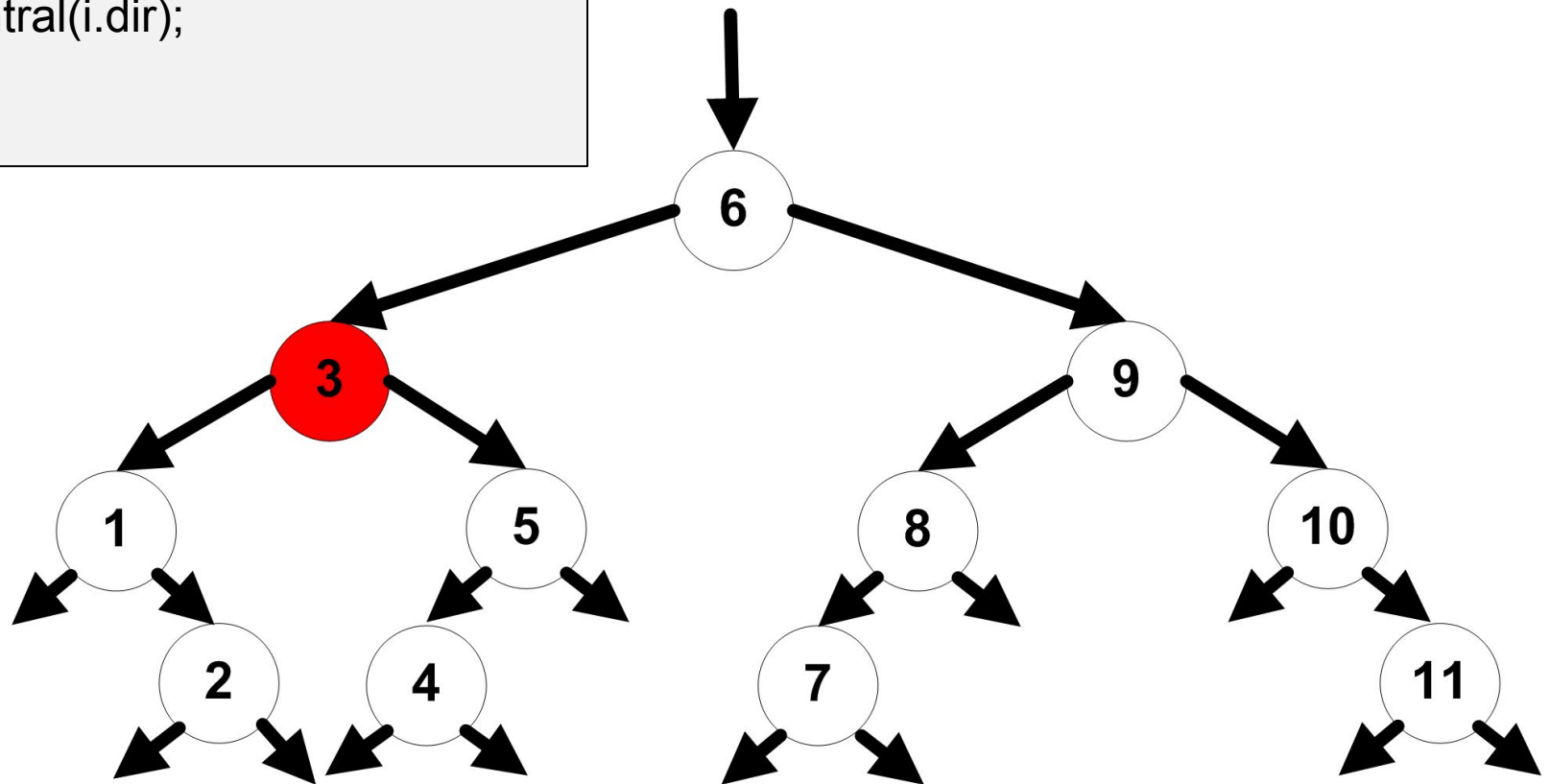
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

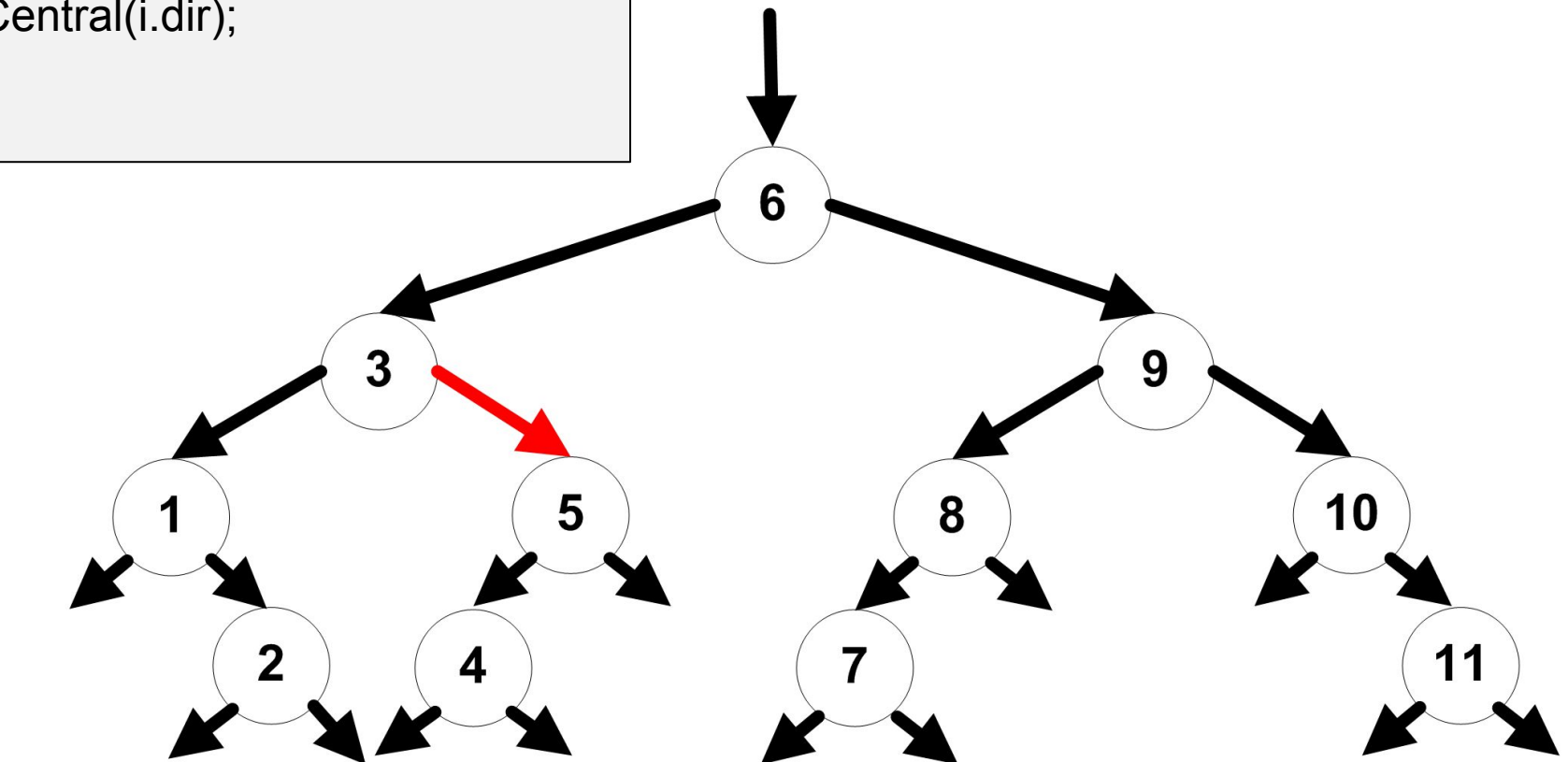
1

2

3

Caminhamento Central ou Em Ordem

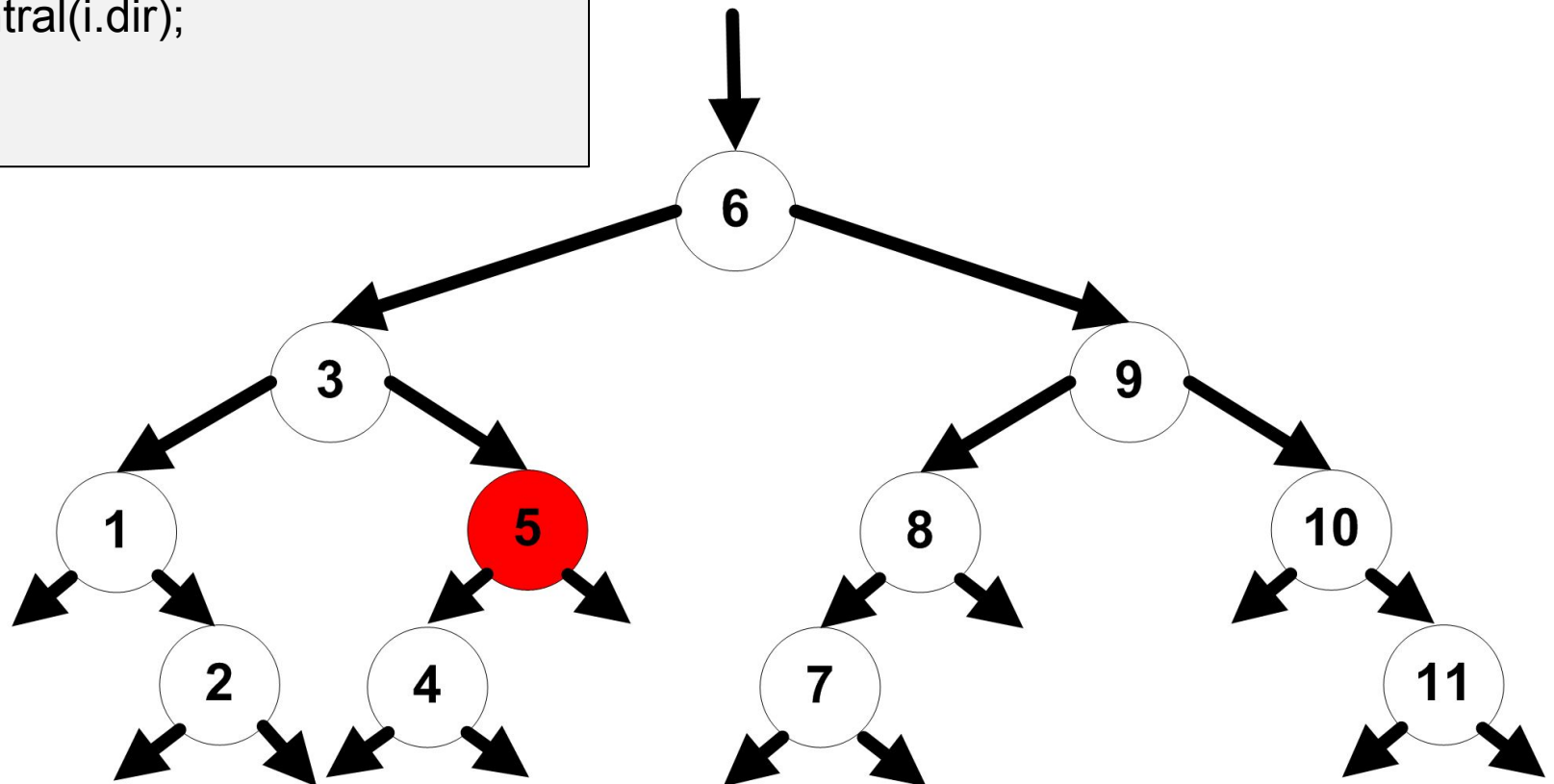
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3
------	---	---	---

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

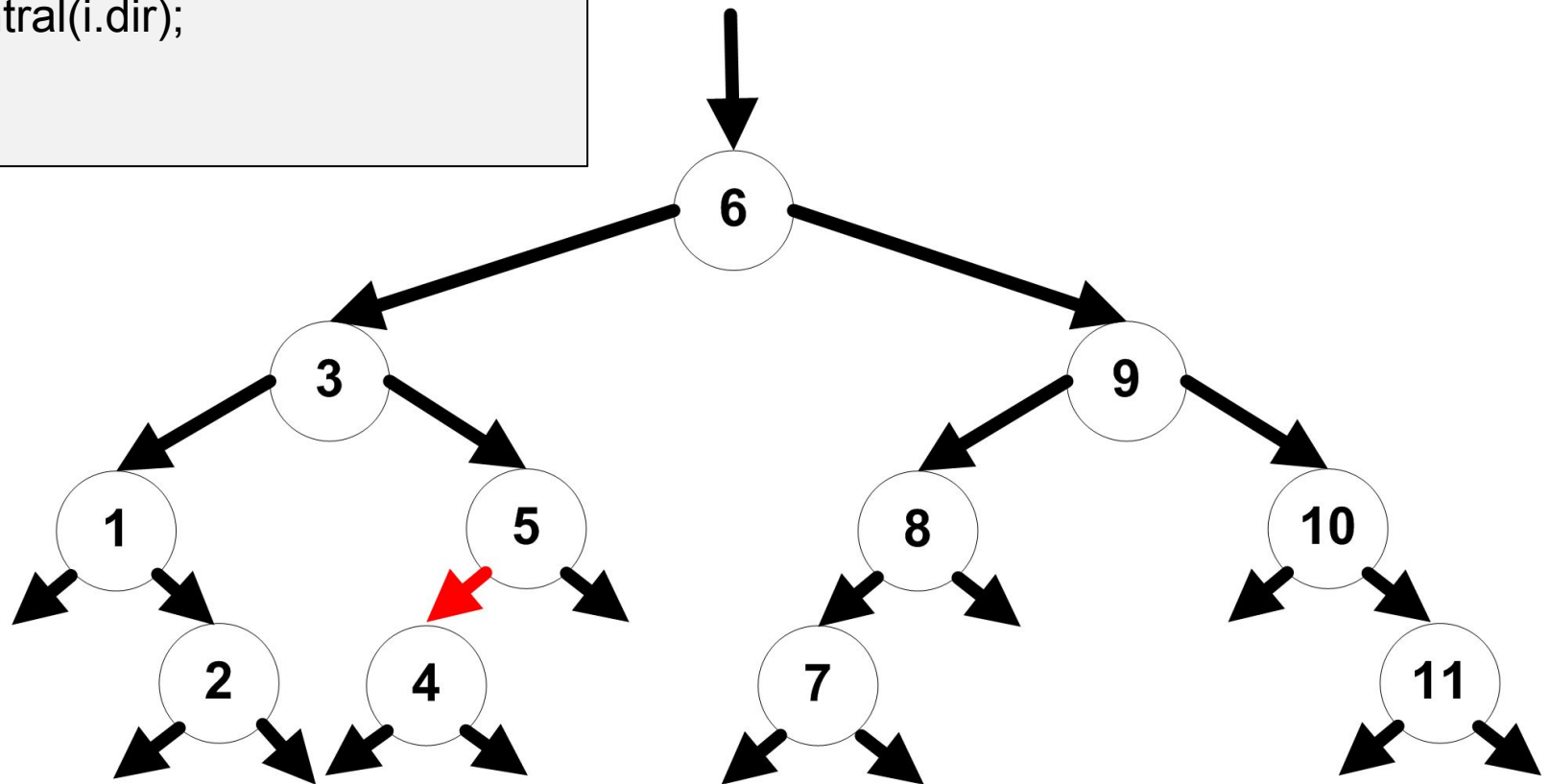


Tela

1 2 3

Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```

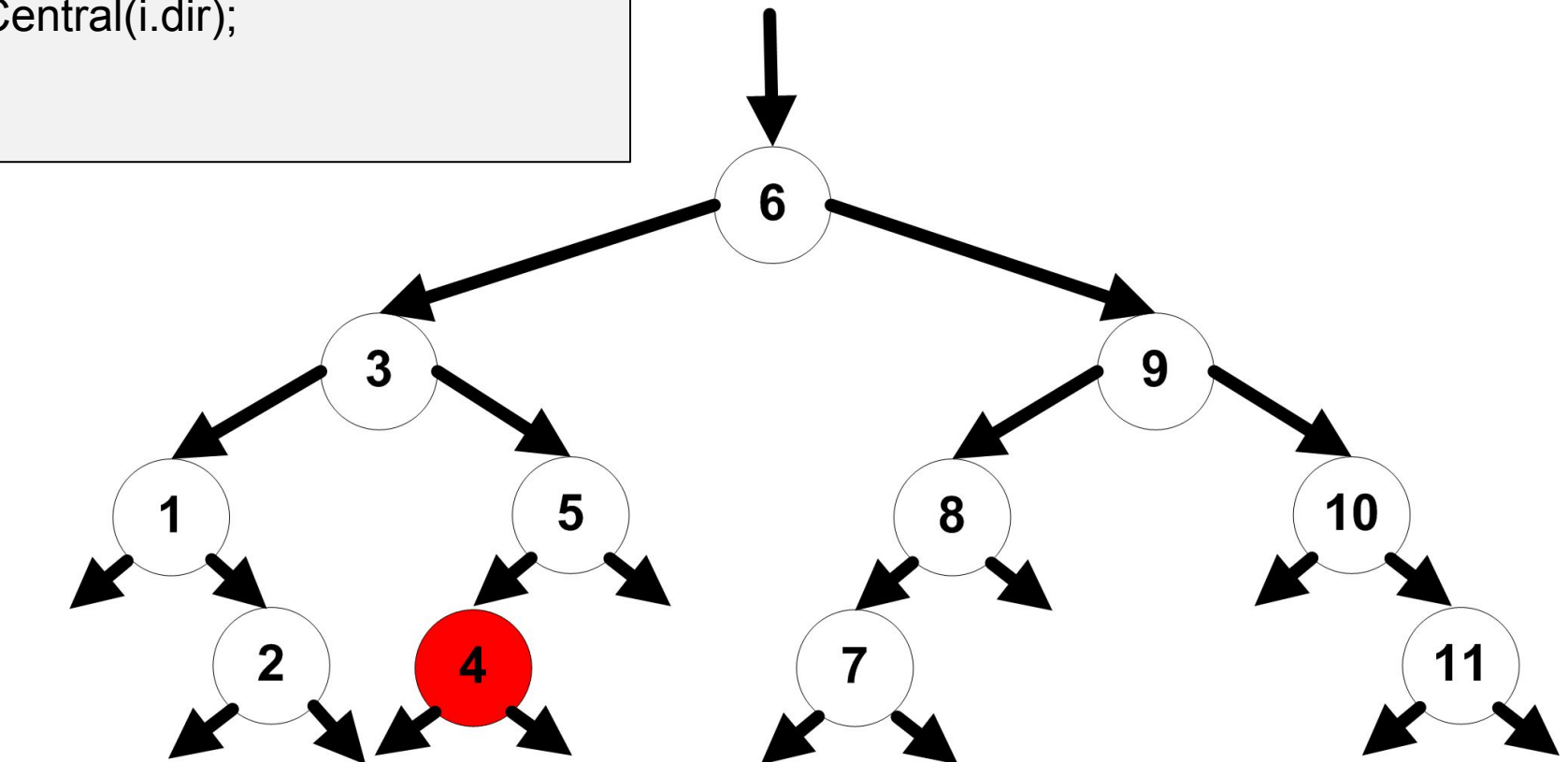


Tela

1 2 3

Caminhamento Central ou Em Ordem

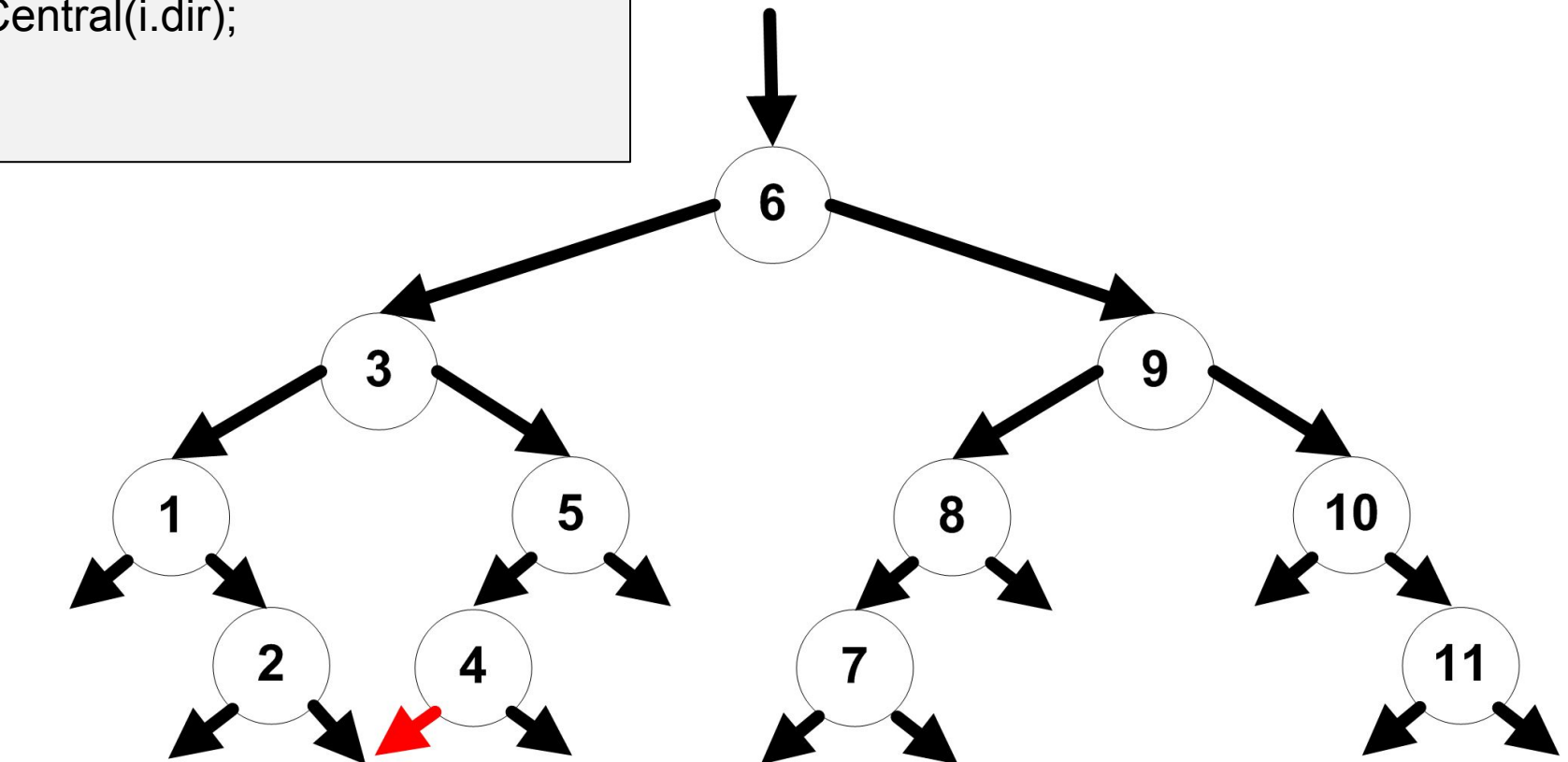
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3
------	---	---	---

Caminhamento Central ou Em Ordem

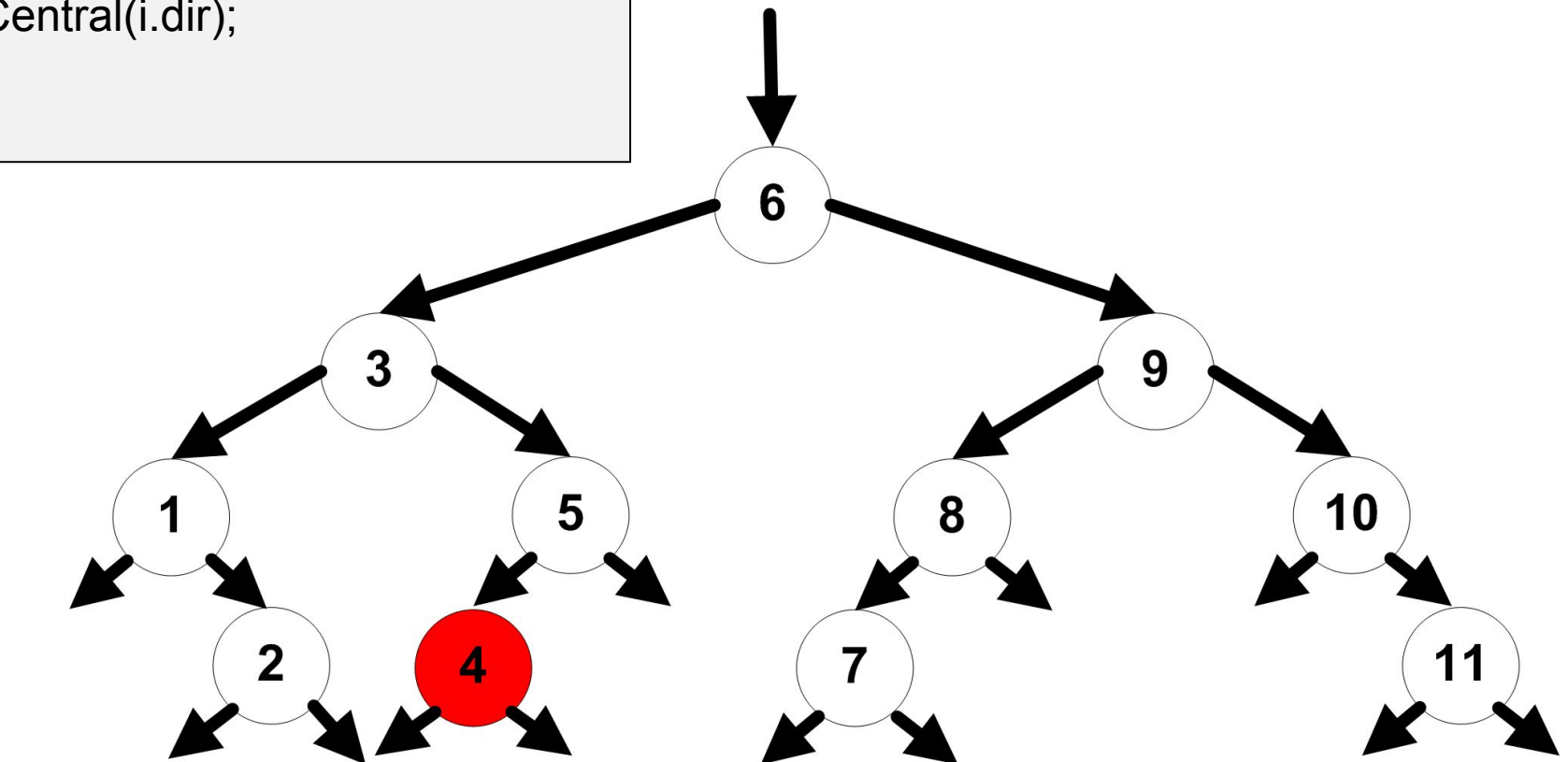
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3
------	---	---	---

Caminhamento Central ou Em Ordem

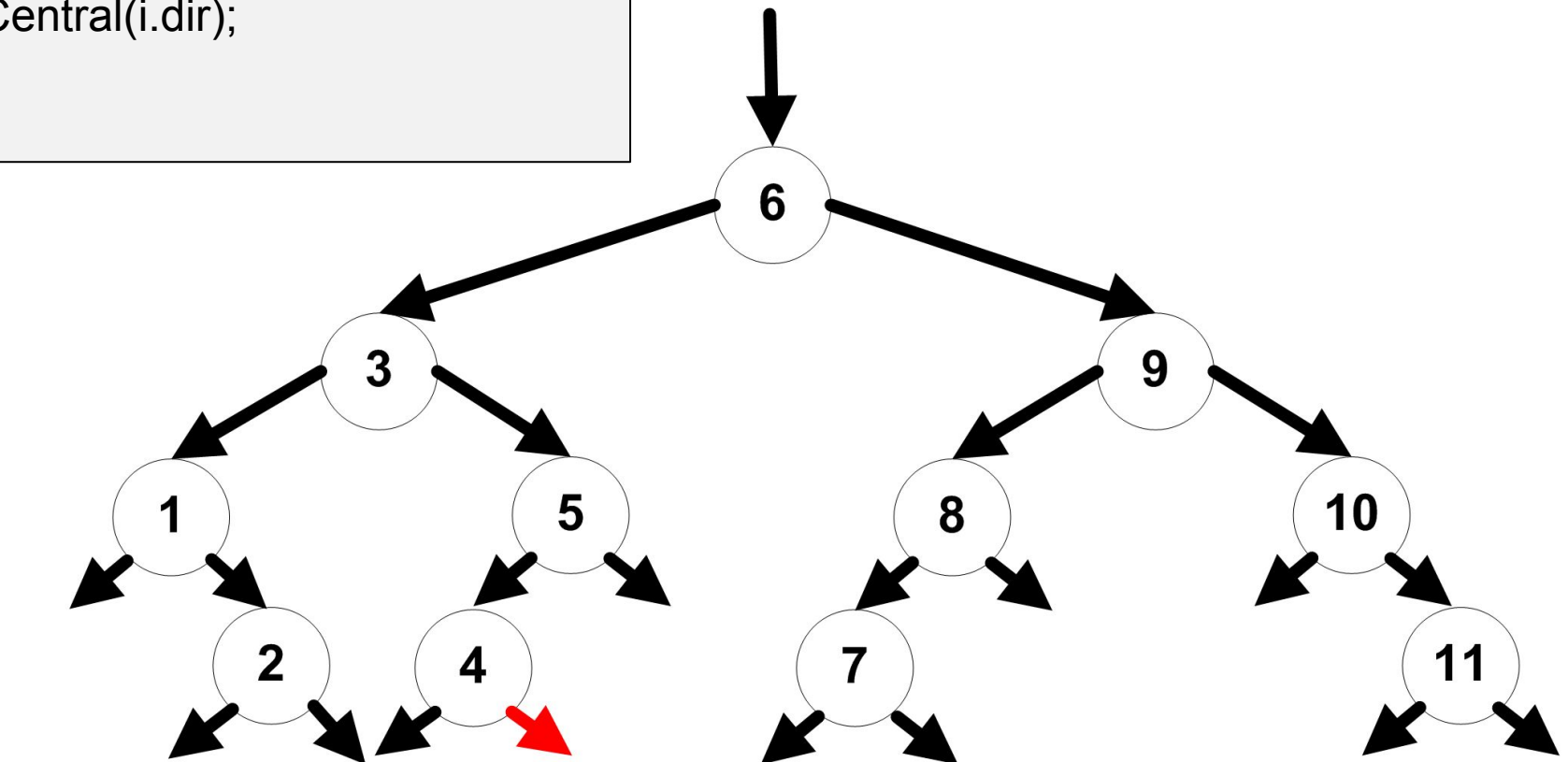
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3	4
------	---	---	---	---

Caminhamento Central ou Em Ordem

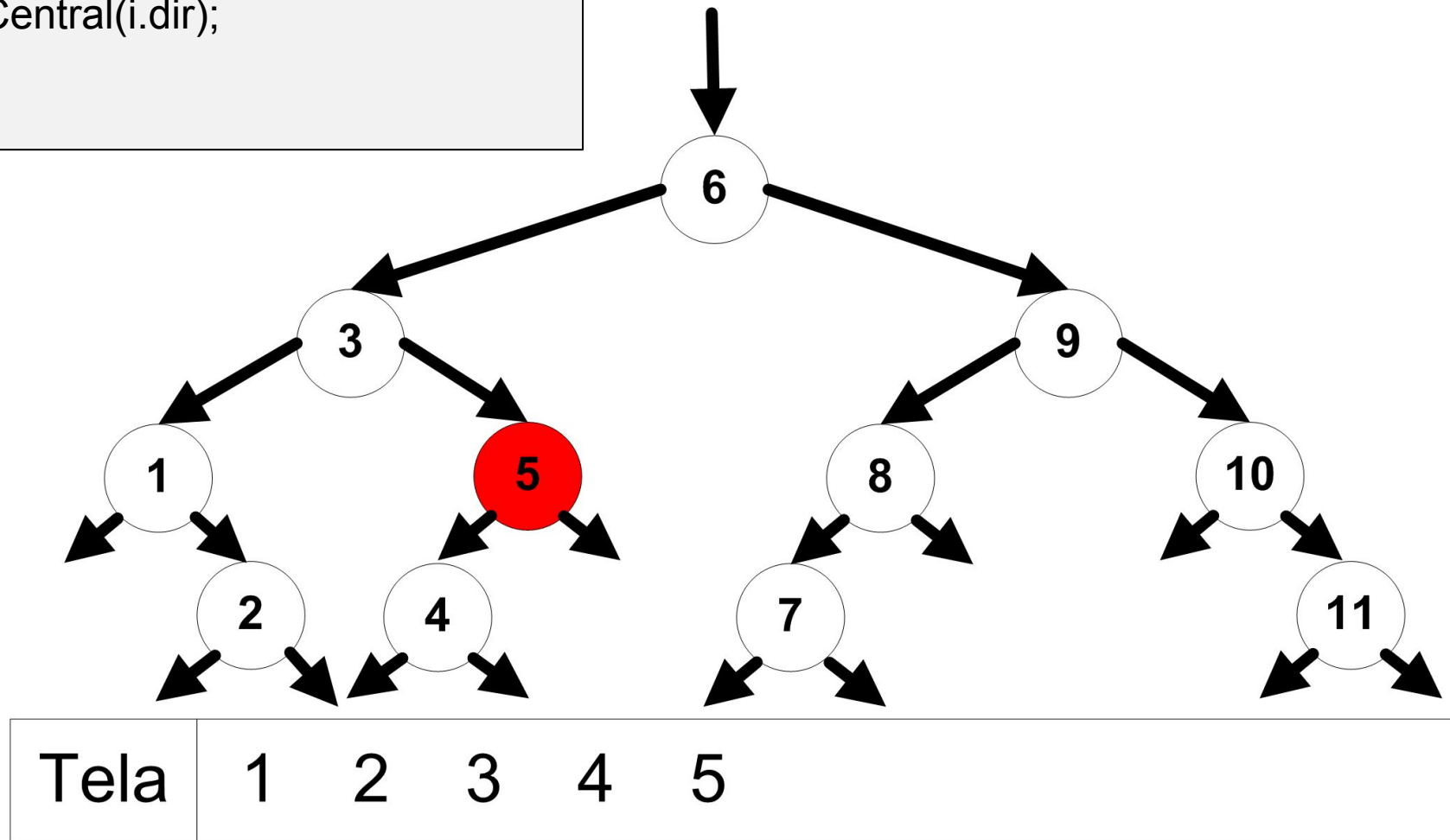
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3	4
------	---	---	---	---

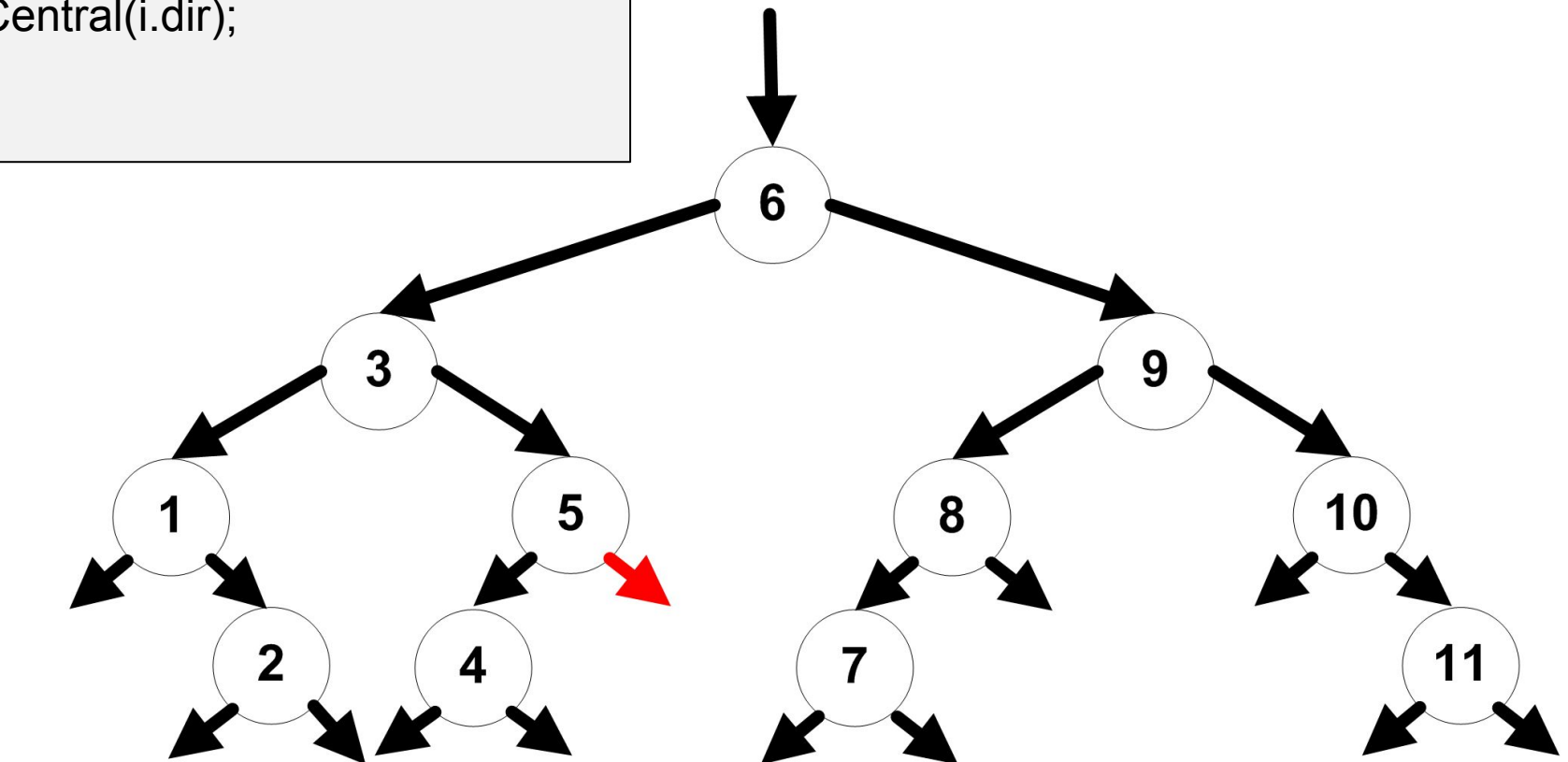
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Caminhamento Central ou Em Ordem

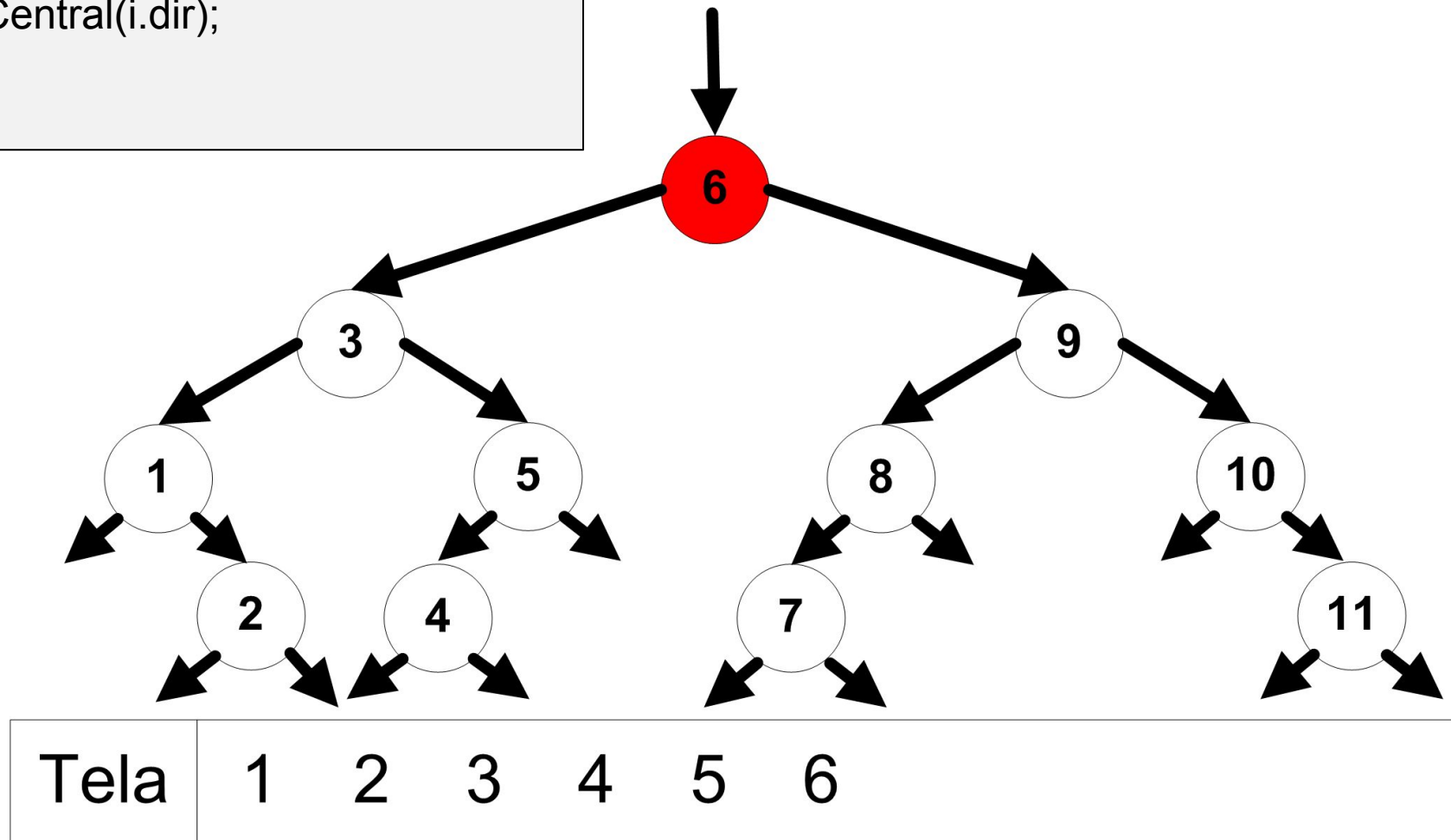
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3	4	5
------	---	---	---	---	---

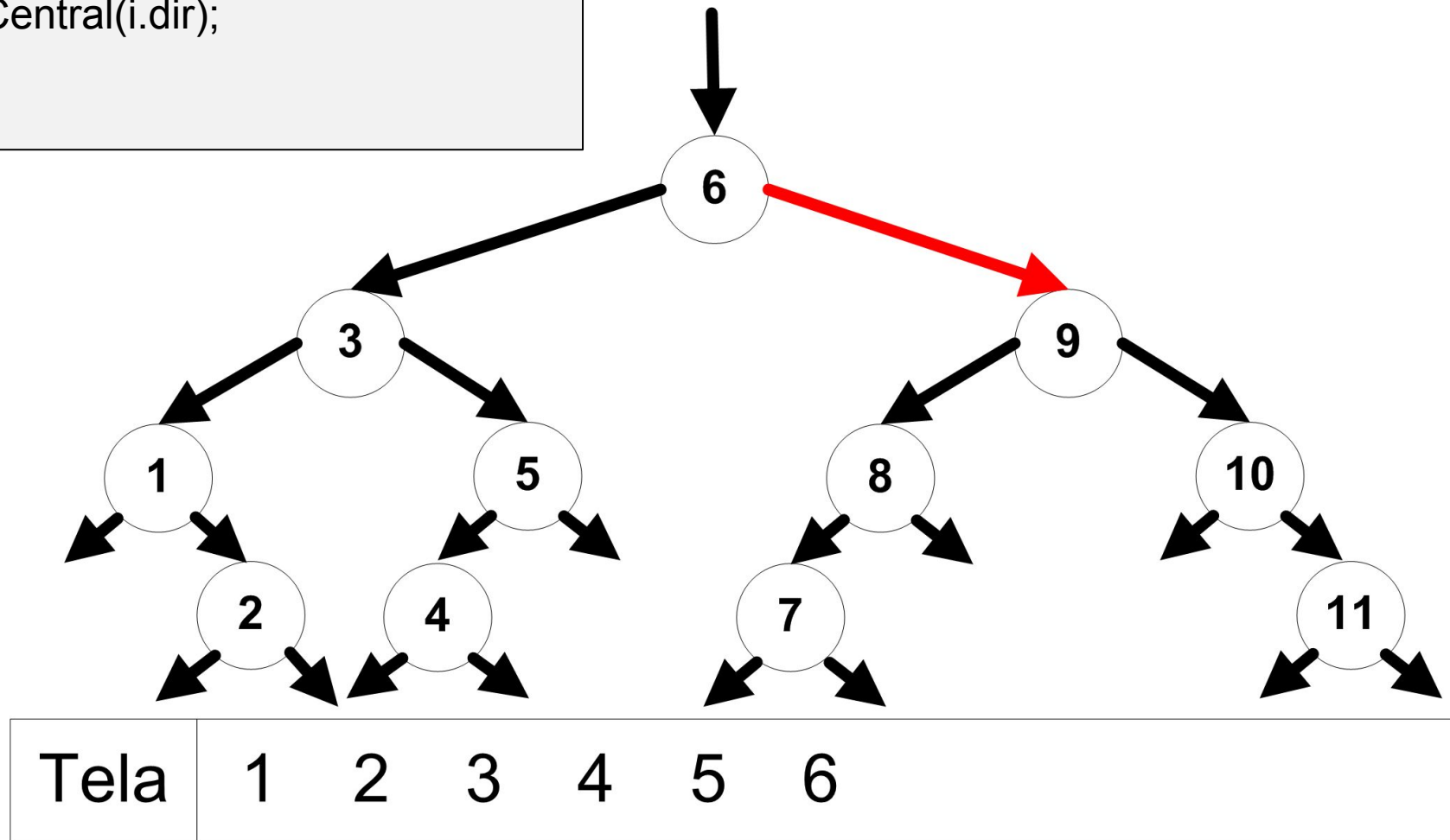
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



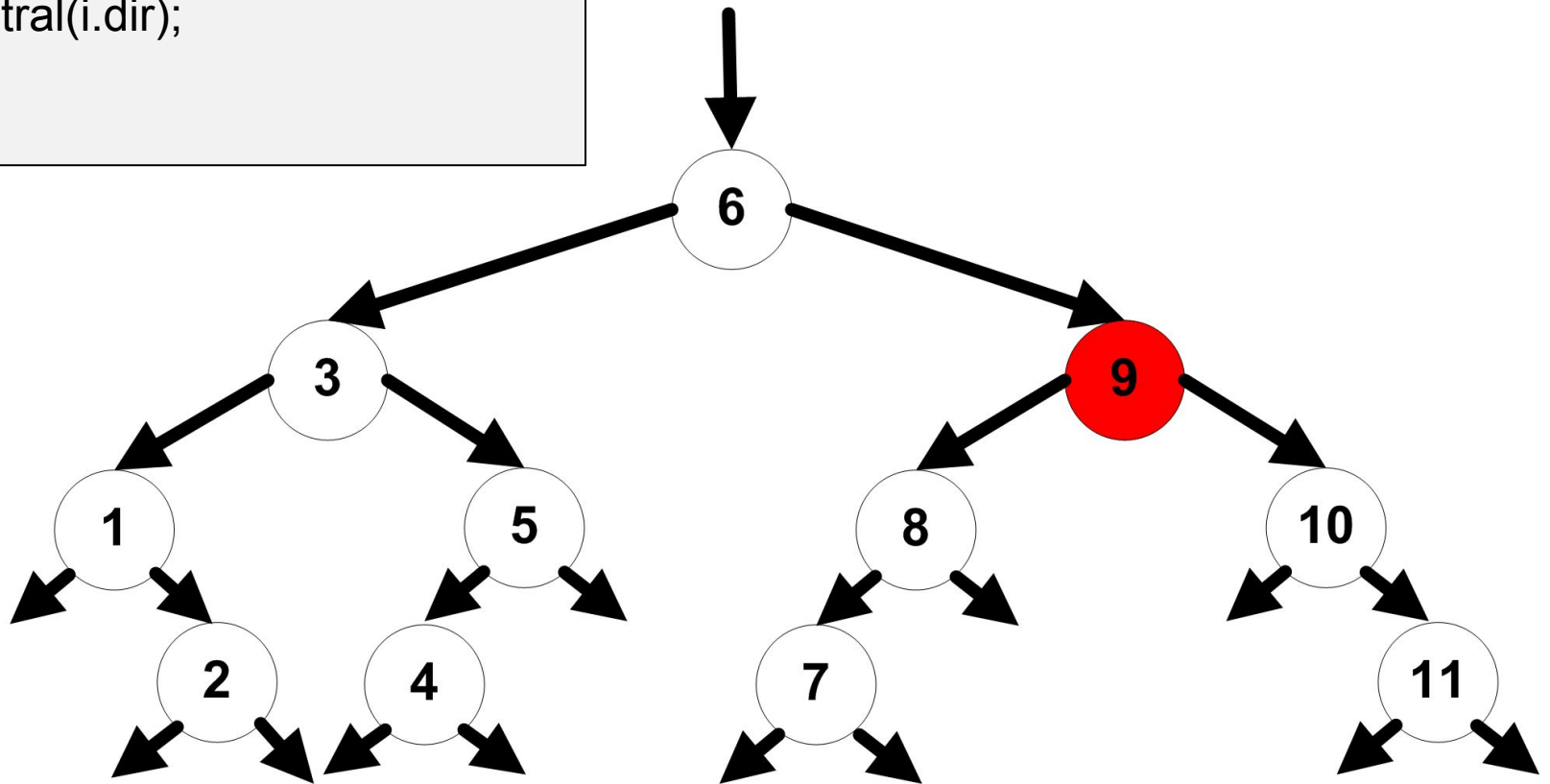
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {
    if (i != null) {
        caminharCentral(i.esq);
        System.out.print(i.elemento + " ");
        caminharCentral(i.dir);
    }
}
```



Tela

1

2

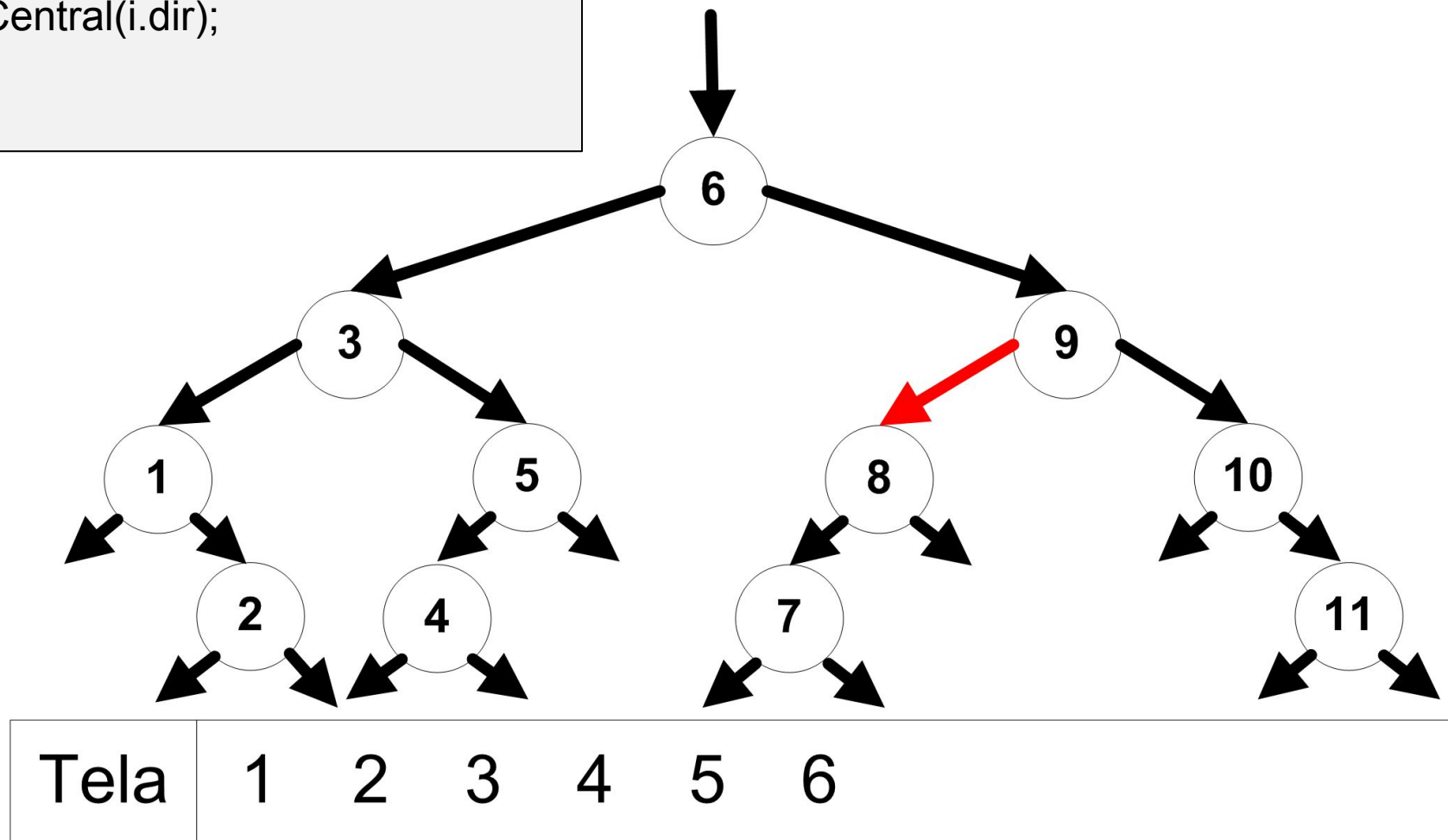
3

5

6

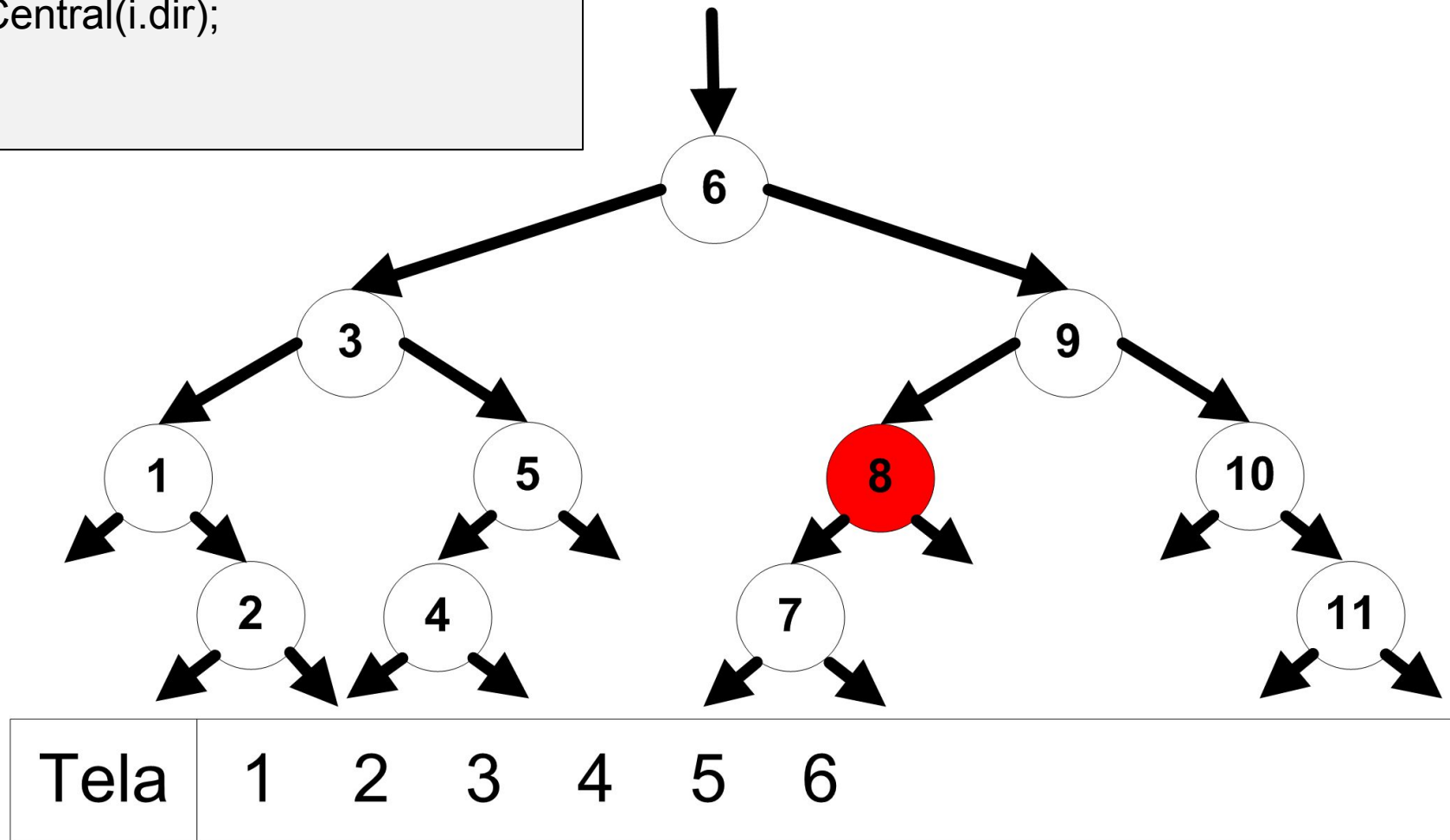
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



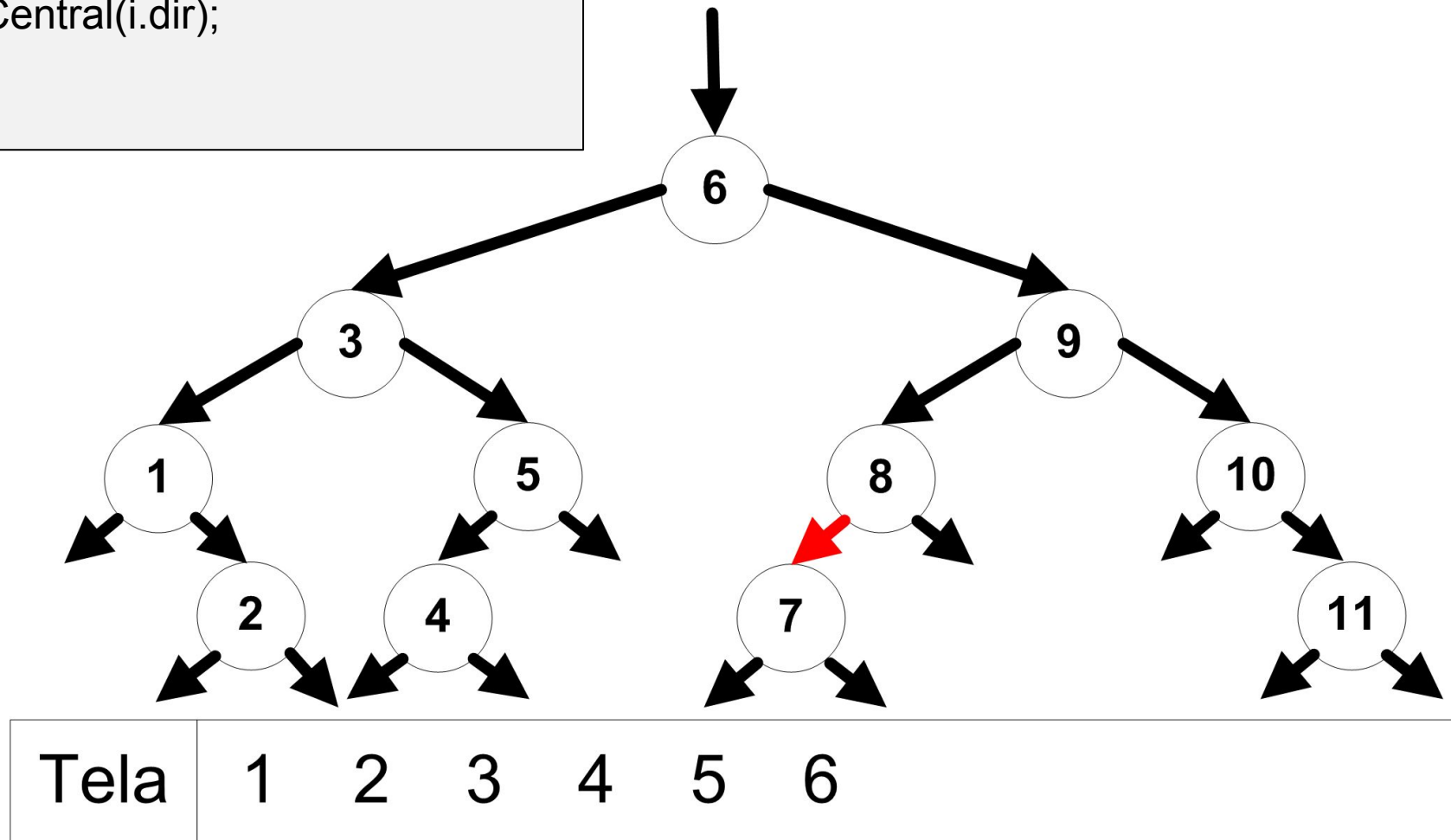
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



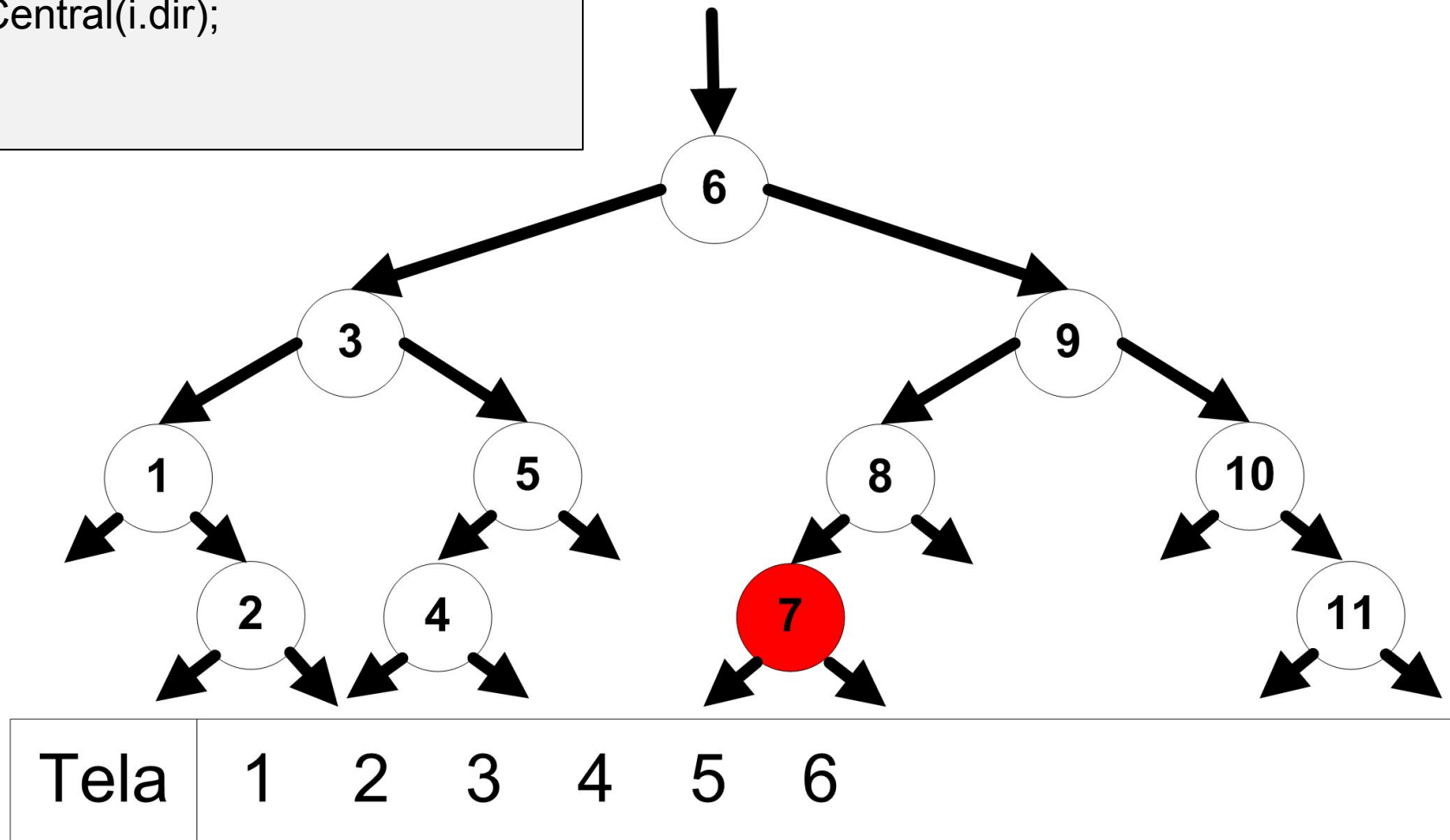
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



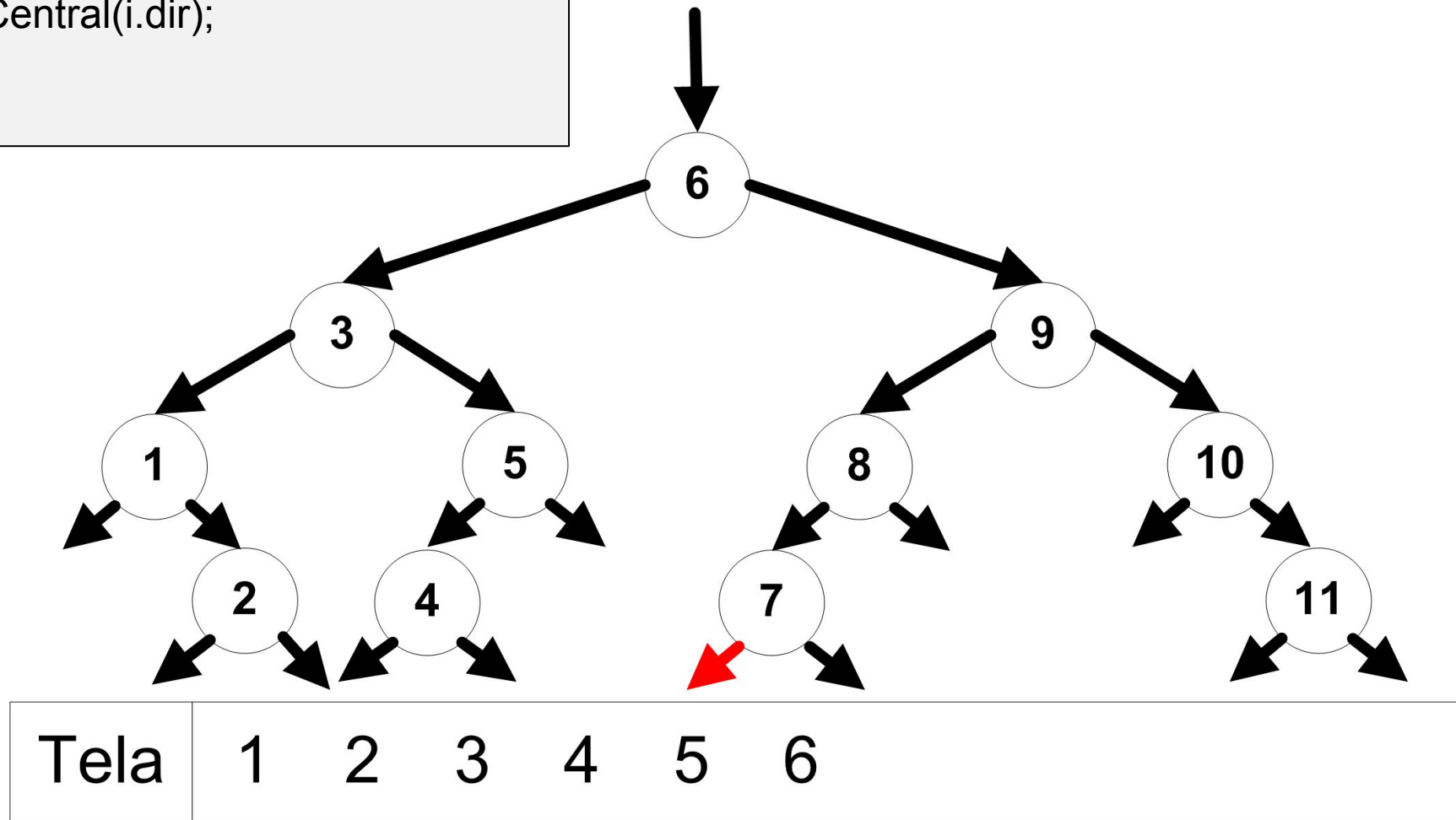
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



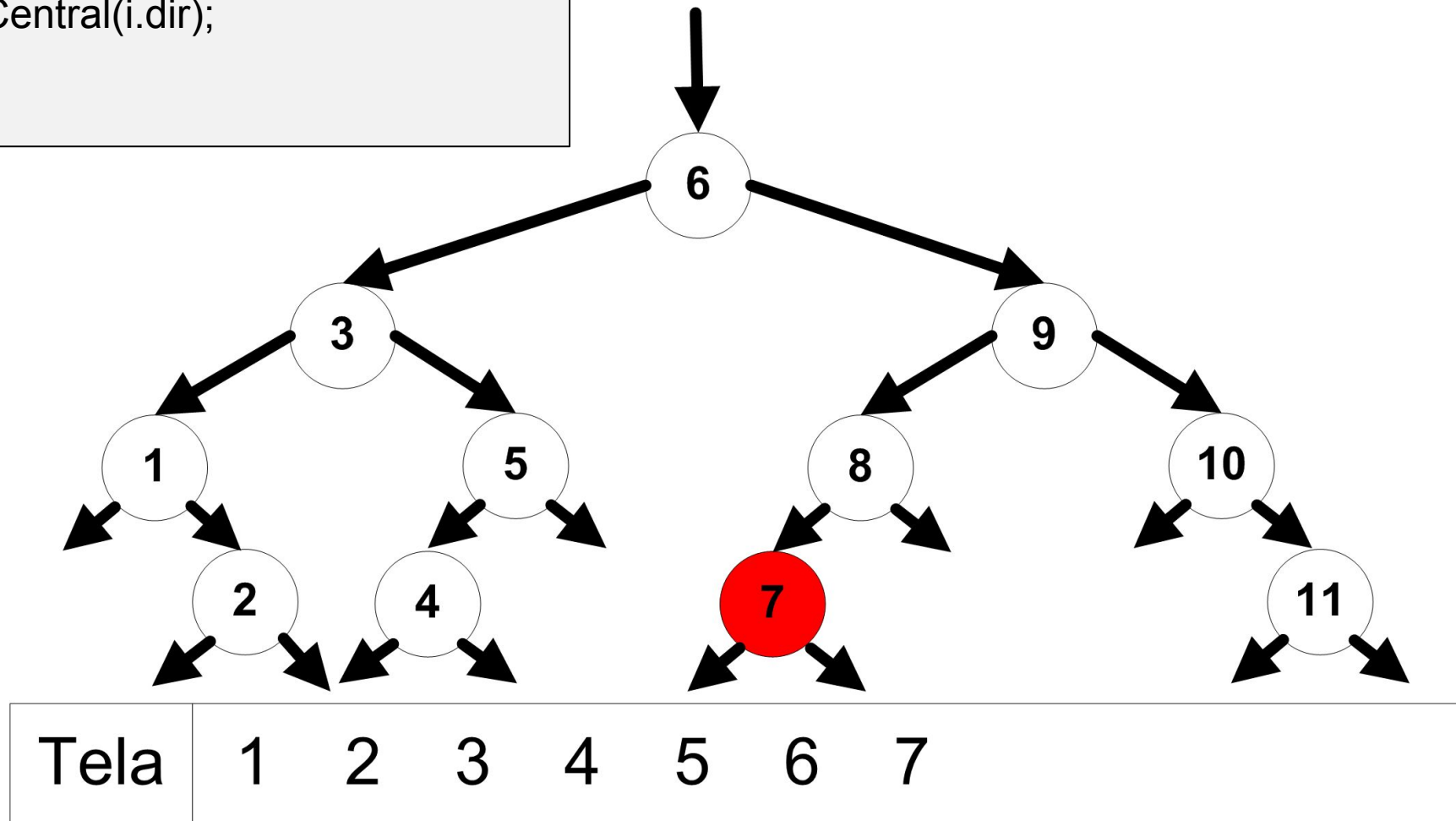
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



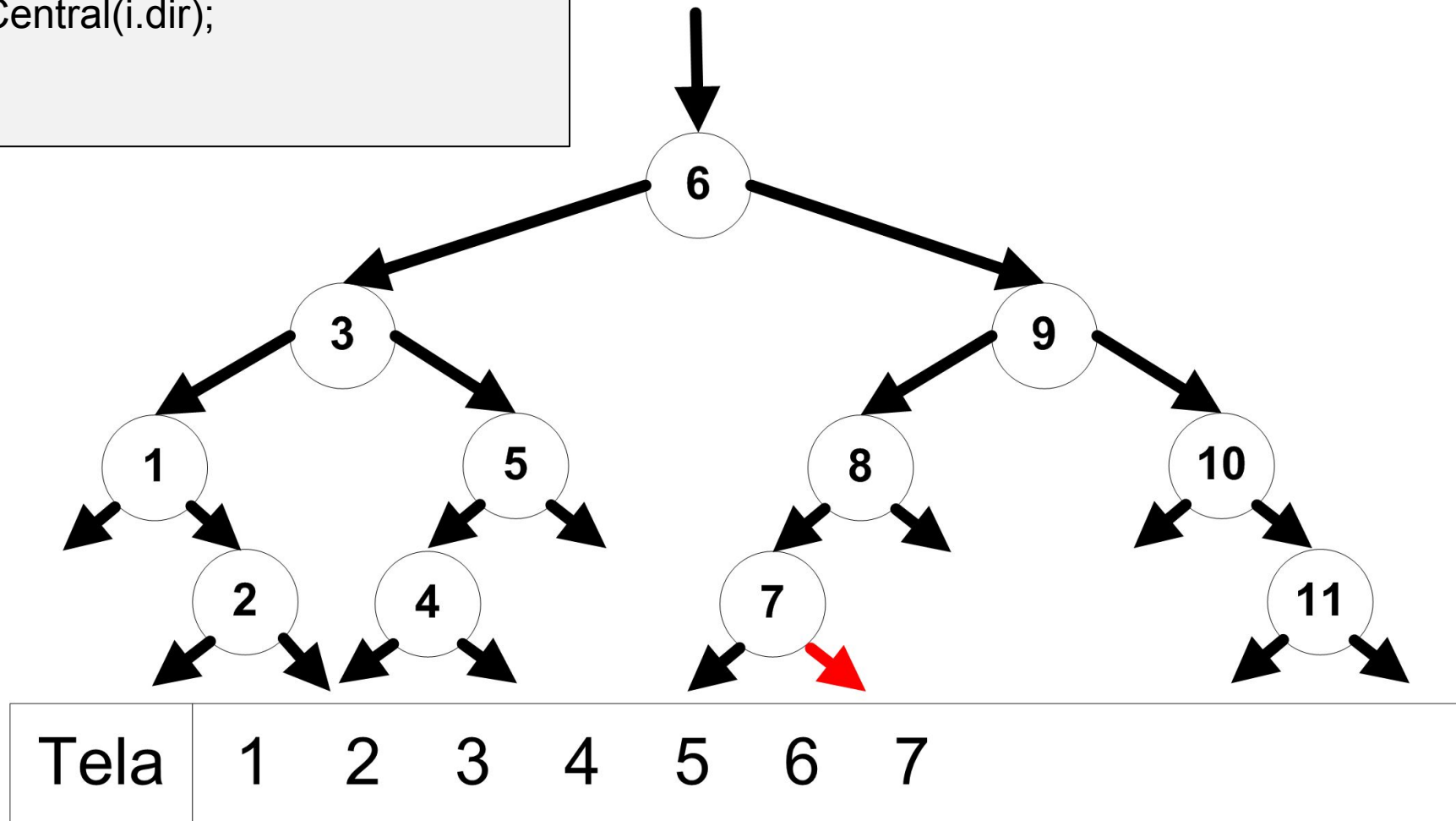
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



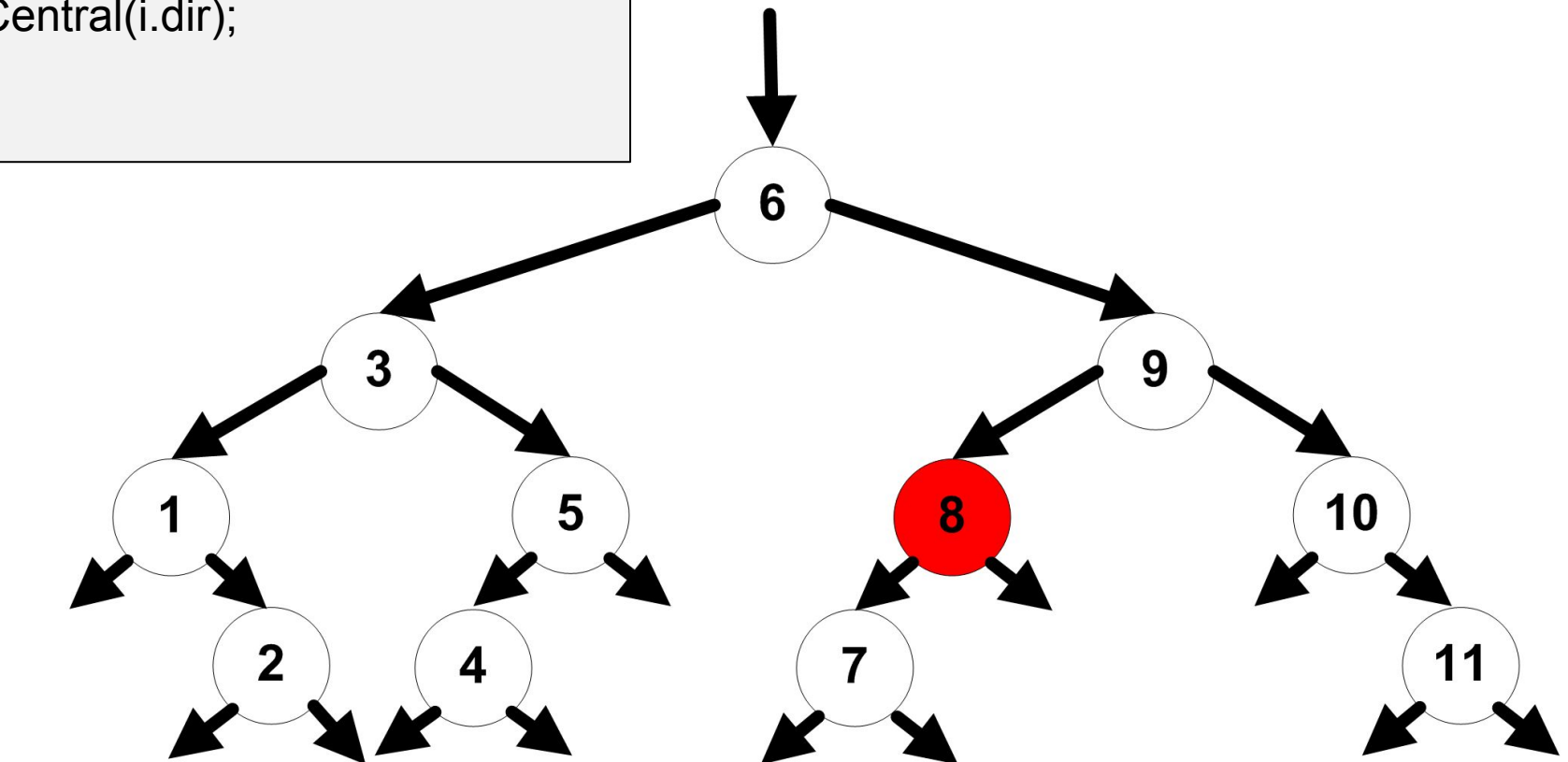
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Caminhamento Central ou Em Ordem

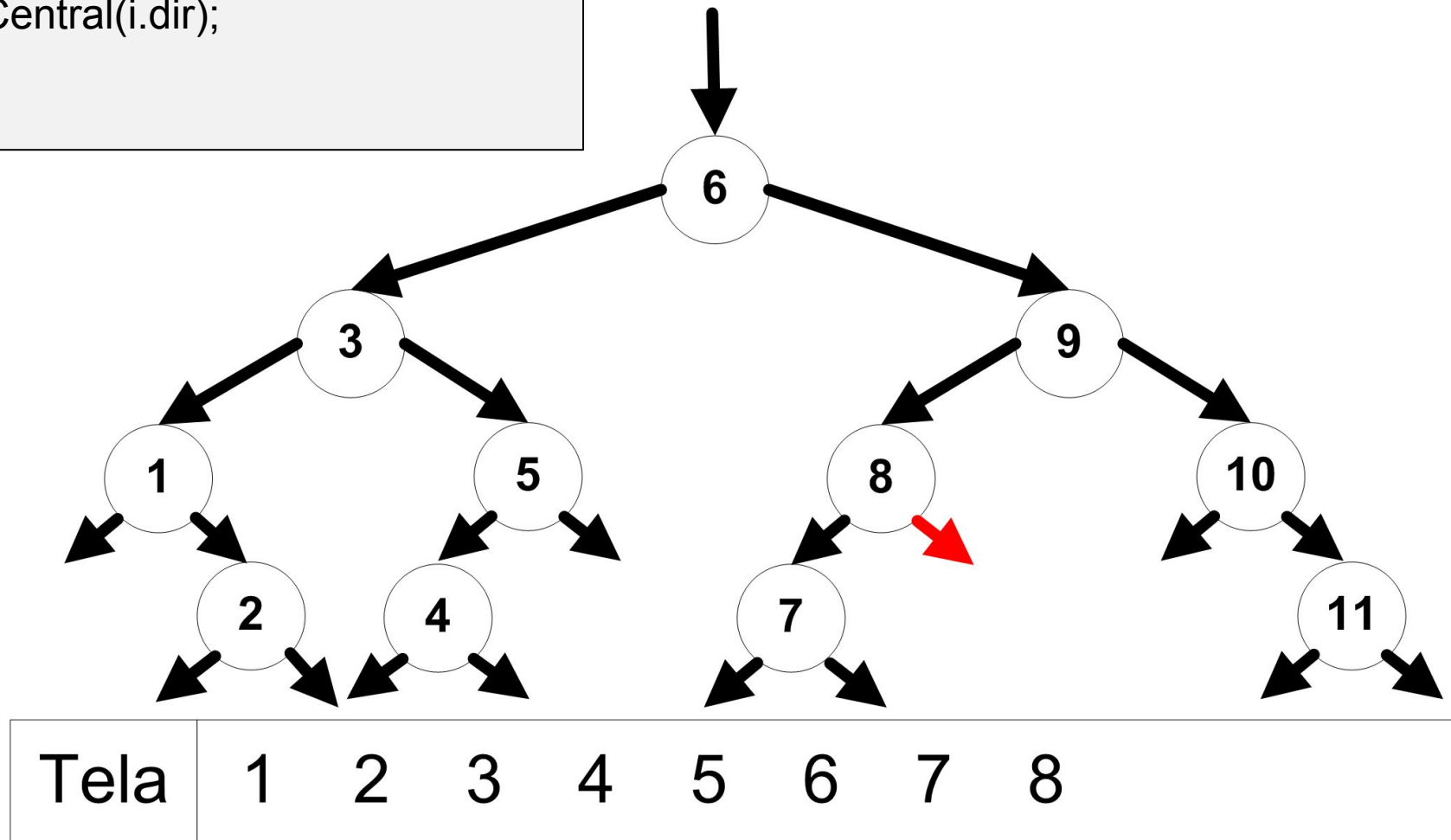
```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Tela	1	2	3	4	5	6	7	8
------	---	---	---	---	---	---	---	---

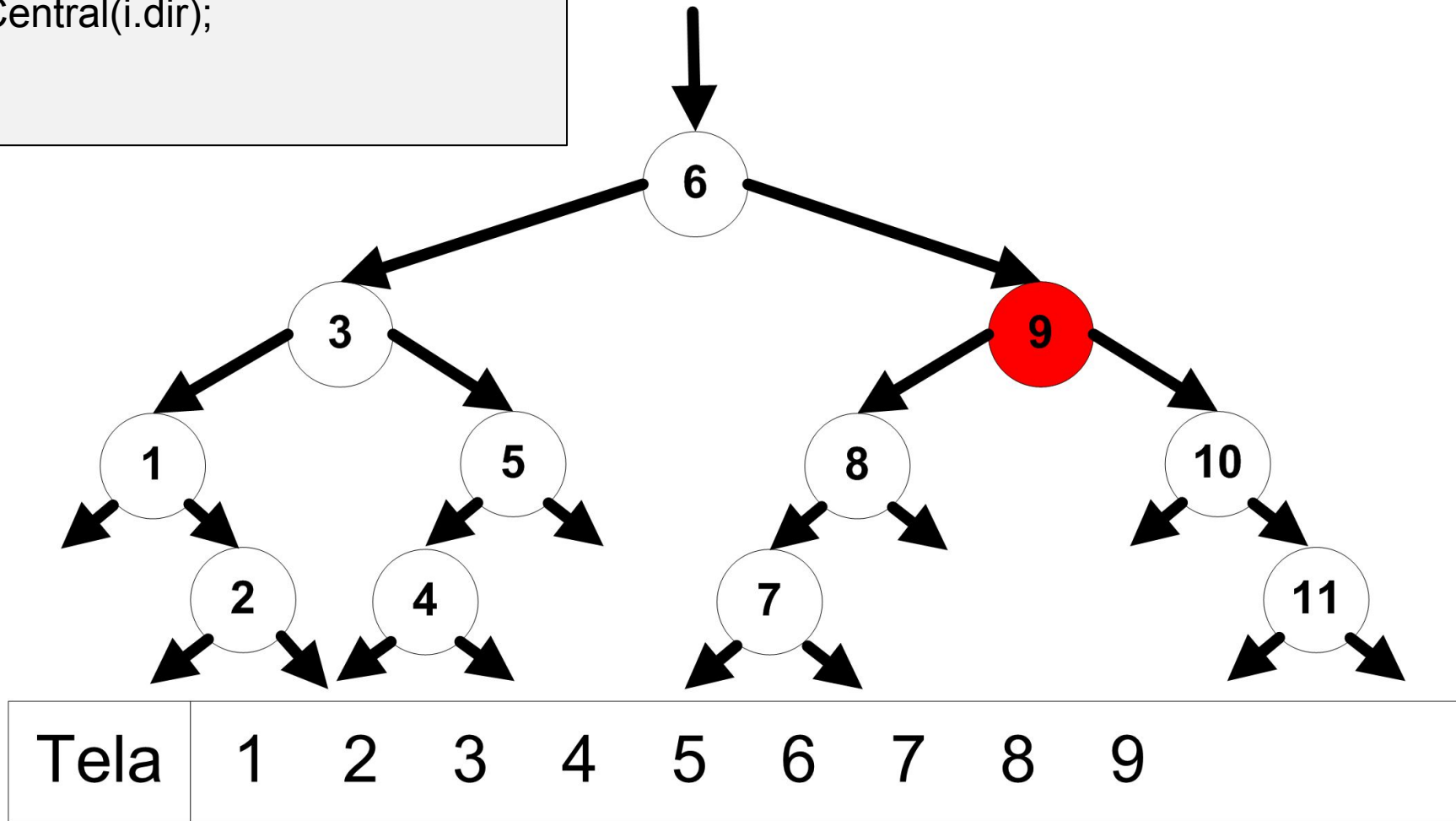
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



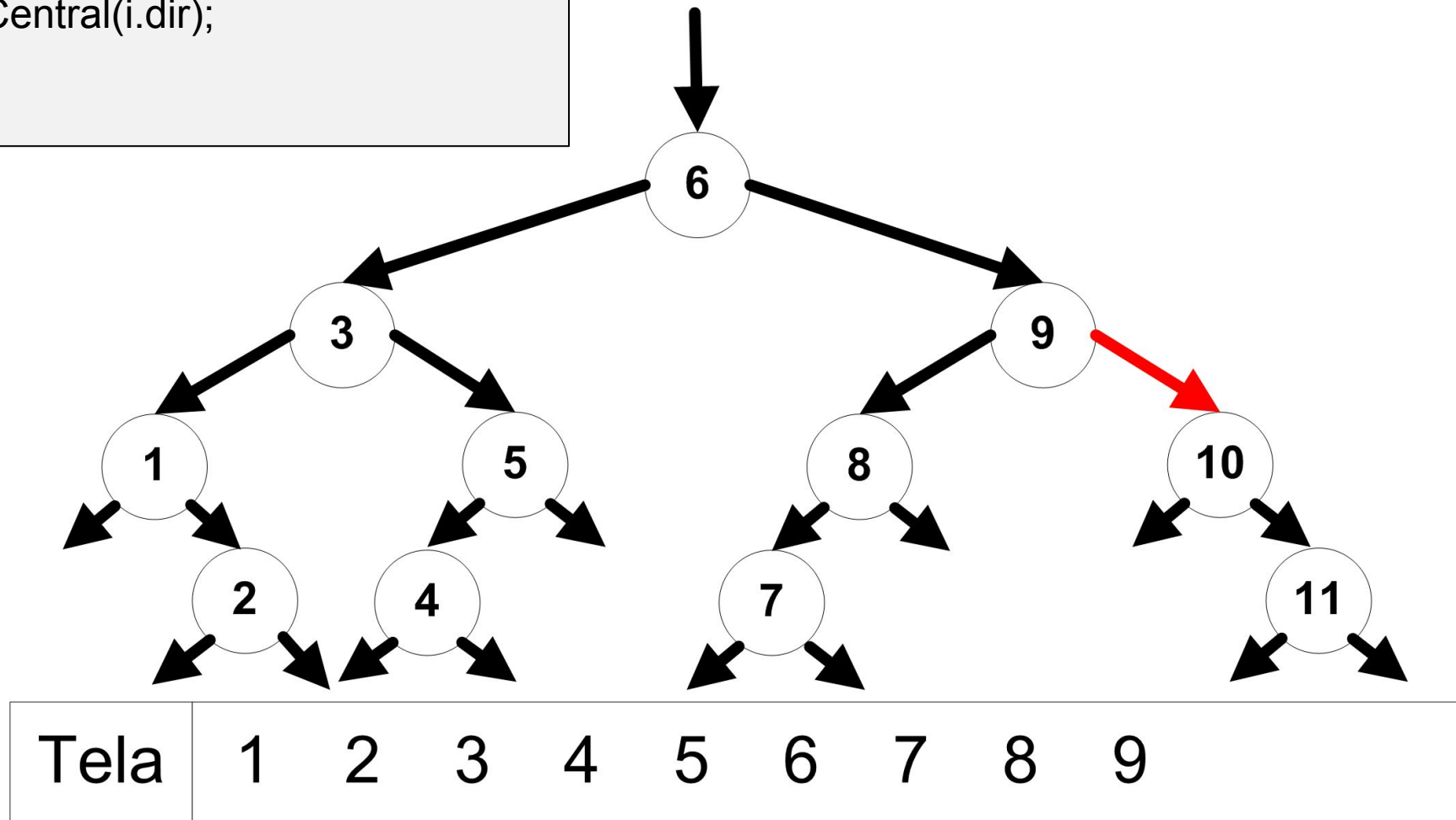
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {
    if (i != null) {
        caminharCentral(i.esq);
        System.out.print(i.elemento + " ");
        caminharCentral(i.dir);
    }
}
```



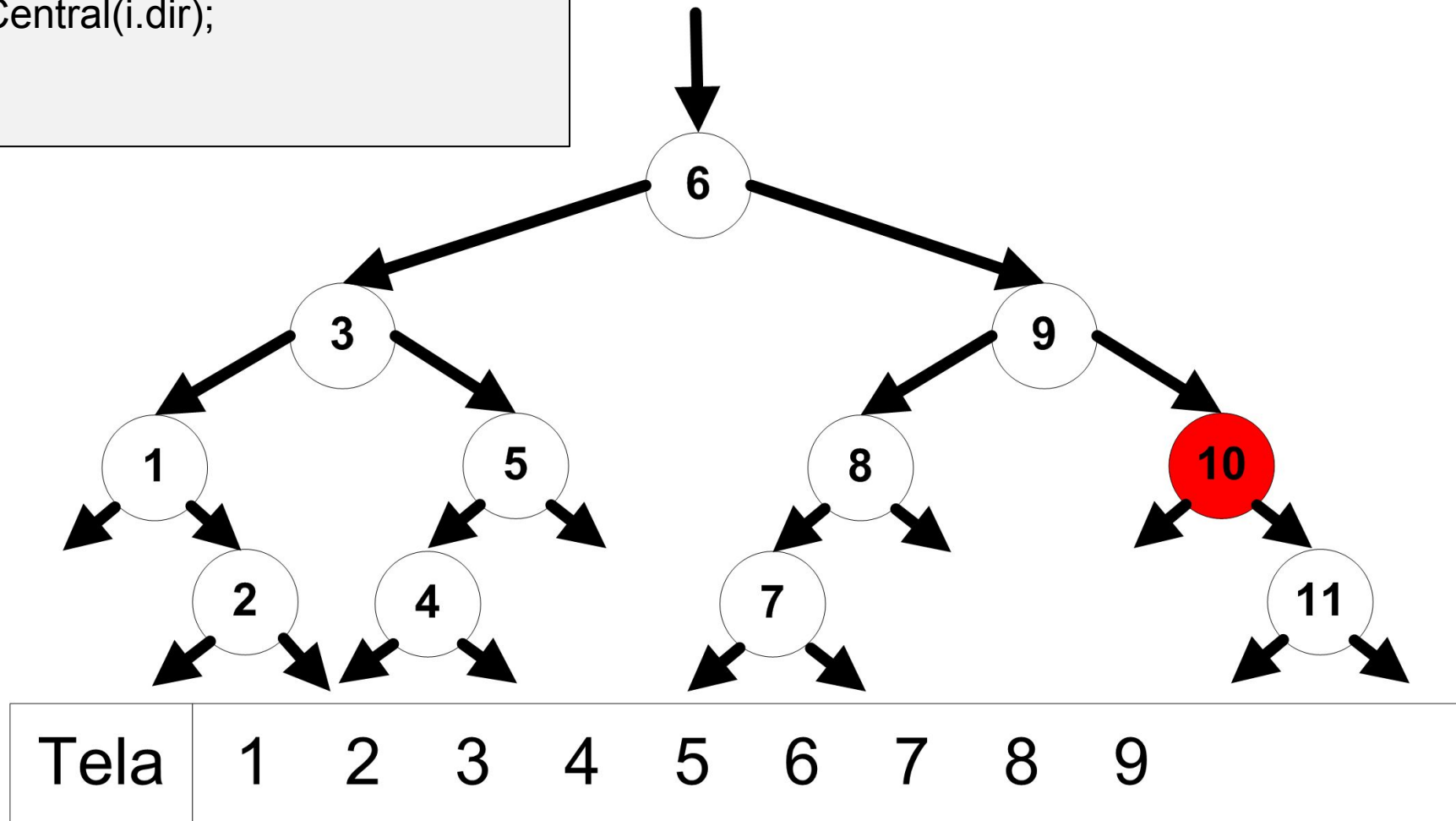
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



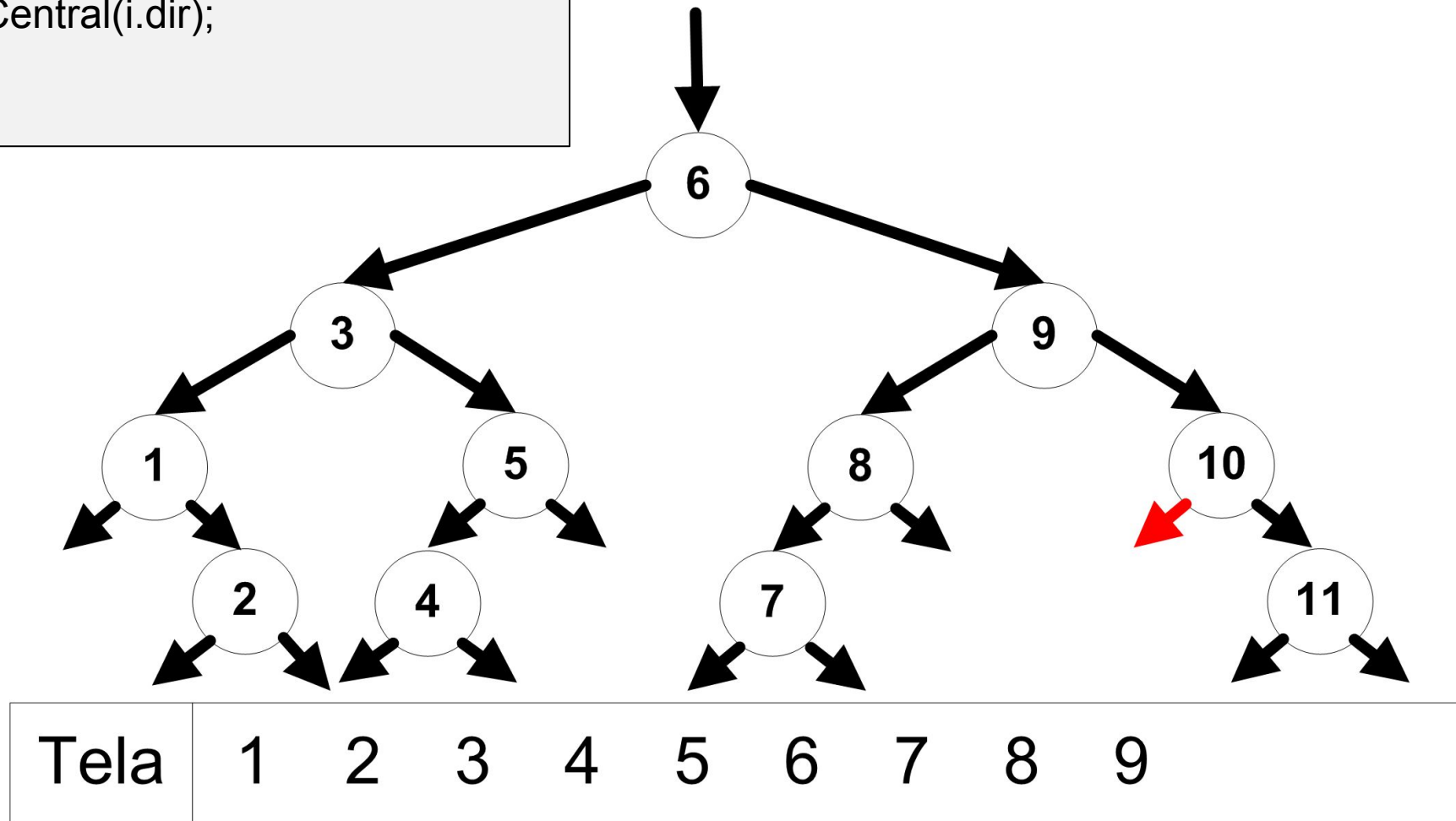
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



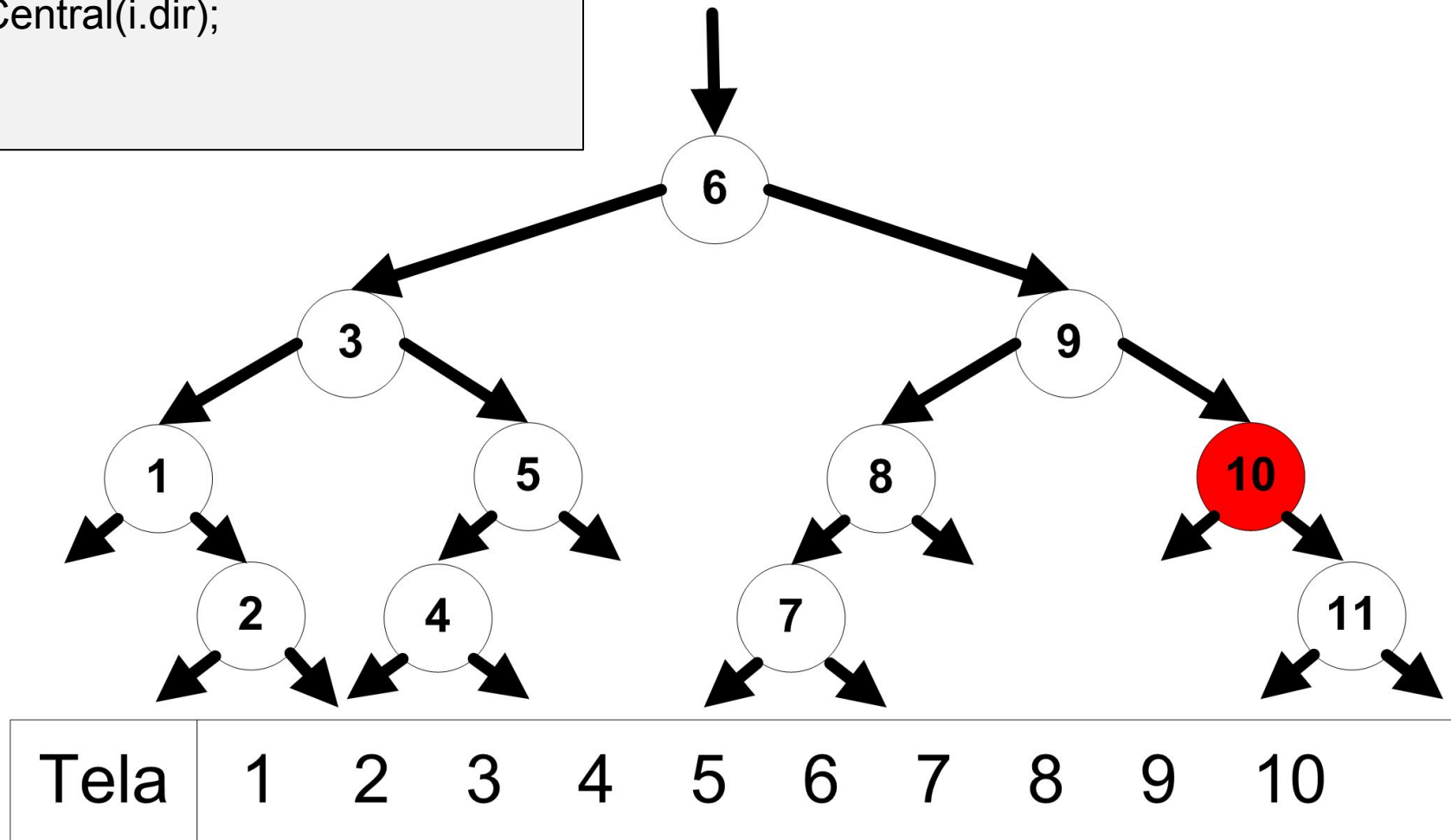
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



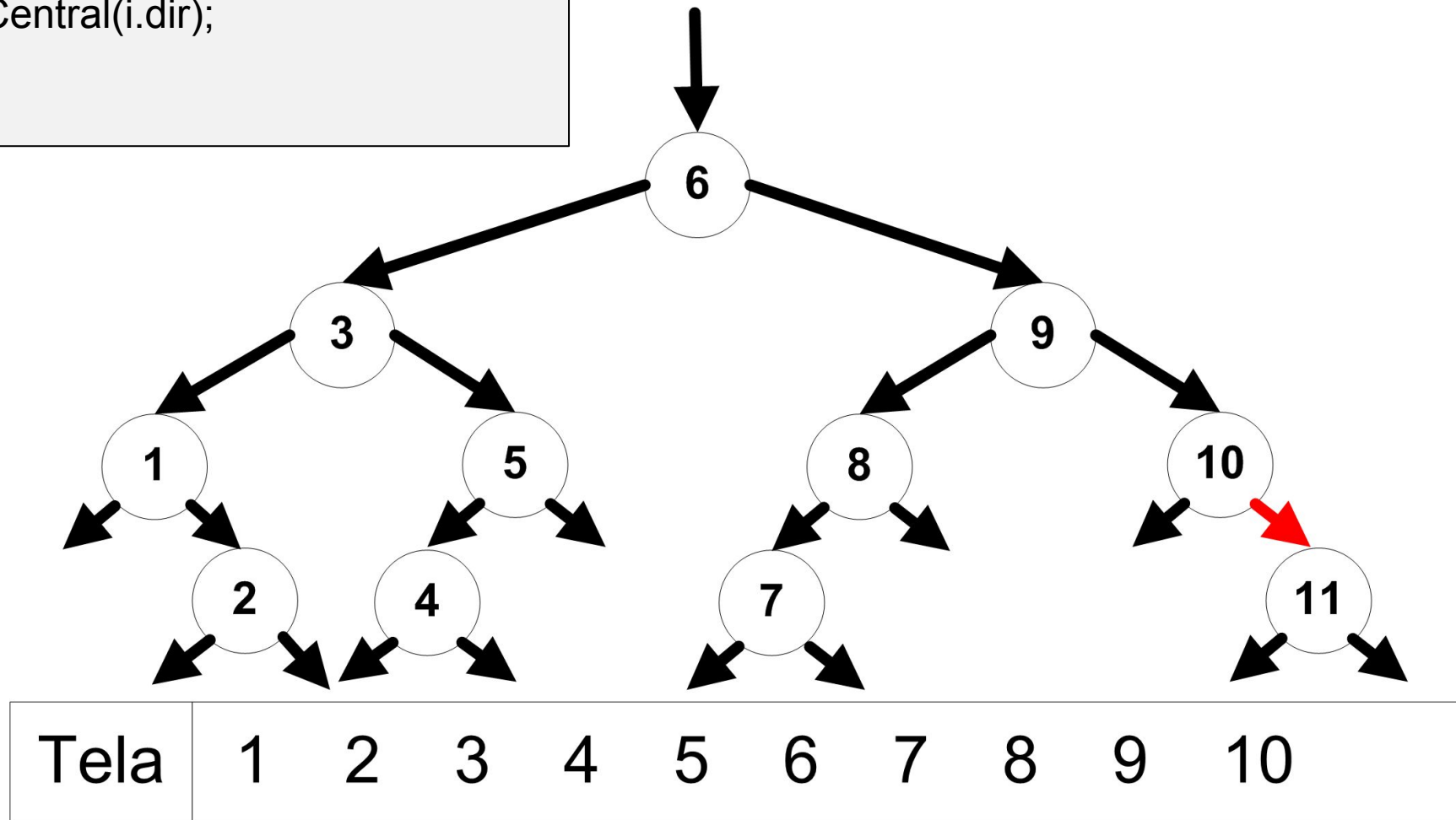
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



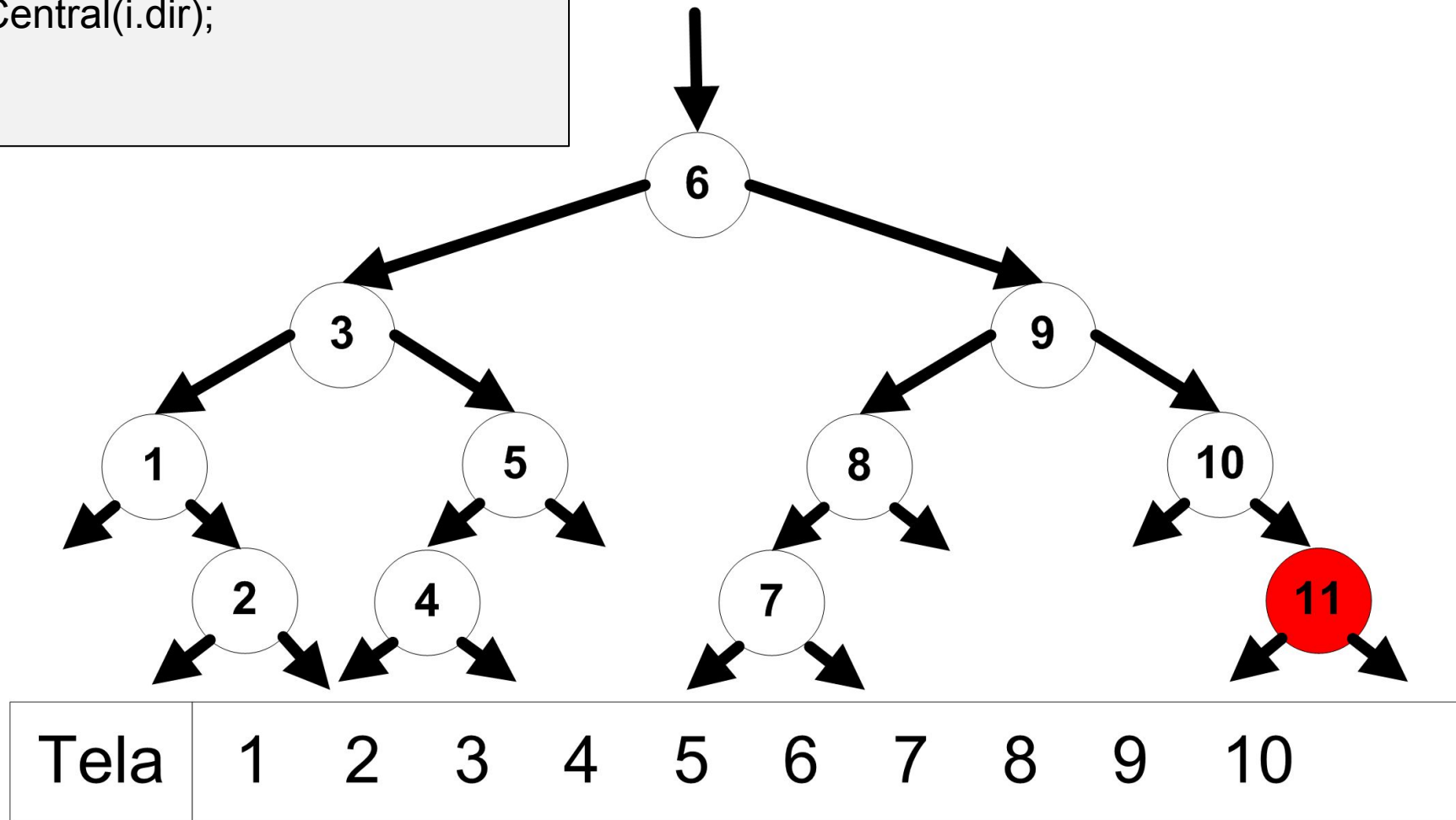
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



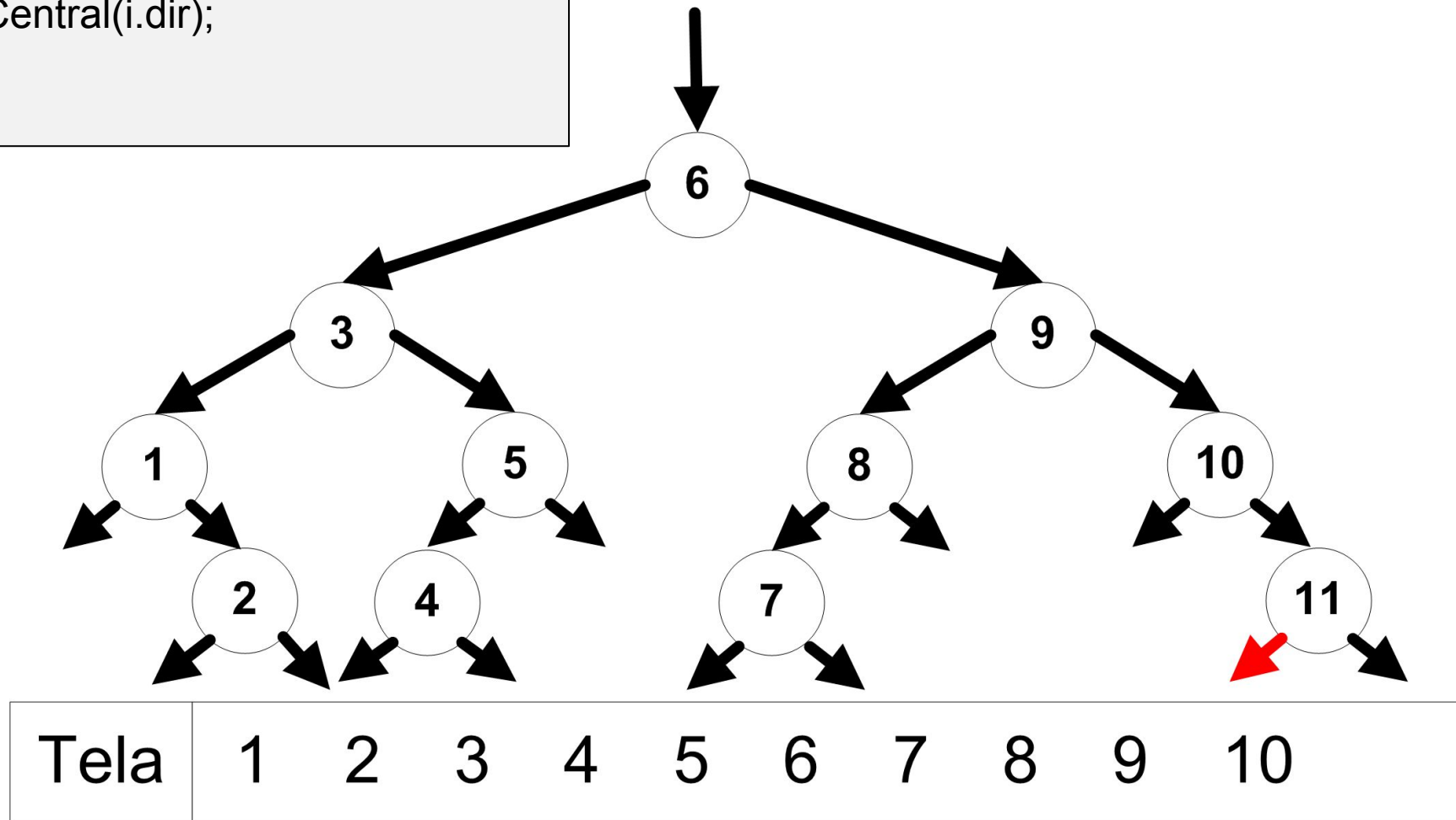
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



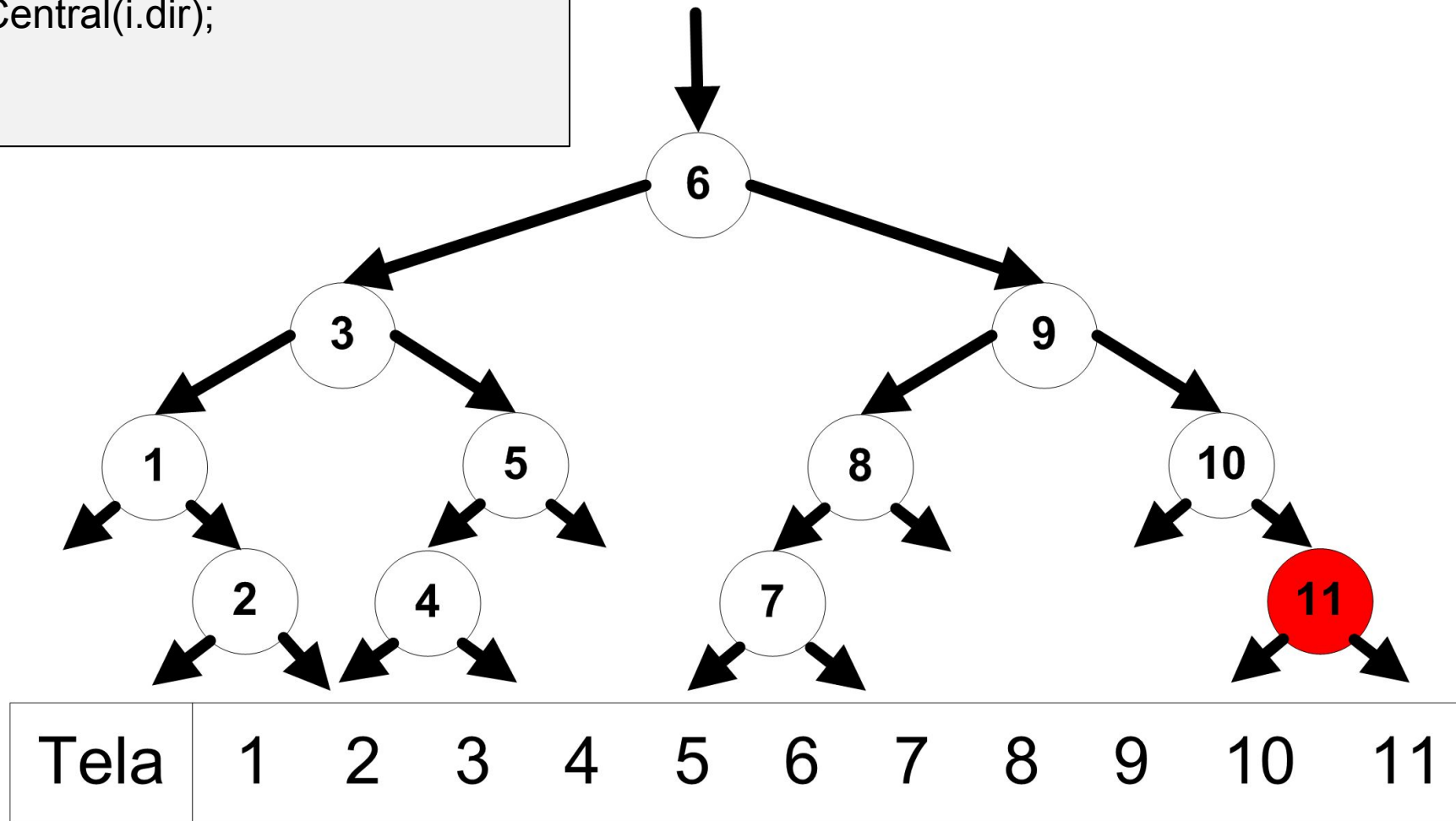
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



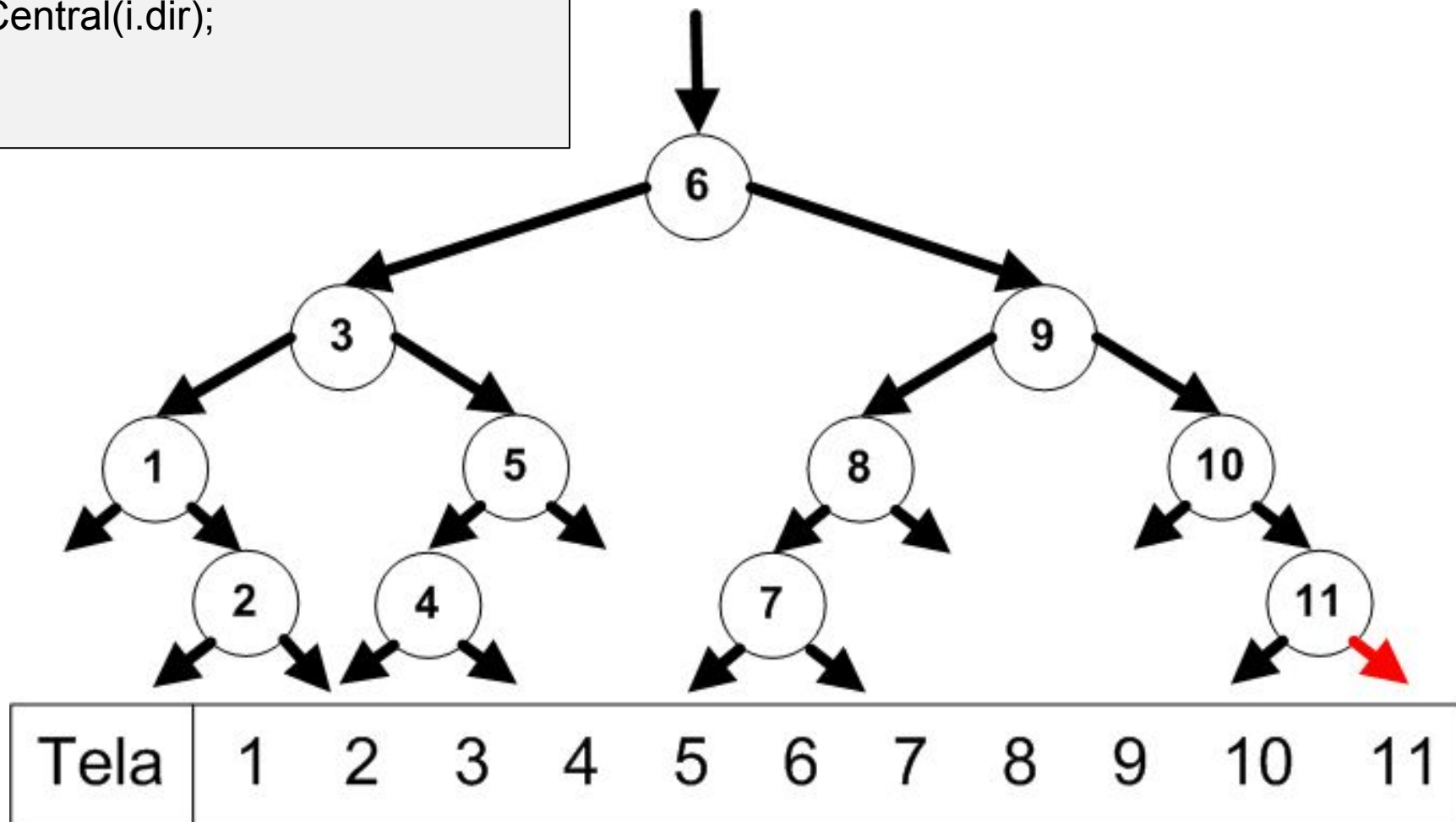
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



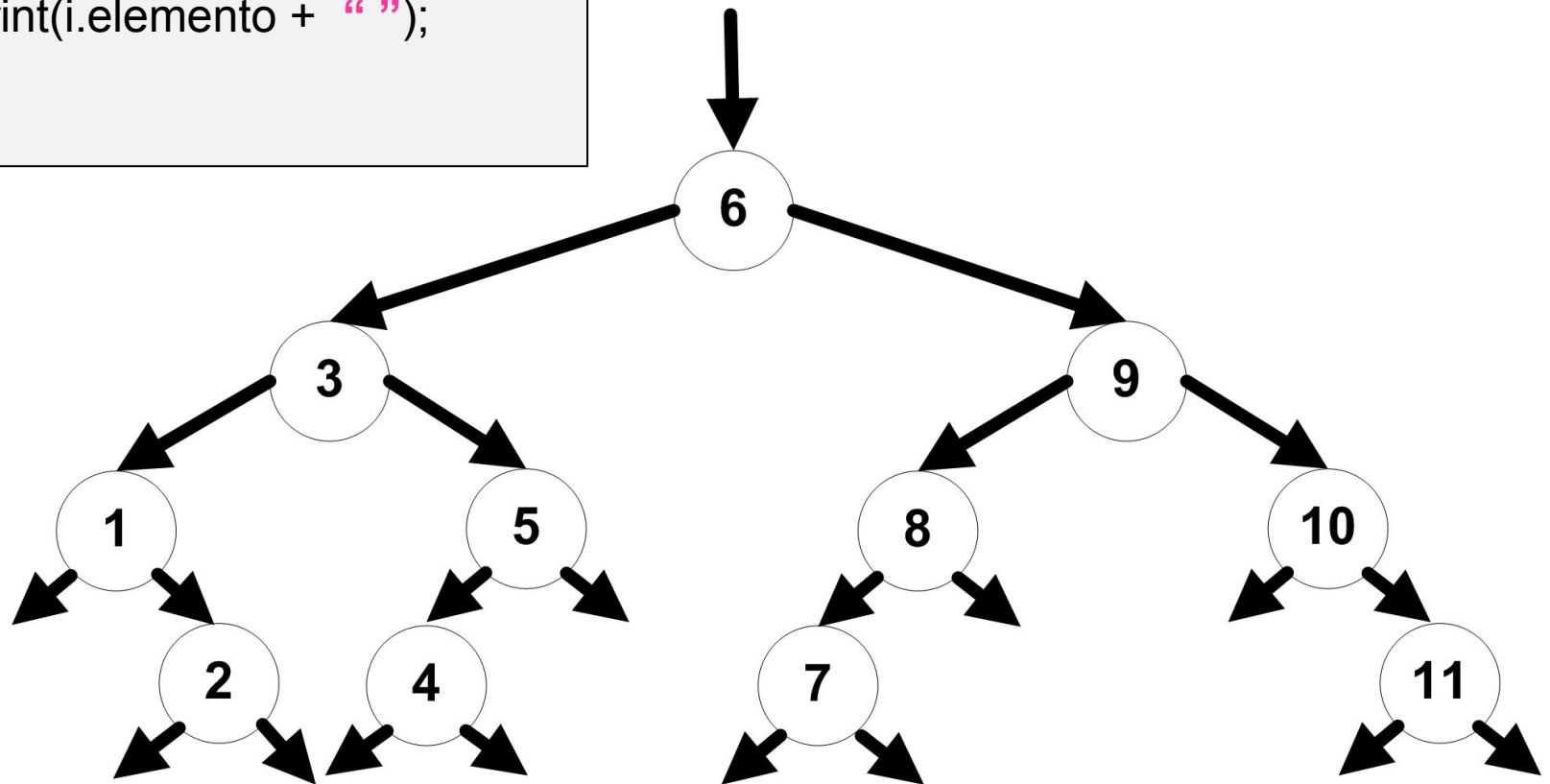
Caminhamento Central ou Em Ordem

```
void caminharCentral(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharCentral(i.esq);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharCentral(i.dir);  
    }  
}
```



Caminhamento Pós-fixado ou Pós-ordem

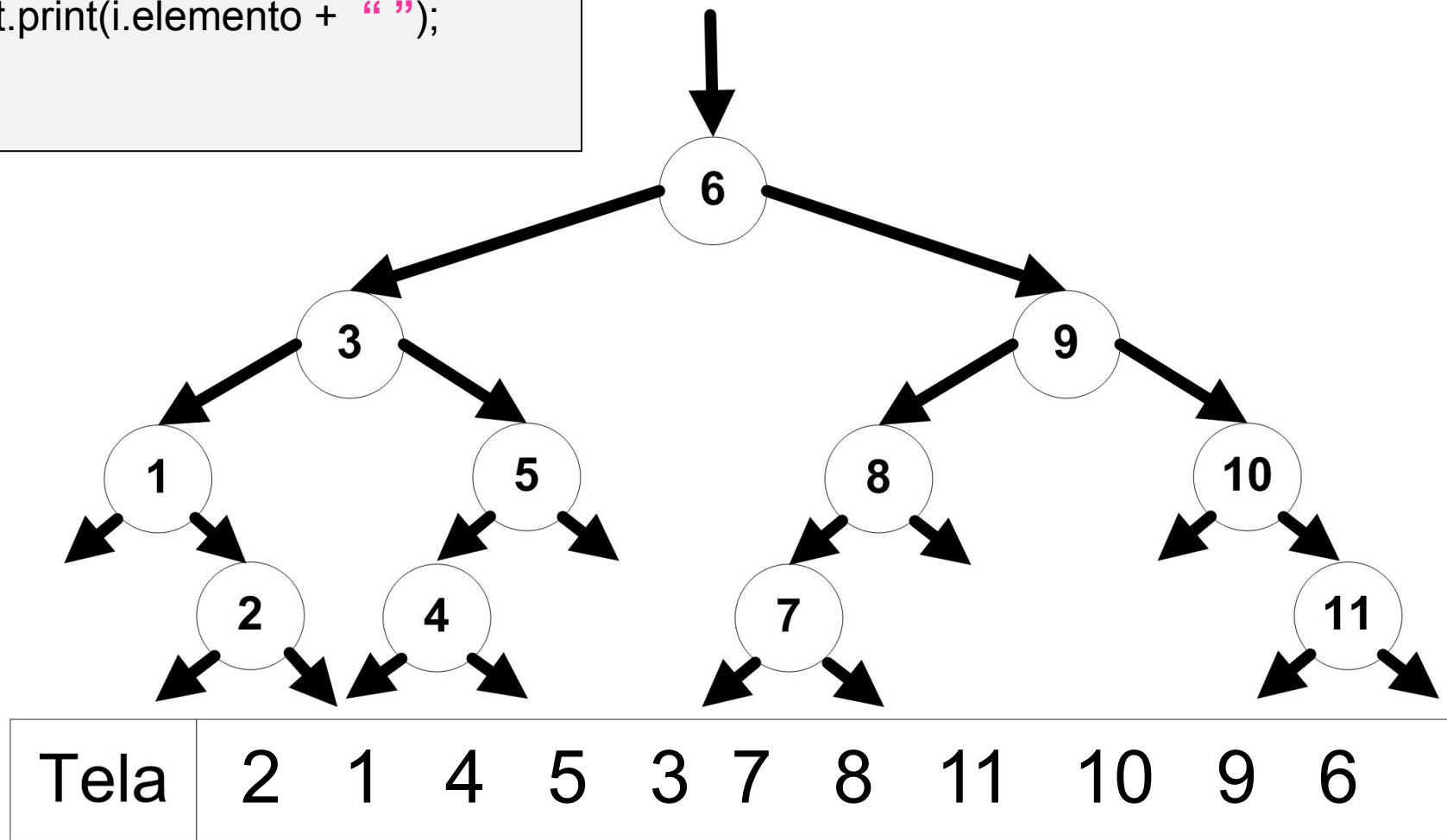
```
void caminharPos(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharPos(i.esq);  
        caminharPos(i.dir);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
    }  
}
```



Tela

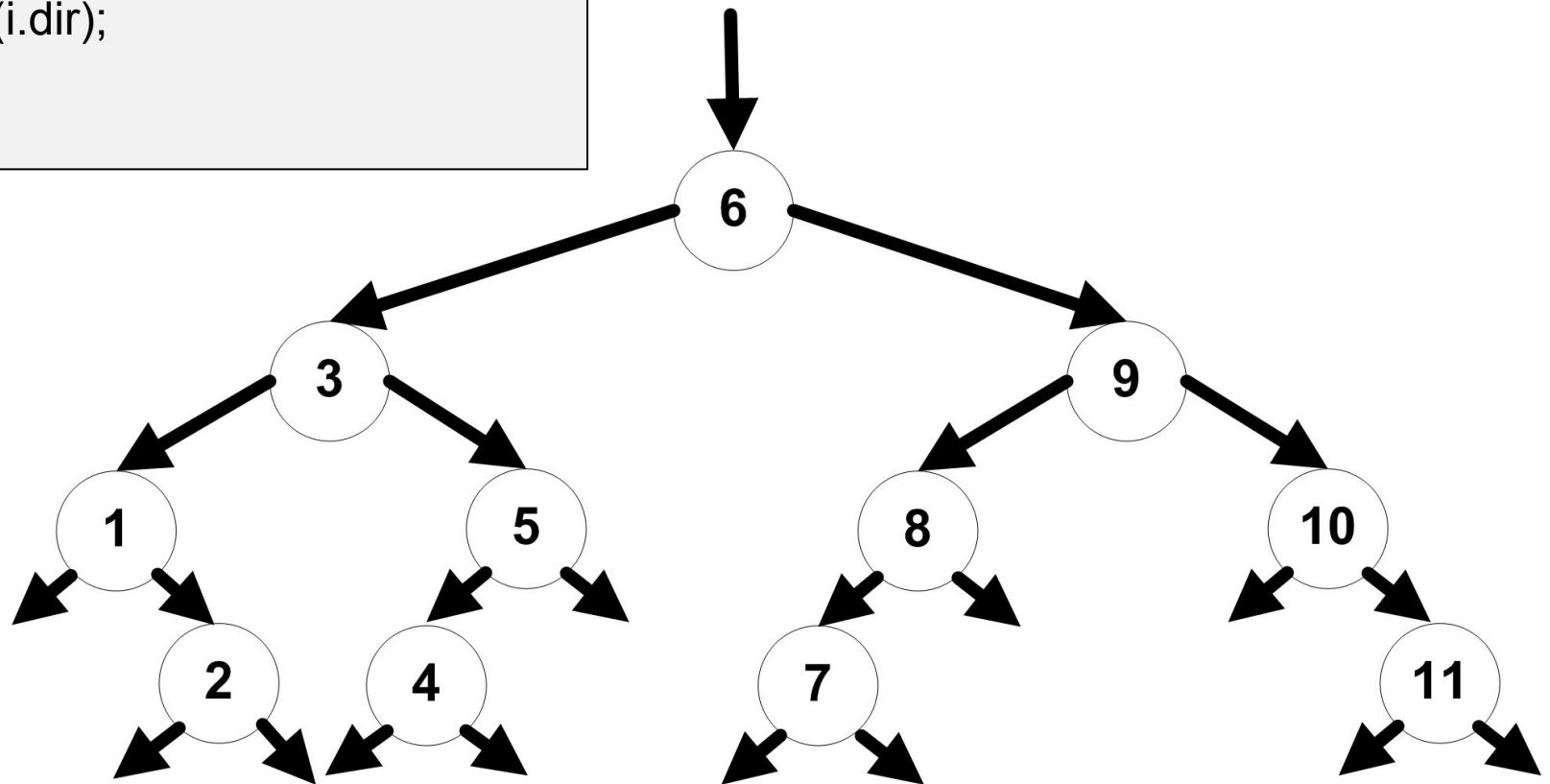
Caminhamento Pós-fixado ou Pós-ordem

```
void caminharPos(No i) {  
    if (i != null) {  
        caminharPos(i.esq);  
        caminharPos(i.dir);  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
    }  
}
```



Caminhamento Pré-fixado ou Pré-ordem

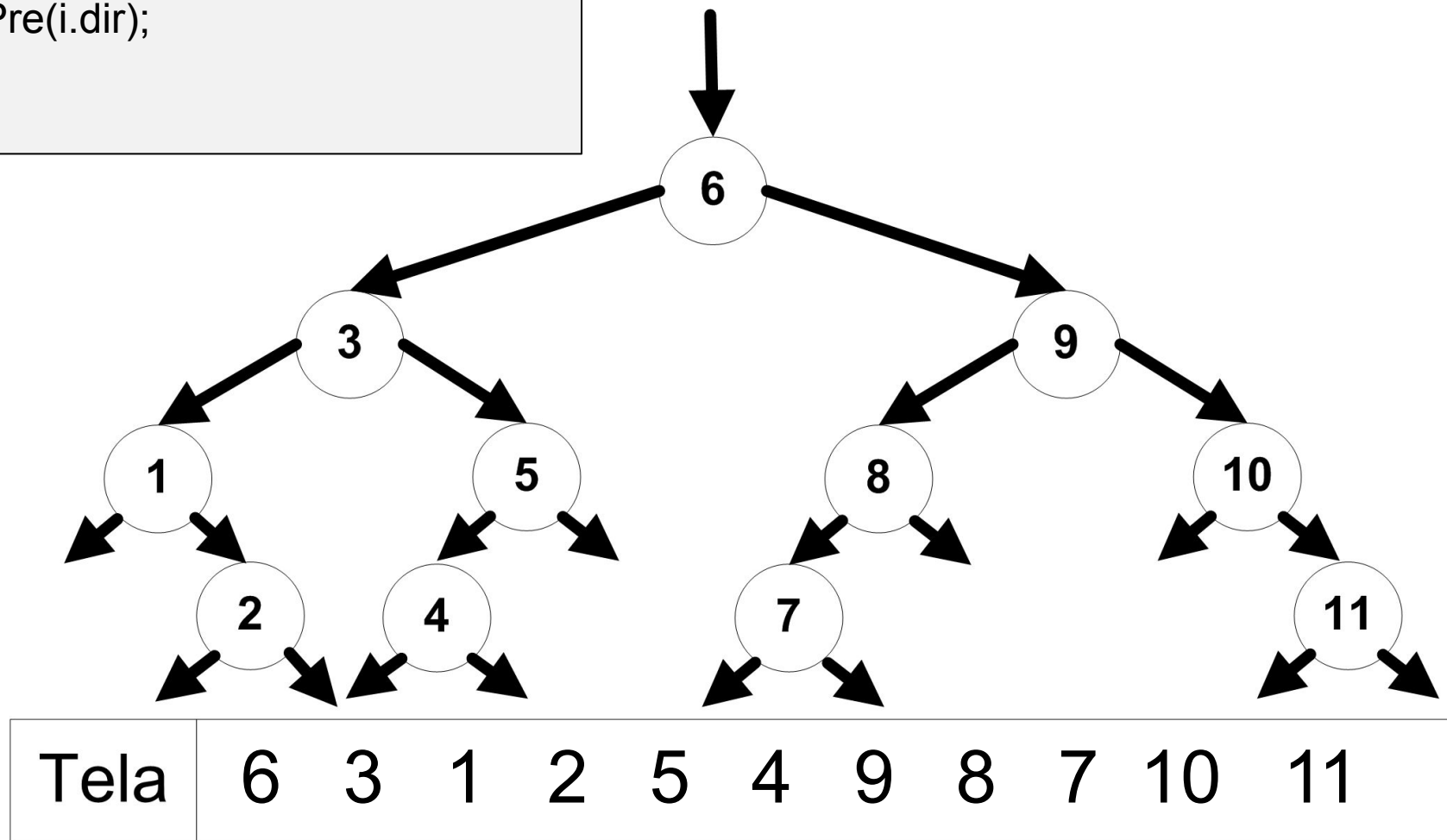
```
void caminharPre(No i) {  
    if (i != null) {  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharPre(i.esq);  
        caminharPre(i.dir);  
    }  
}
```



Tela

Caminhamento Pré-fixado ou Pré-ordem

```
void caminharPre(No i) {  
    if (i != null) {  
        System.out.print(i.elemento + " ");  
        caminharPre(i.esq);  
        caminharPre(i.dir);  
    }  
}
```



Exercício Resolvido (1)

- Faça um método que retorna a altura da árvore

Exercício Resolvido (1)

- Faça um método que retorna a altura da árvore

```
public int getAltura(No i, int altura){  
    if(i == null){  
        altura--;  
    } else {  
        int alturaEsq = getAltura(i.esq, altura + 1);  
        int alturaDir = getAltura(i.dir, altura + 1);  
        altura = (alturaEsq > alturaDir) ? alturaEsq : alturaDir;  
    }  
    return altura;  
}
```

Exercício Resolvido (2)

- Insira 100000 elementos de forma aleatória. Para cada inserção, mostre na tela o número de elementos da árvore, o logaritmo (base 2) desse número e a altura da árvore

Exercício Resolvido (2)

- Insira 100000 elementos de forma aleatória. Para cada inserção, mostre na tela o número de elementos da árvore, o logaritmo (base 2) desse número e a altura da árvore

```
ArvoreBinaria a = new ArvoreBinaria();

Random gerador = new Random();
gerador.setSeed(0);
for(int i = 1; i <= 100000; i++){
    int valor;
    do {
        valor = Math.abs(gerador.nextInt());
    } while (a.pesquisar(valor) == true);

    a.inserir(valor);

    if(i % 1000 == 0){
        double log2 = (Math.log(i) / Math.log(2));
        log2 *= 1.39;
        System.out.println("Número de nós = " + i + " --- log(i,2) = " + log2 + " --- h = " + a.getAltura());
    }
}
```

Exercício Resolvido (3)

- Faça um método que retorne a soma dos elementos existentes na árvore

Exercício Resolvido (3)

- Faça um método que retorne a soma dos elementos existentes na árvore

```
public int soma(){  
    return soma(raiz);  
}  
  
public int soma(No i){  
    int resp = 0;  
    if(i != null){  
        resp = i.elemento + soma(i.esq) + soma(i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

Exercício Resolvido (4)

- Faça um método que retorne o número de elementos pares existentes na árvore

Exercício Resolvido (4)

- Faça um método que retorne o número de elementos pares existentes na árvore

```
public int numPares(){  
    return numPares(raiz);  
}  
  
public int numPares(No i){  
    int resp = 0;  
    if(i != null){  
        resp = ((i.elemento % 2 == 0) ? 1 : 0) + numPares(i.esq) + numPares(i.dir);  
    }  
    return resp;  
}
```

Exercício Resolvido (5)

- Faça um método estático que recebe dois objetos do tipo árvore binária e retorne um booleano indicando se as duas árvores são iguais

Exercício Resolvido (5)

- Faça um método estático que recebe dois objetos do tipo árvore binária e retorne um booleano indicando se as duas árvores são iguais

```
public static boolean igual (ArvoreBinaria a1, ArvoreBinaria a2){  
    return igual(a1.raiz, a2.raiz);  
}  
  
private static boolean igual (No i1, No i2){  
    boolean resp;  
    if(i1 != null && i2 != null){  
        resp = (i1.elemento == i2.elemento) && igual(i1.esq, i2.esq) && igual(i1.dir, i2.dir);  
    } else if(i1 == null && i2 == null){  
        resp = true;  
    } else {  
        resp = false;  
    }  
    return resp;  
}
```

Exercício Resolvido (6)

- Faça um método que retorna **true** se a árvore contém algum número divisível por onze

Exercício Resolvido (6)

- Faça um método que retorna **true** se a árvore contém algum número divisível por onze

```
public boolean hasDiv11(){
    return hasDiv11(raiz);
}

public boolean hasDiv11(No i){
    boolean resp = false;
    if(i != null){
        resp = (i.elemento % 11 == 0) || hasDiv11(i.esq) || hasDiv11(i.dir);
    }
    return resp;
}
```

Exercício Resolvido (7)

- Um algoritmo de ordenação é o *TreeSort* que insere os elementos do *array* em uma árvore binária e utiliza um "caminhar" para ordenar os elementos do *array*. Implemente o *TreeSort* e faça a análise de complexidade do mesmo

Exercício Resolvido (7)

```

public class TreeSort {
    private No raiz;
    private int n;

    public TreeSort() {
        raiz = null;
        n = 0;
    }

    public int[] sort() {
        int[] array = new int[n];
        n = 0;
        sort(raiz, array);
        return array;
    }

    private void sort(No i, int[] array) {
        if (i != null) {
            sort(i.esq, array);
            array[n++] = i.elemento;
            sort(i.dir, array);
        }
    }

    public void inserir(int x) {
        //...
    }
}

```

TreeSort que insere os elementos do *array* e Caminhamento e utiliza um "caminhar". Implemente o *TreeSort* e faça a análise

Supondo que a árvore é balanceada, o custo de inserção é $\Theta(\lg(n))$ comparações. O custo de inserção dos n elementos será $\Theta(n \times \lg(n))$ comparações

Exercício Resolvido (8)

- Faça o método ***No toAB(Celula p1, CelulaDupla p2)*** que recebe o nó cabeça de uma lista simples e o de outra dupla. Em seguida, crie uma árvore binária contendo os elementos intercalados das duas listas e retorne o endereço do nó raiz da árvore criada

Exercício Resolvido (8)

CelulaDupla p2) que recebe o nó
dupla. Em seguida, crie uma
calados das duas listas e retorne

```
No toAB(Celula p1, CelulaDupla p2){
    No resp = null;
    p1 = p1.prox;
    p2 = p2.prox;
    while(p1 != null && p2 != null){
        resp = inserir(resp, p1.elemento);
        resp = inserir(resp, p2.elemento);
        p1 = p1.prox;
        p2 = p2.prox;
    }
    while(p1 != null){
        resp = inserir(resp, p1.elemento);
        p1 = p1.prox;
    }
    while(p2 != null){
        resp = inserir(resp, p2.elemento);
        p2 = p2.prox;
    }
    return resp;
}
```

```
No inserir(No i, int x) throws Exception {
    if (i == null) {
        i = new No(x);

    } else if (x < i.elemento) {
        i.esq = inserir(x, i.esq);

    } else if (x > i.elemento) {
        i.dir = inserir(x, i.dir);

    } else {
        throw new Exception("Erro ao inserir!");
    }
    return i;
}
```