


Unidade V: Árvore Binária - Inserção



PUC Minas


Instituto de Ciências Exatas e Informática
Departamento de Ciência da Computação

- Funcionamento básico
- Exemplo
- Inserção em Java com retorno de referência
- Inserção em Java com passagem de pai
- Análise de complexidade

- **Funcionamento básico** 
- Exemplo
- Inserção em Java com retorno de referência
- Inserção em Java com passagem de pai
- Análise de complexidade

Funcionamento Básico da Inserção

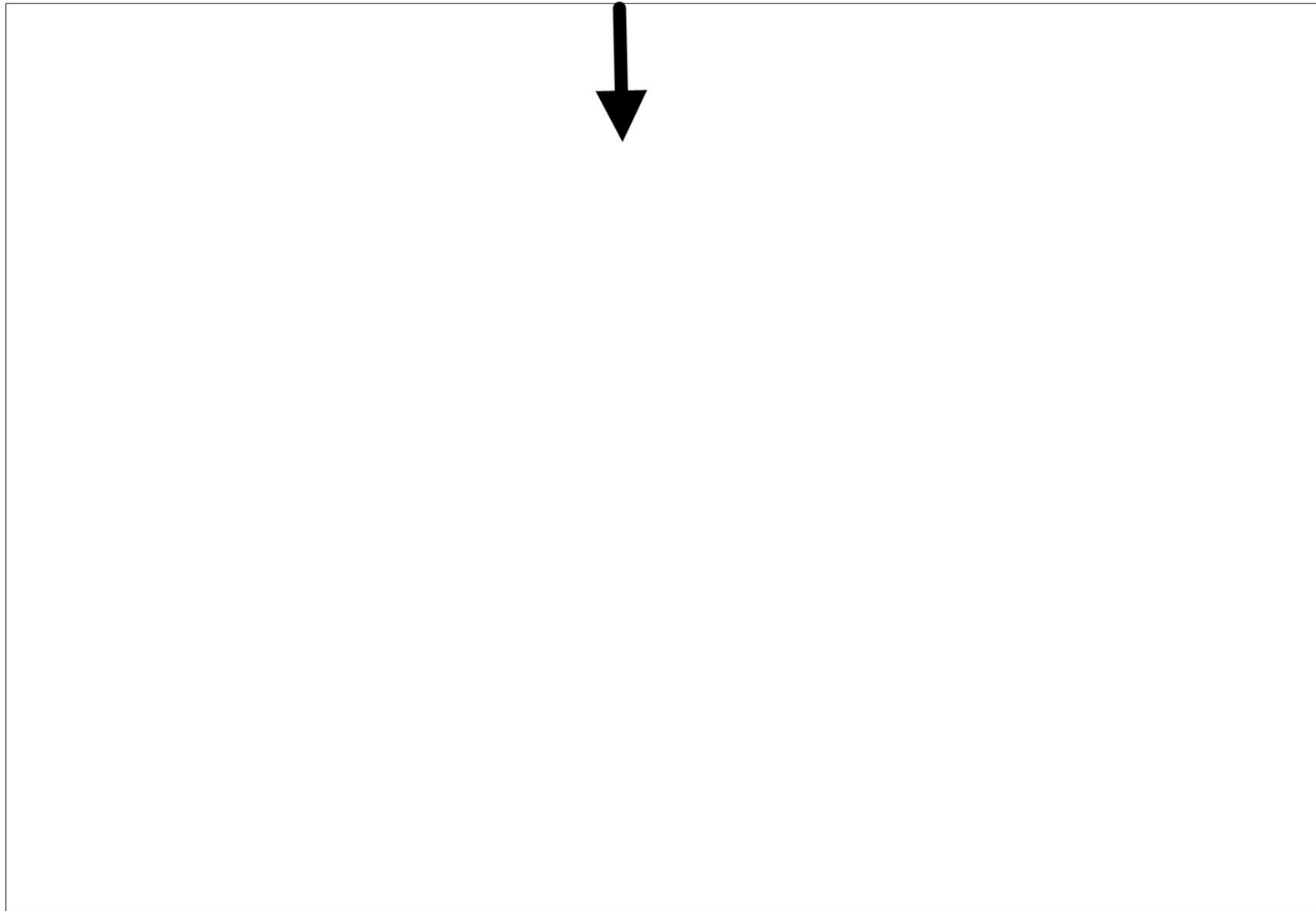
- (1) Se a raiz estiver vazia, insere-se o elemento nela
- (2) Senão, se o novo elemento for **menor** que o da raiz, chama-se recursivamente a inserção para a subárvore da **esquerda**
- (3) Senão, se o novo elemento for **maior** que o da raiz, chama-se recursivamente a inserção para a subárvore da **direita**
- (4) Senão, se o novo elemento for **igual** ao da raiz, não inserir um elemento repetido

- Funcionamento básico
- **Exemplo** 
- Inserção em Java com retorno de referência
- Inserção em Java com passagem de pai
- Análise de complexidade

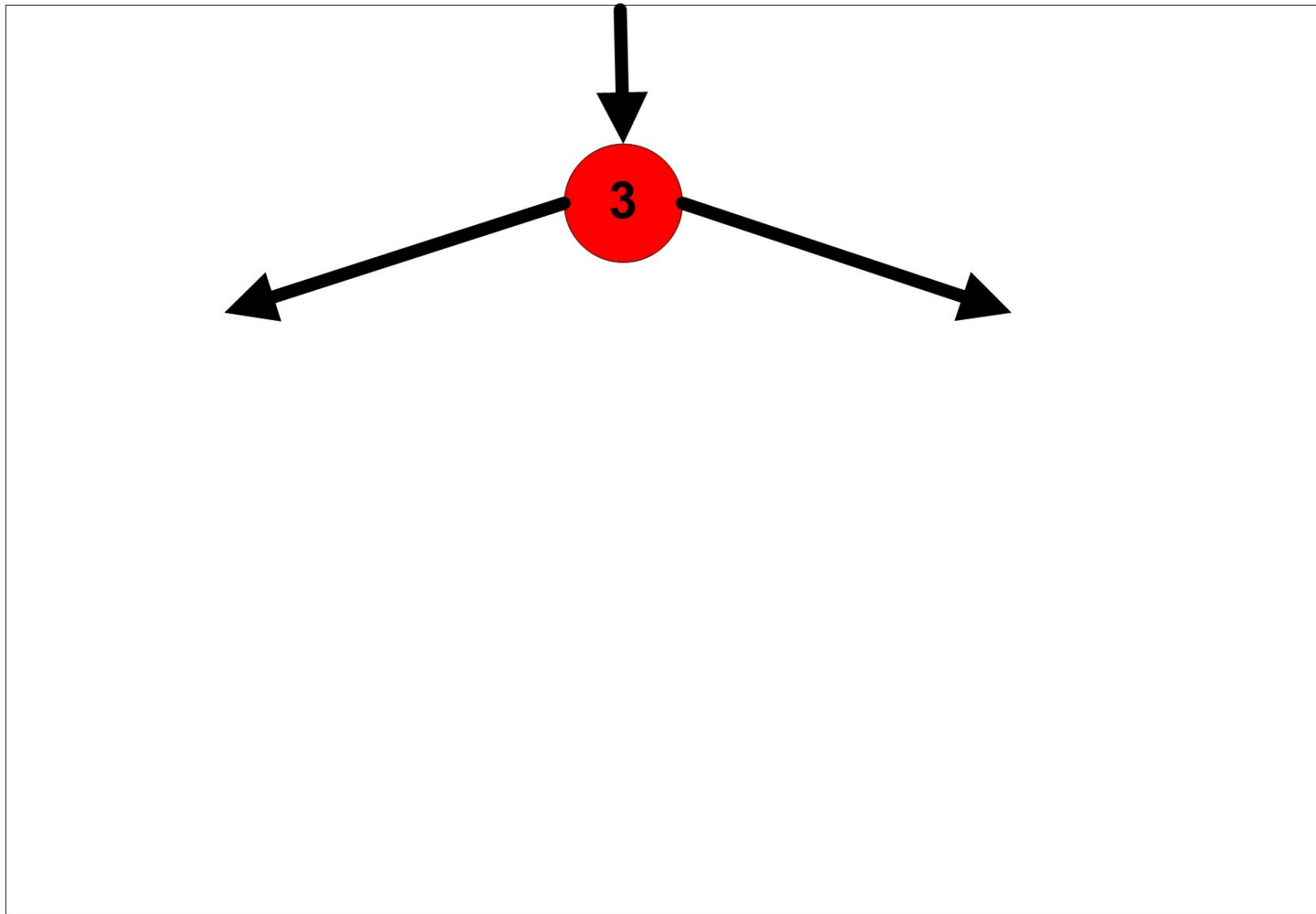
Exemplo

- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

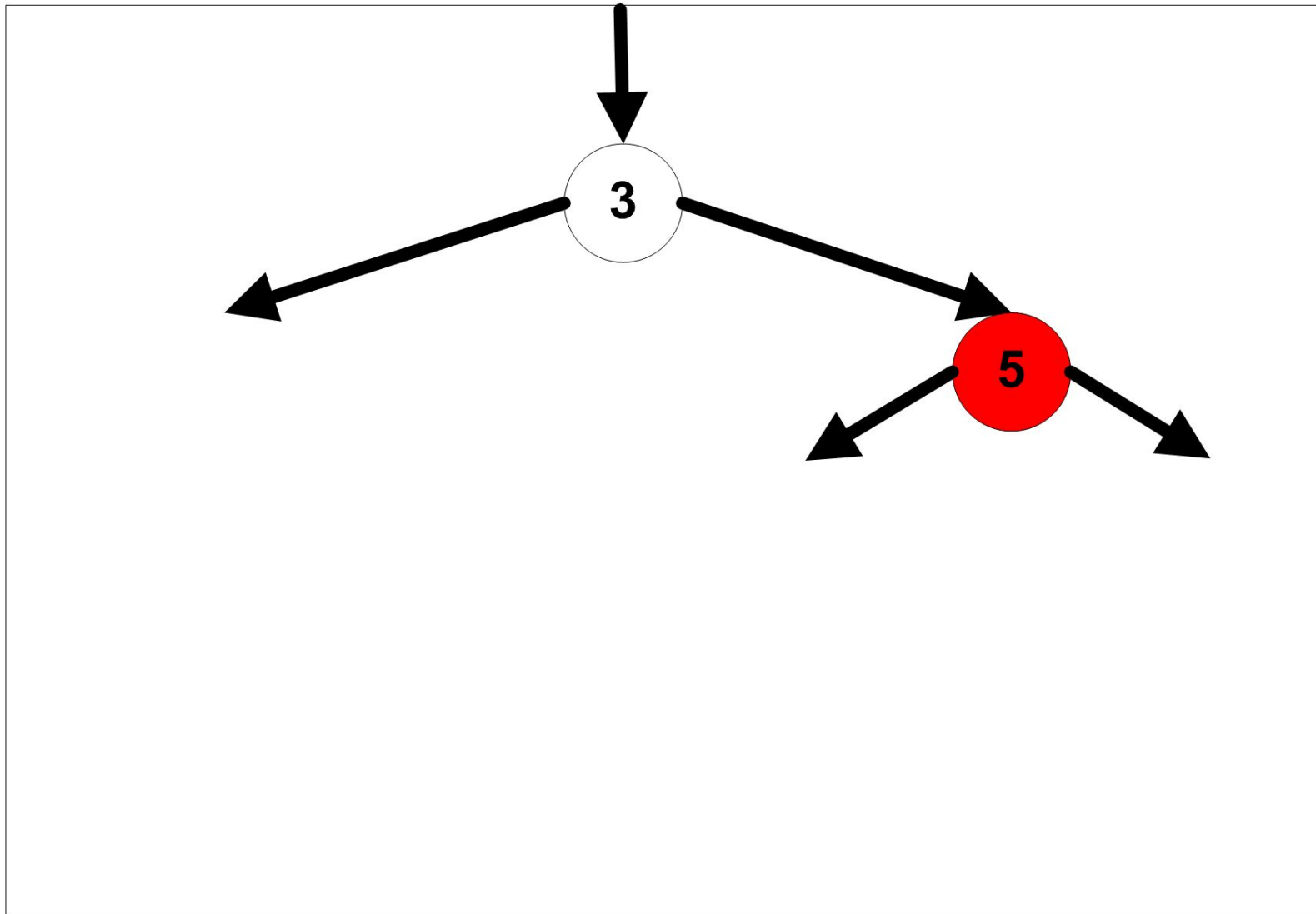
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



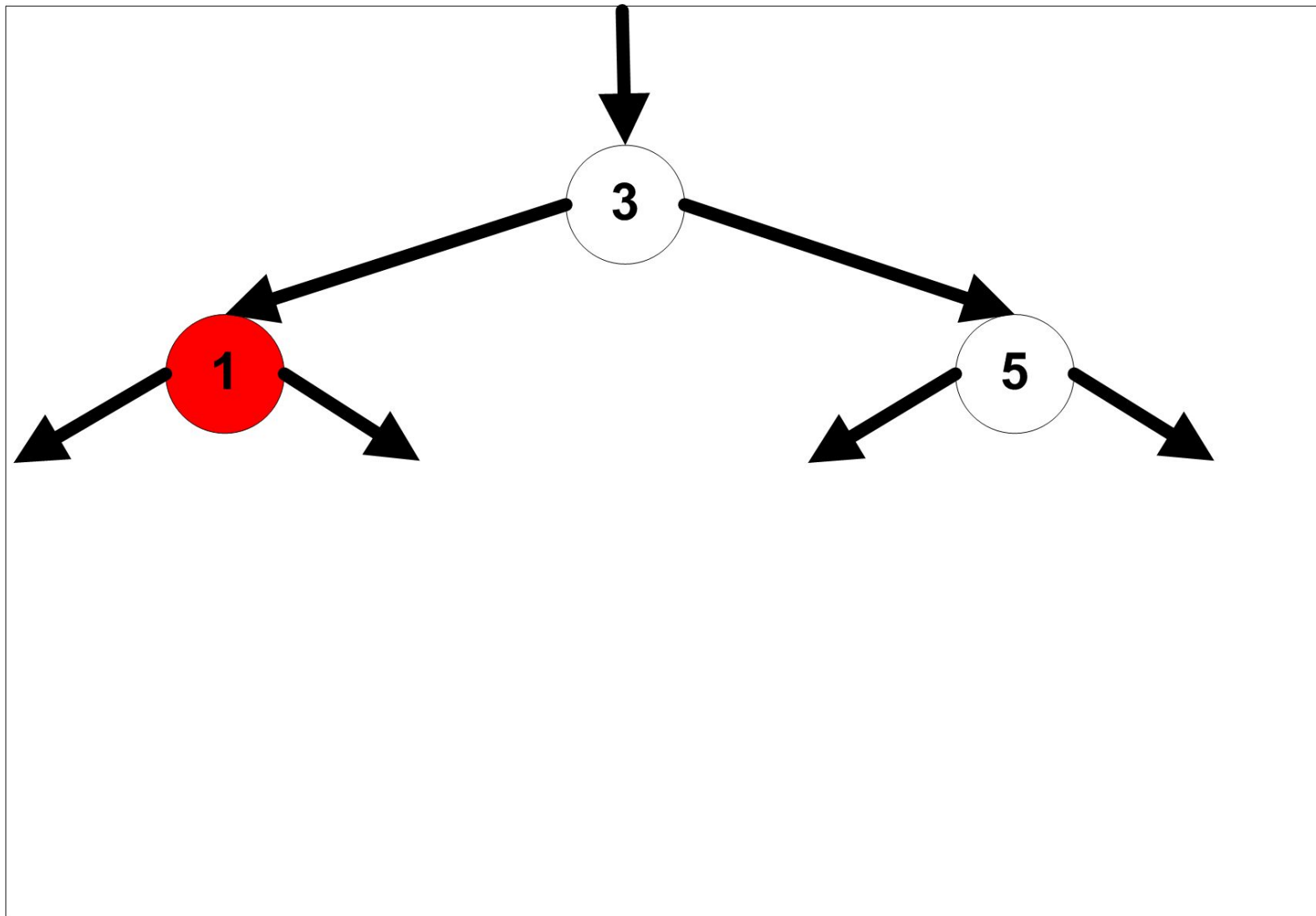
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



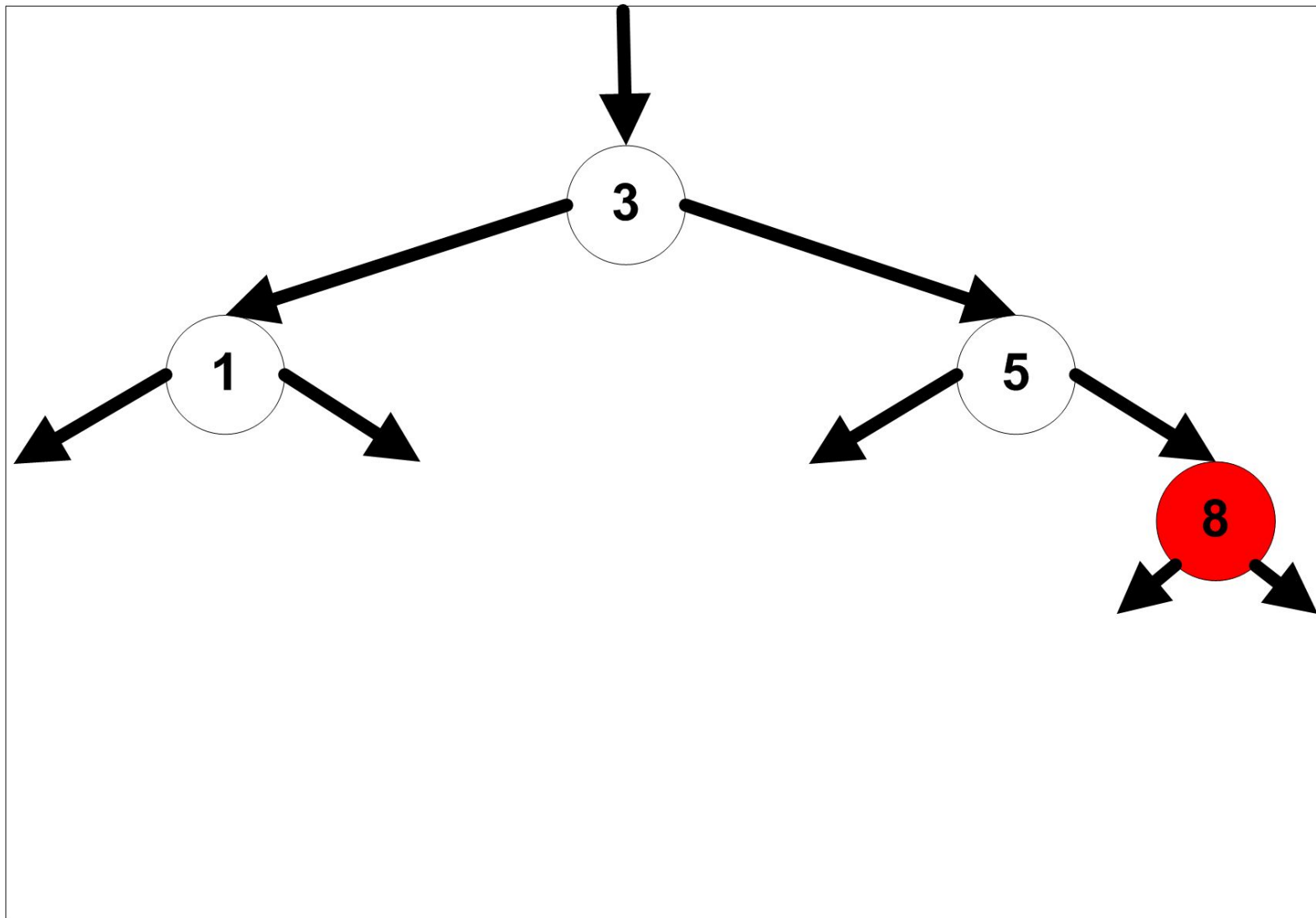
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



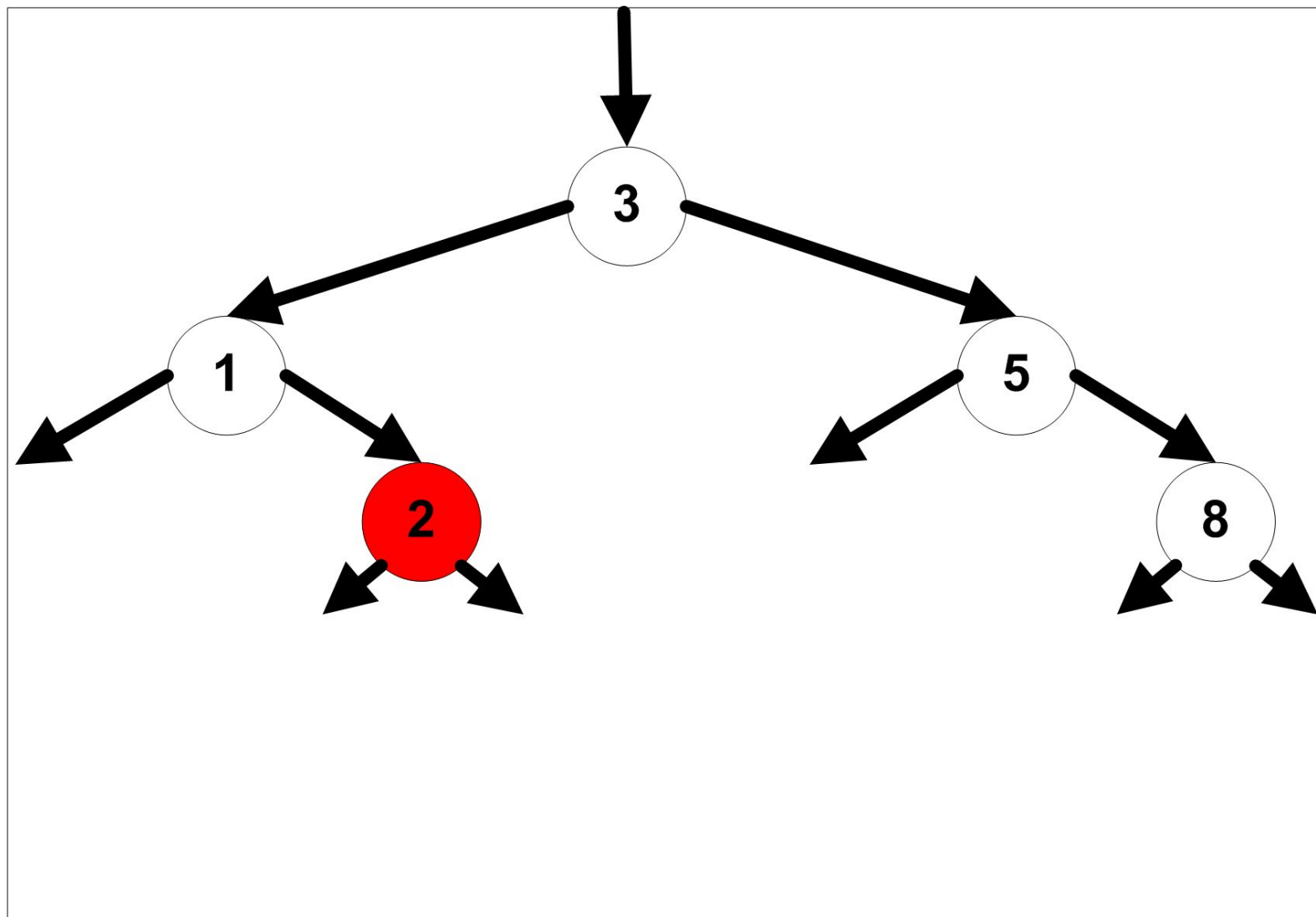
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, **1**, 8, 2, 4, 7 e 6



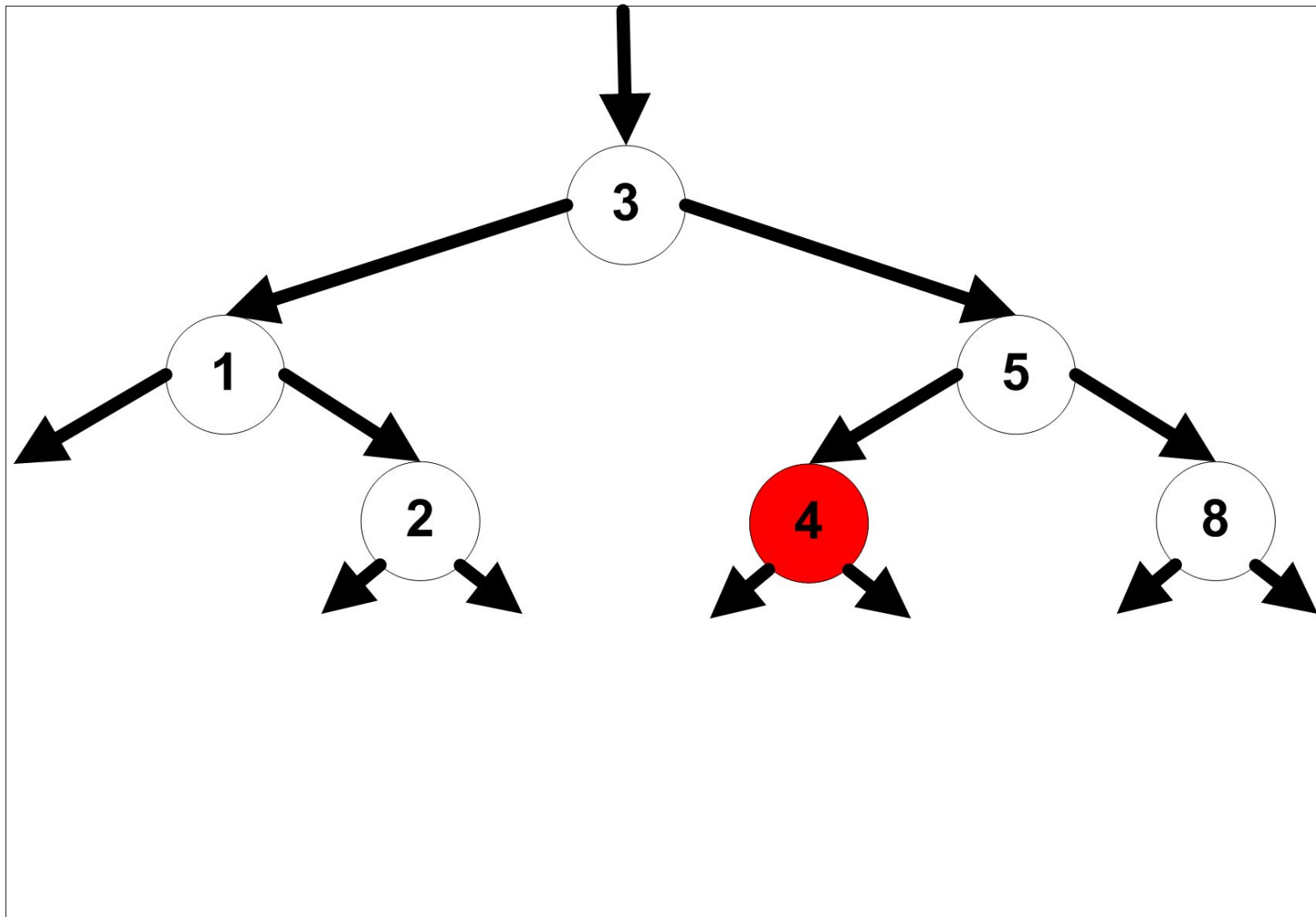
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



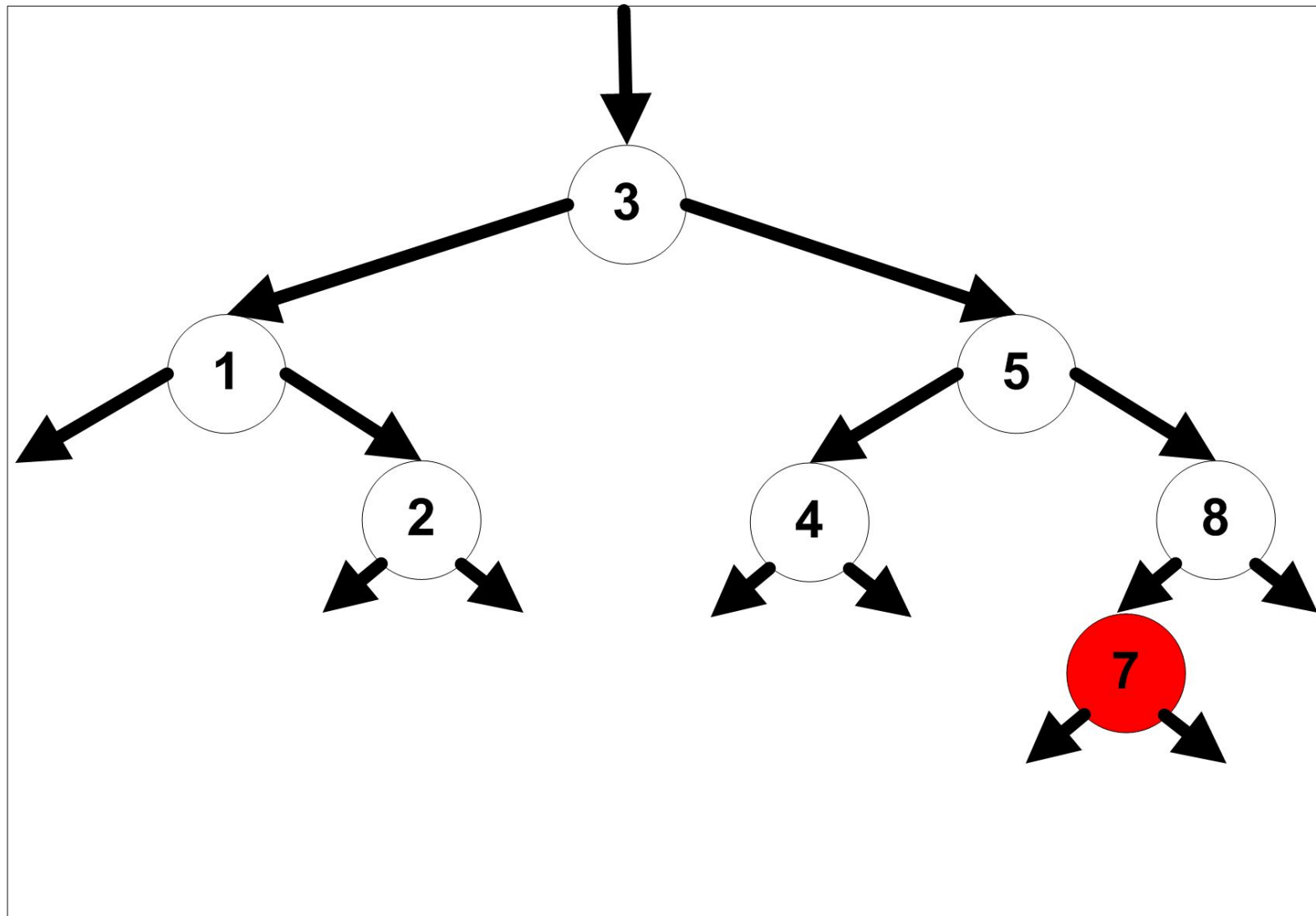
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



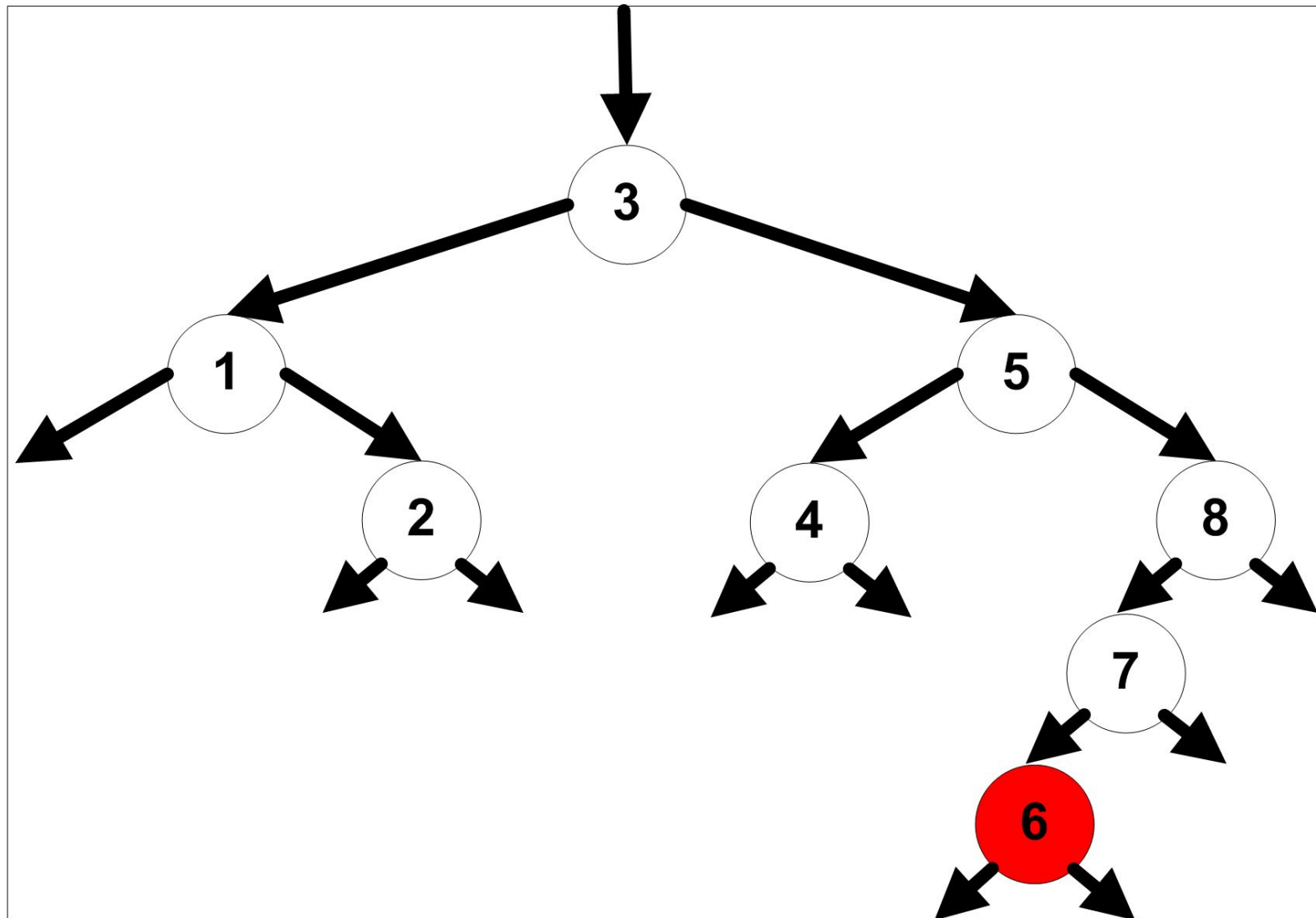
- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6



- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, **7** e 6




- Inserir, na ordem, os elementos 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e **6**



Exercício

- Inserir, na ordem, os elementos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8

- Funcionamento básico
- Exemplo
- **Inserção em Java com retorno de referência** 
- Inserção em Java com passagem de pai
- Análise de complexidade

Inserção em Java com Retorno de Referência

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

raiz

null



Inserção em Java com Retorno de Referência

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

raiz

null



Vamos inserir os elementos
3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6
(várias chamadas do inserir)

Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir **3**, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
```

```
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

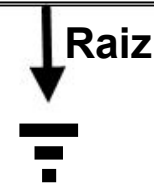
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;
```

```
}
```

raiz null x 3



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir **3**, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz null x 3



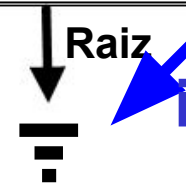
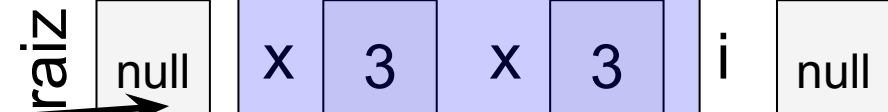
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir **3**, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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("Elemento já existe");
    return i;
}
```



Cada chamada do `inserir` cria novas variáveis e, por isso, temos duas variáveis com nome `x`

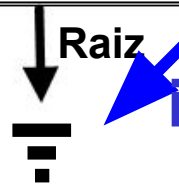
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir **3**, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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("Elemento duplicado");
    return i;
}
```



O valor inicial do ponteiro `i` é o mesmo do ponteiro `raiz`, ou seja, `null`

Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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);
```

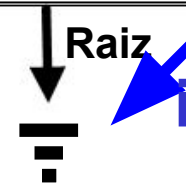
```
    } else {
```

```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;
```

true: null == null



Inserção em Java com Retorno de Referência

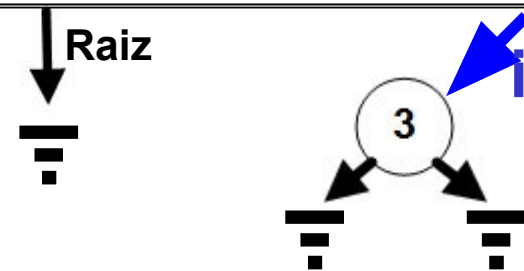
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz null x 3 x 3 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

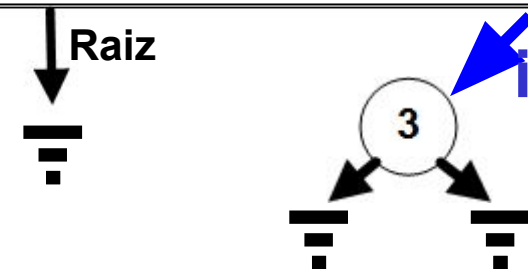
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

retorna o endereço de n(3)

raiz null x 3 x 3 i n(3)



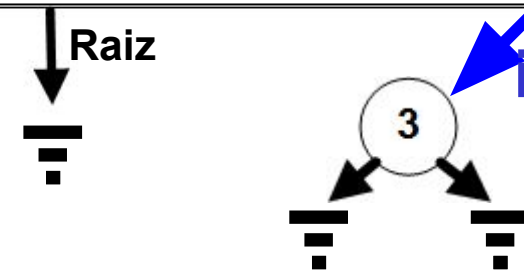
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz null x 3 x 3 i n(3)



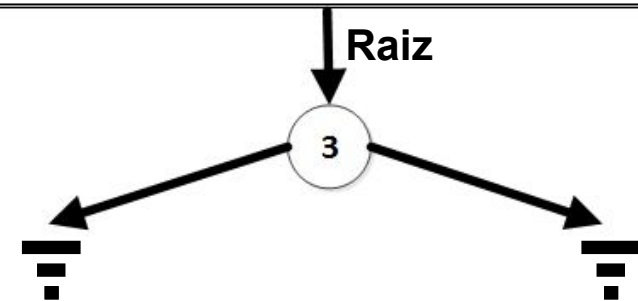
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 3



Inserção em Java com Retorno de Referência

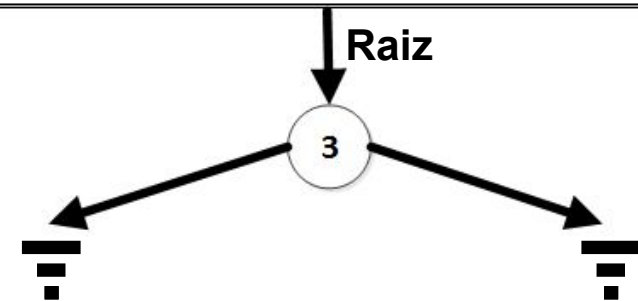
```
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6
```

```
void inserir(int x) throws Exception {  
    raiz = inserir(x, raiz);  
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");  
    }  
    return i;  
}
```

raiz

n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
```

```
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

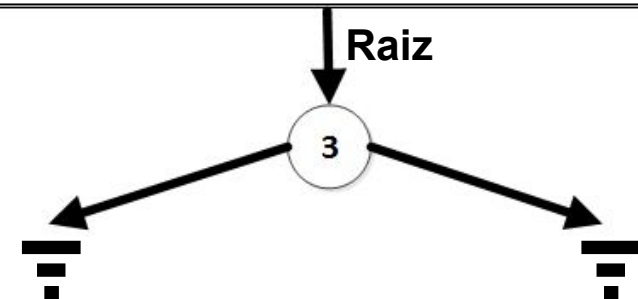
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;
```

```
}
```

raiz $n(3)$ x 5



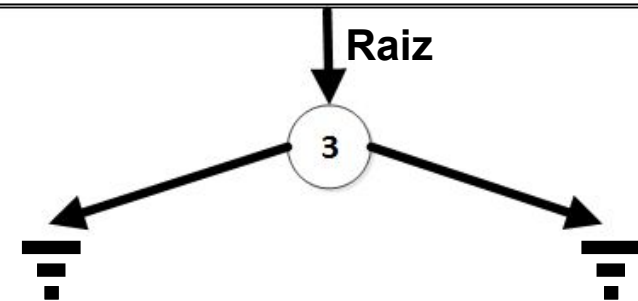
Inserção em Java com Retorno de Referência

```
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6
```

```
void inserir(int x) throws Exception {  
    raiz = inserir(x, raiz);  
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");  
    }  
    return i;  
}
```

raiz n(3) x 5



Inserção em Java com Retorno de Referência

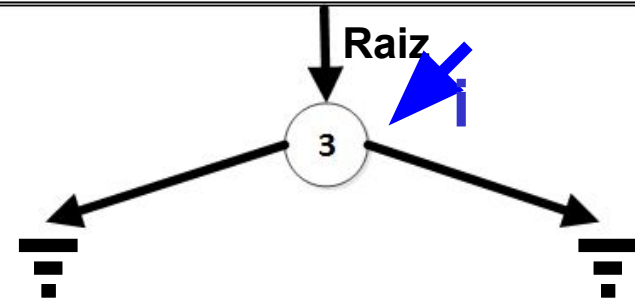
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

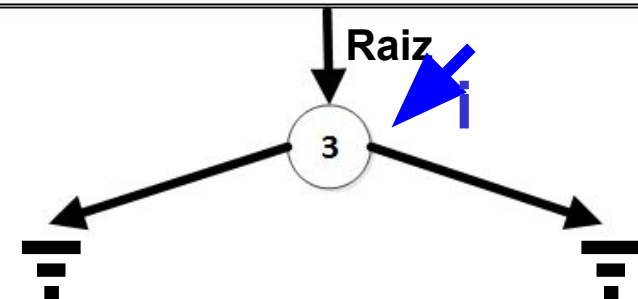
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;    false: n(3) == null
```

```
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

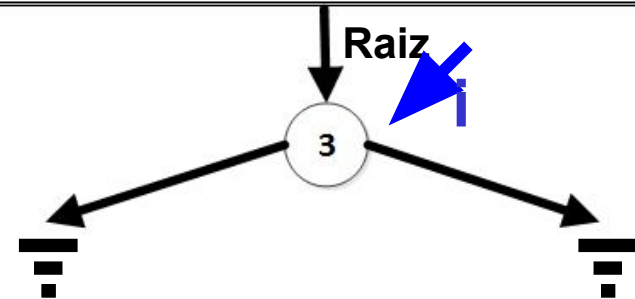
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;    false: 5 < 3
```

```
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

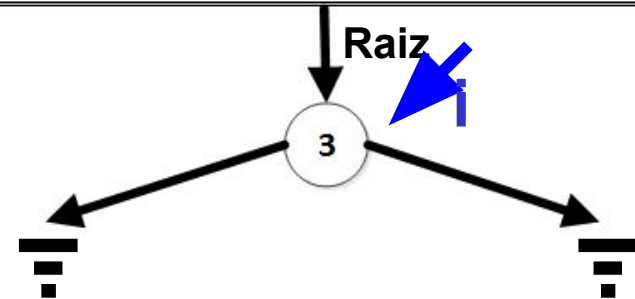
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

true: 5 > 3

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



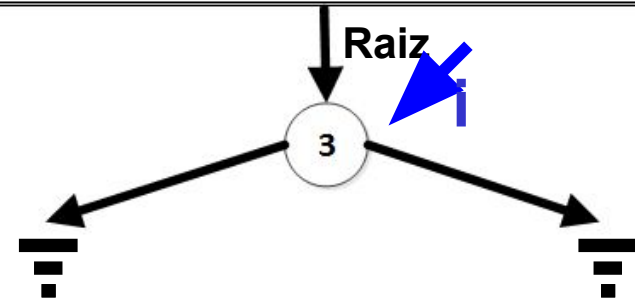
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



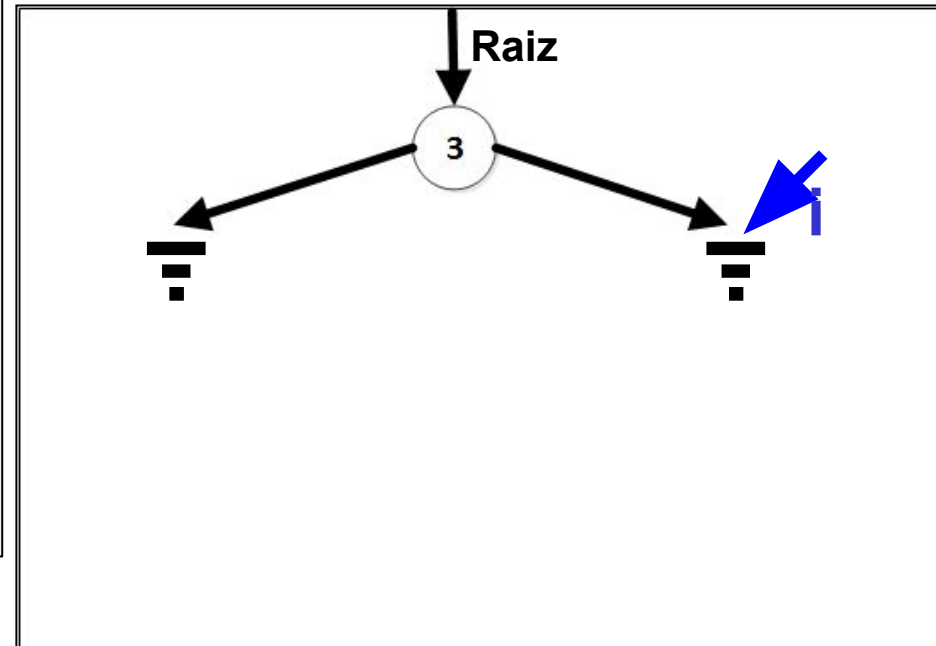
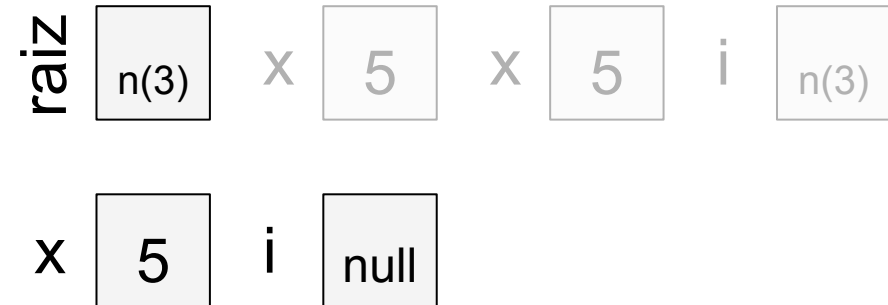
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
```

```
    }
```

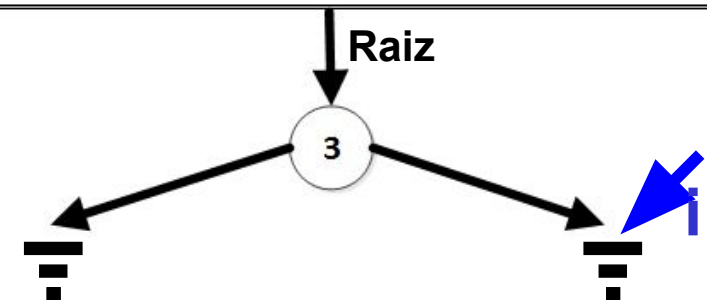
```
    return i;
```

true: null == null

```
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)

x 5 i null



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, **5**, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

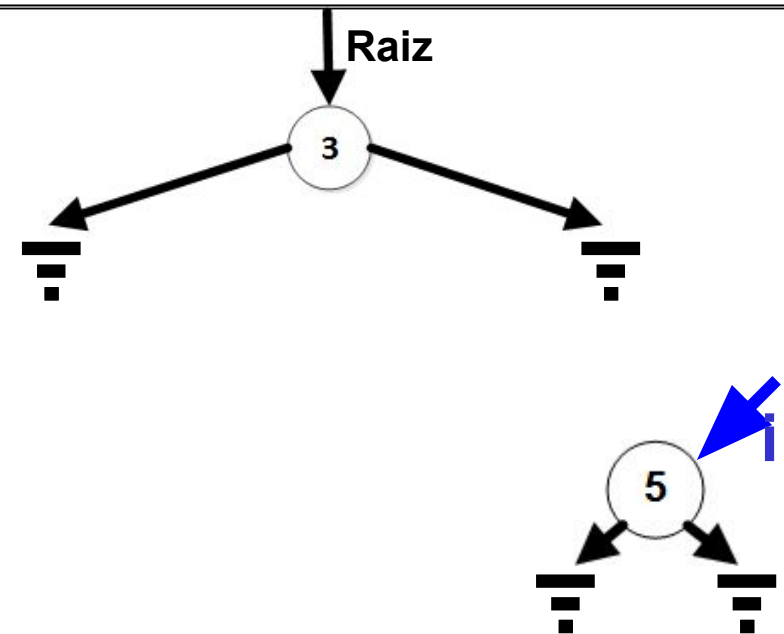
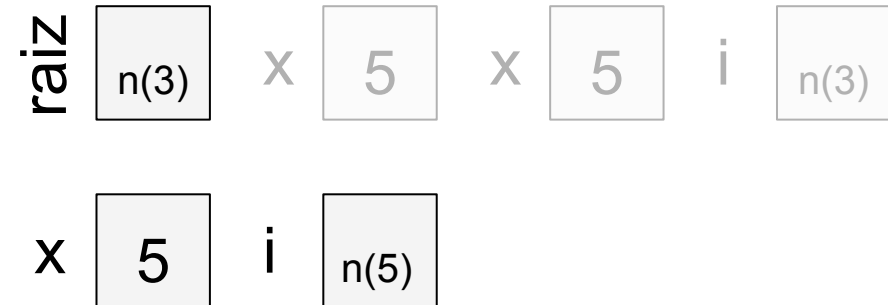
```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
}
return i;
}

```



Inserção em Java com Retorno de Referência

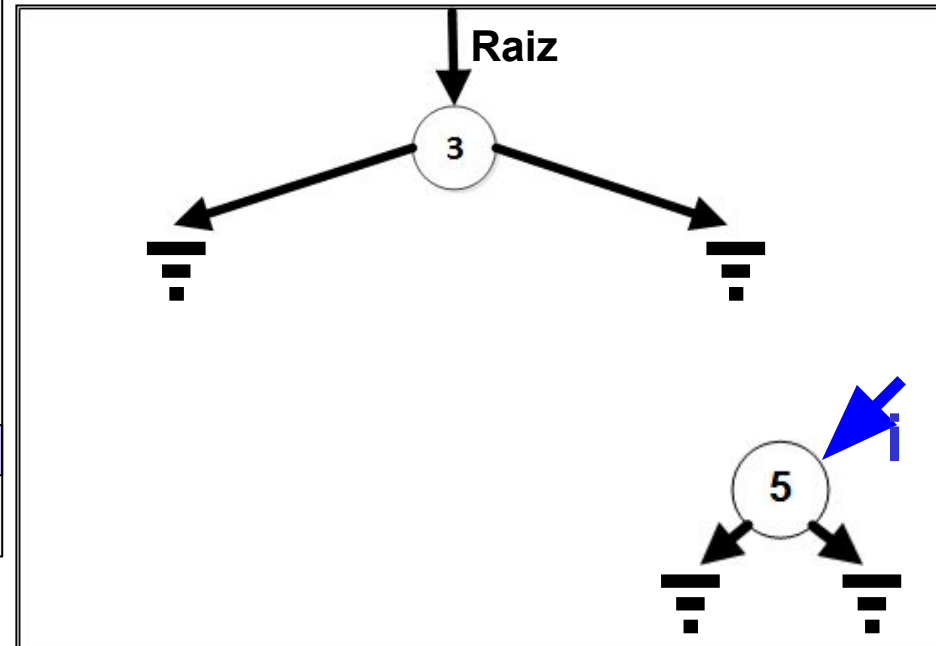
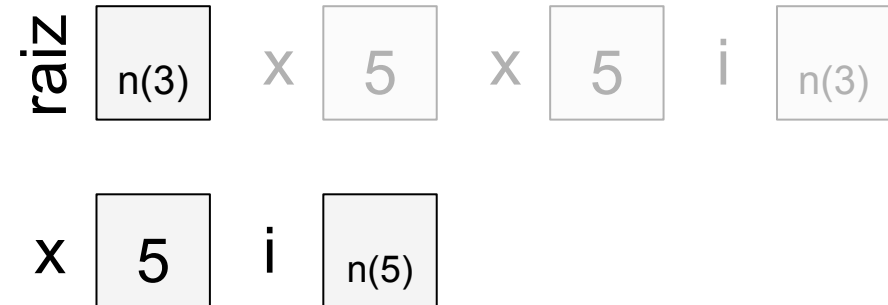
//Inserir 3, **5**, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
}
```

```
return i;
```

retorna o endereço de $n(5)$

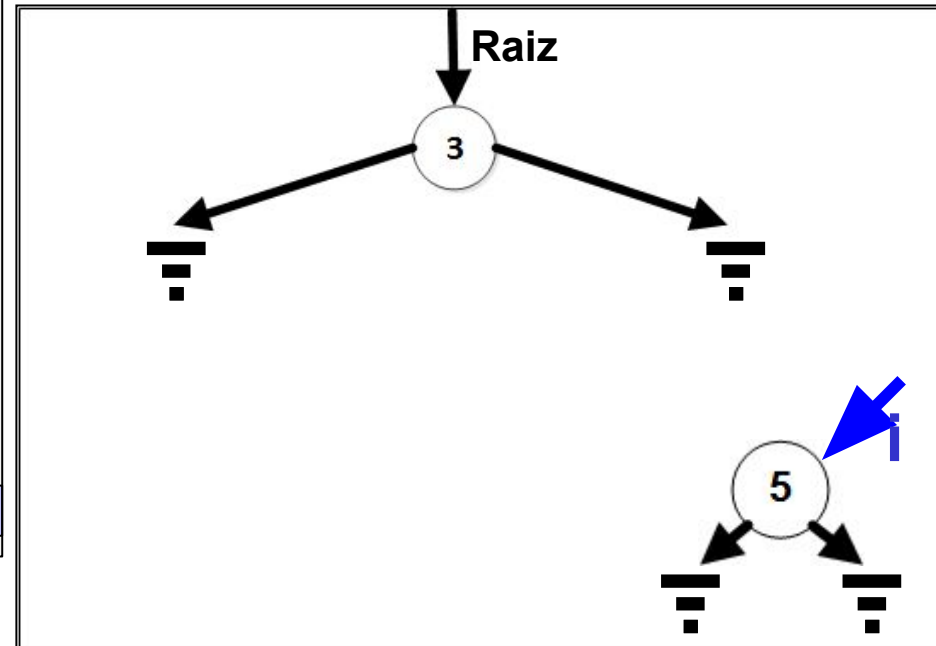
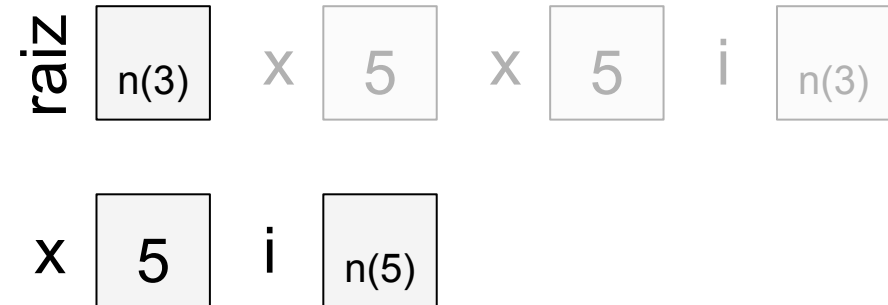


Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```



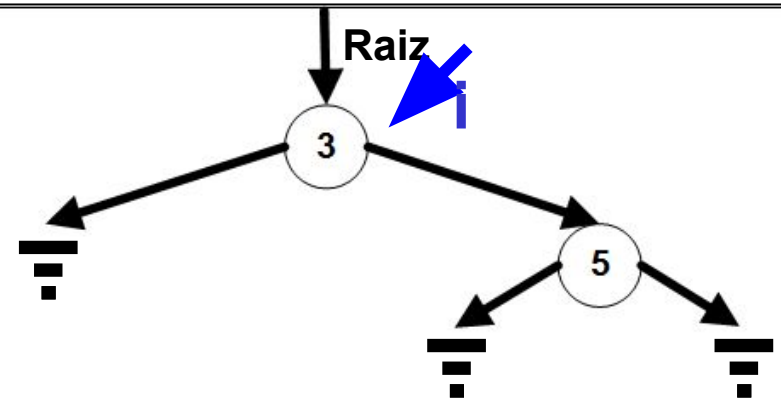
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

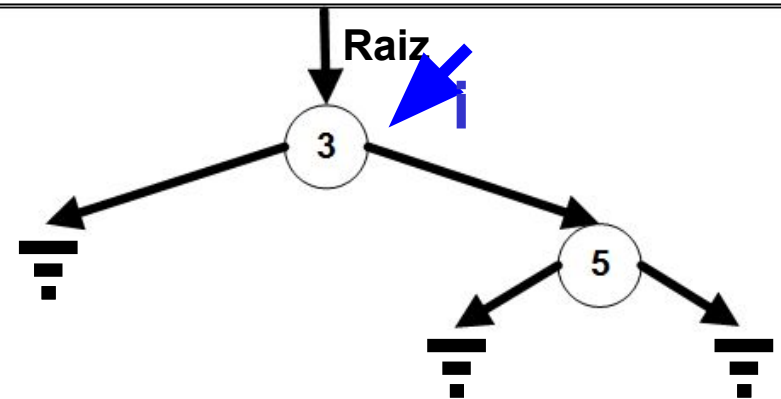
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

retorna o endereço de n(3)

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



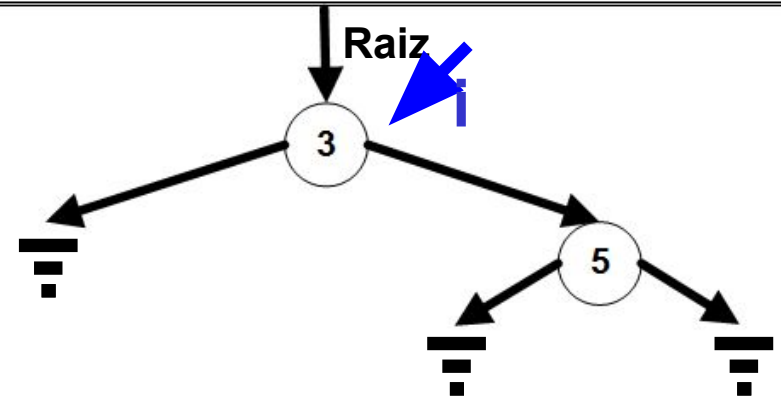
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 5 x 5 i n(3)



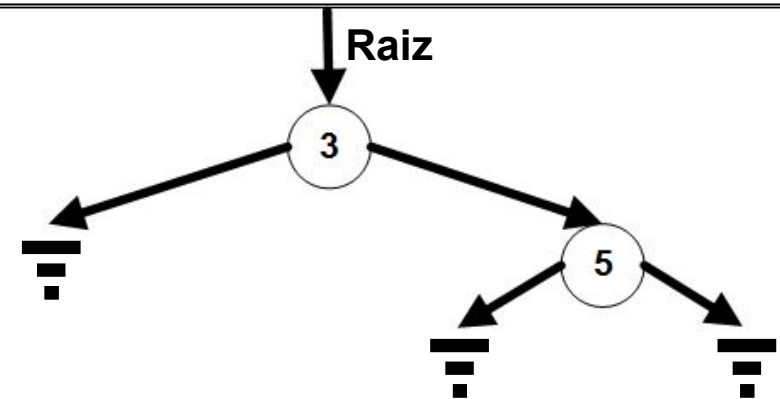
Inserção em Java com Retorno de Referência

```
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6
```

```
void inserir(int x) throws Exception {  
    raiz = inserir(x, raiz);  
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");  
    }  
    return i;  
}
```

raiz $n(3)$ \times 5



Inserção em Java com Retorno de Referência

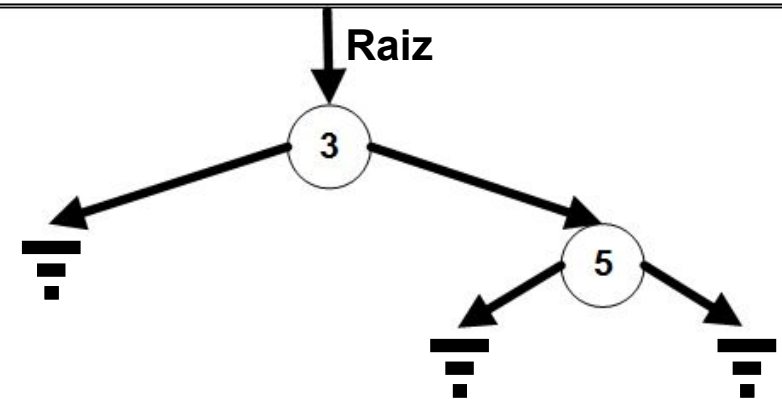
```
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6
```

```
void inserir(int x) throws Exception {  
    raiz = inserir(x, raiz);  
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");  
    }  
    return i;  
}
```

raiz

n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
```

```
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

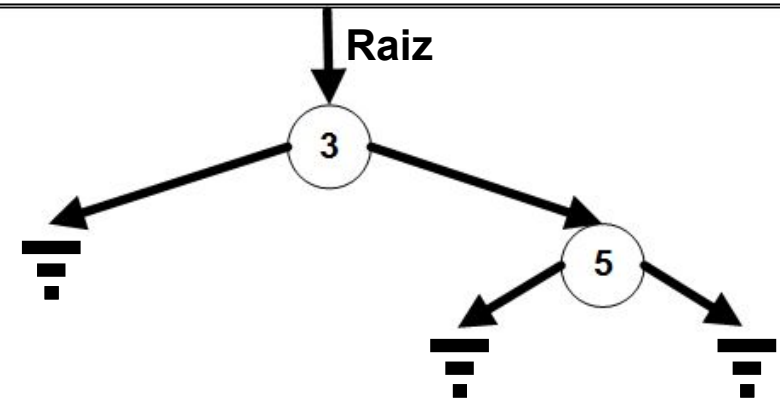
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;
```

```
}
```

raiz n(3) x 1



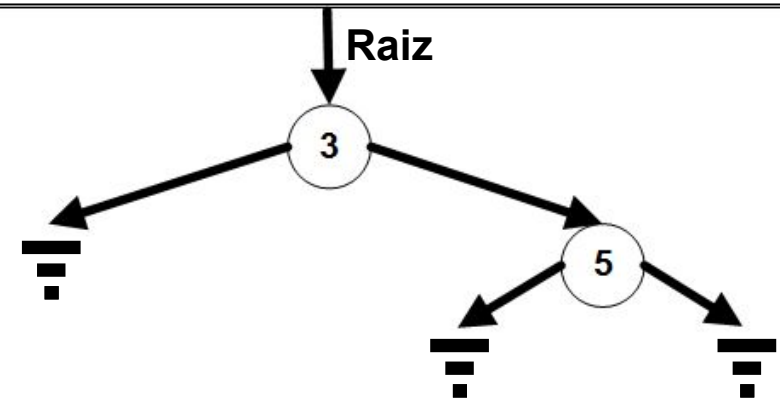
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 1



Inserção em Java com Retorno de Referência

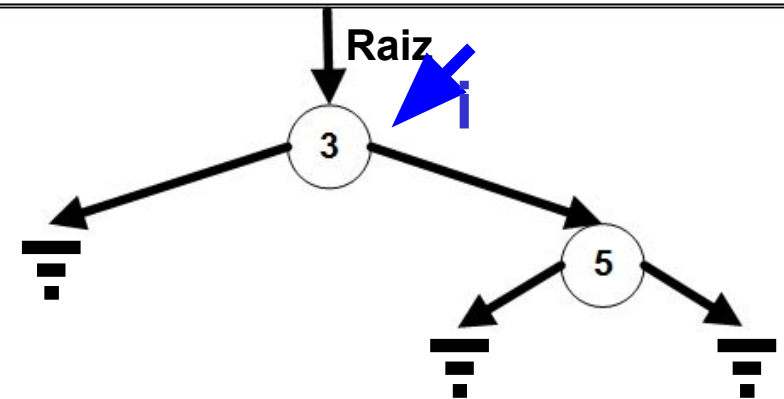
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

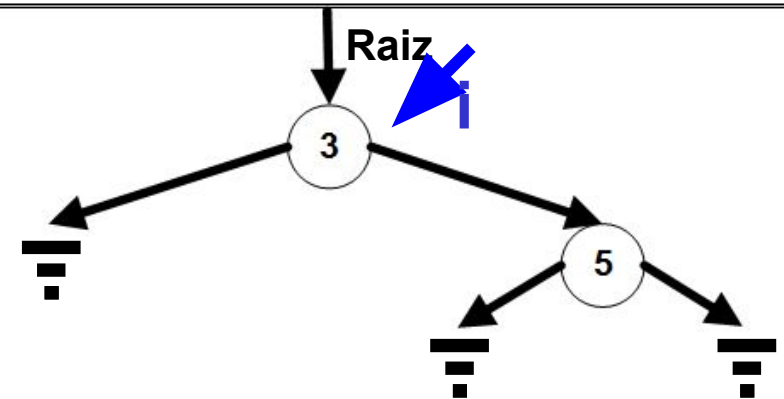
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;    false: n(3) == null
```

```
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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 {
```

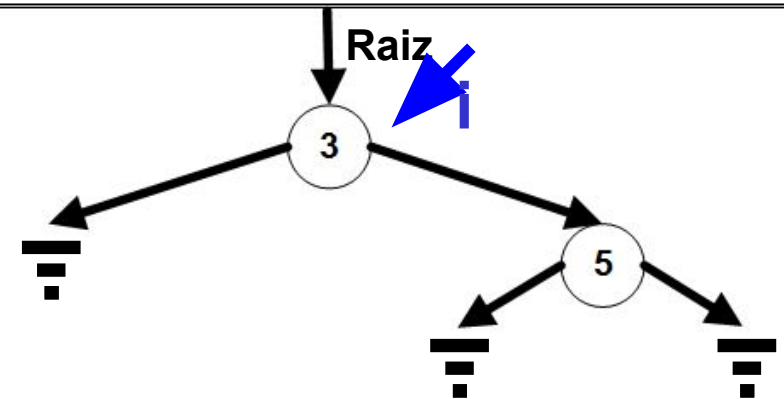
```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
    return i;    true: 1 < 3
```

```
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



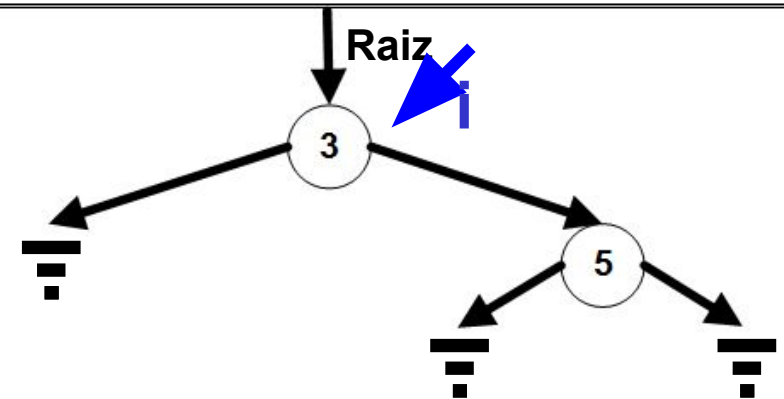
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



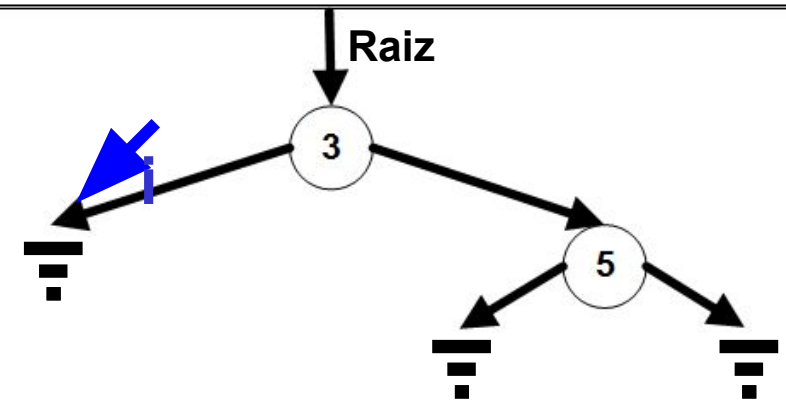
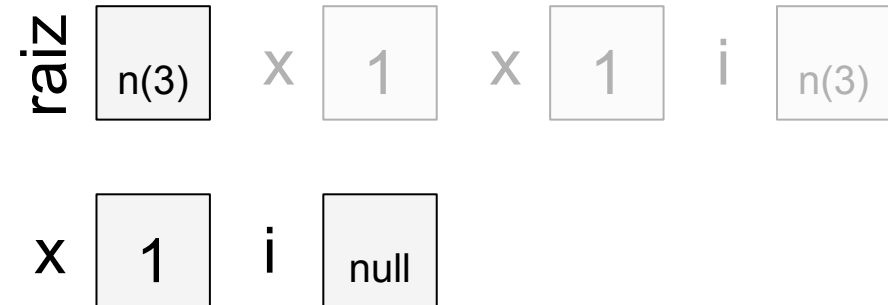
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, **1**, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```



Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
```

```
    }
```

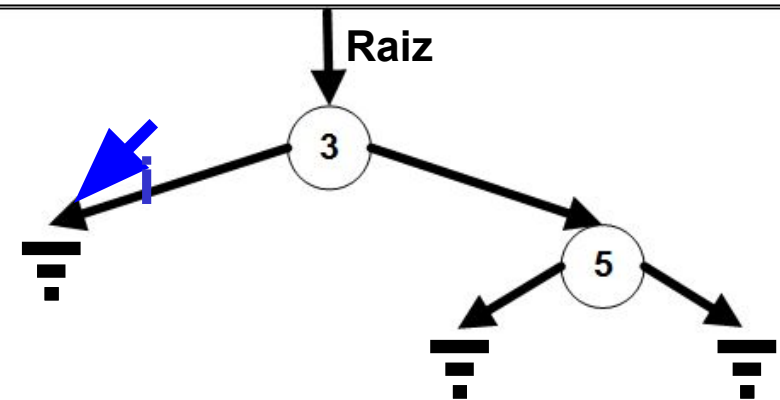
```
    return i;
```

true: null == null

```
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)

x 1 i null



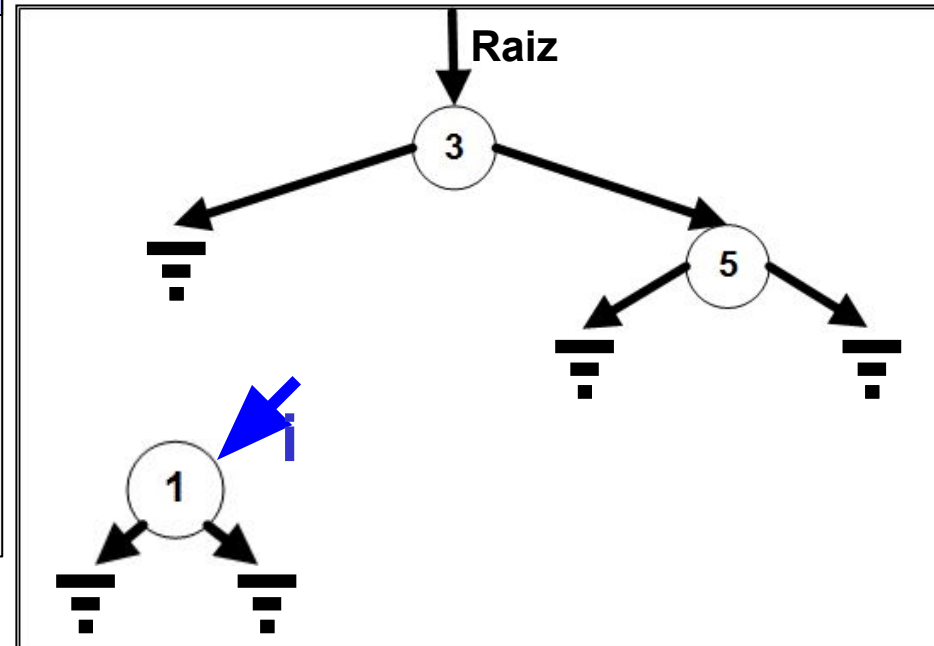
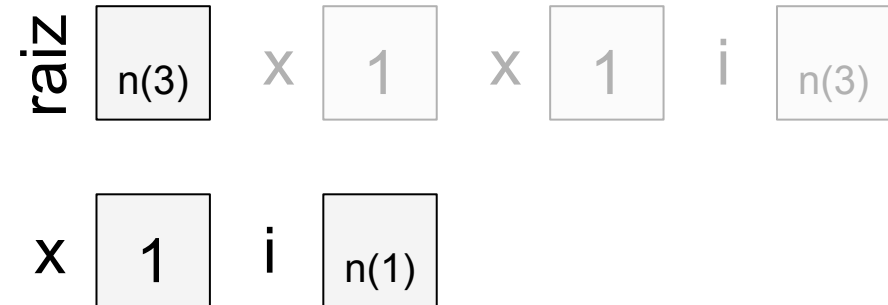
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, **1**, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```



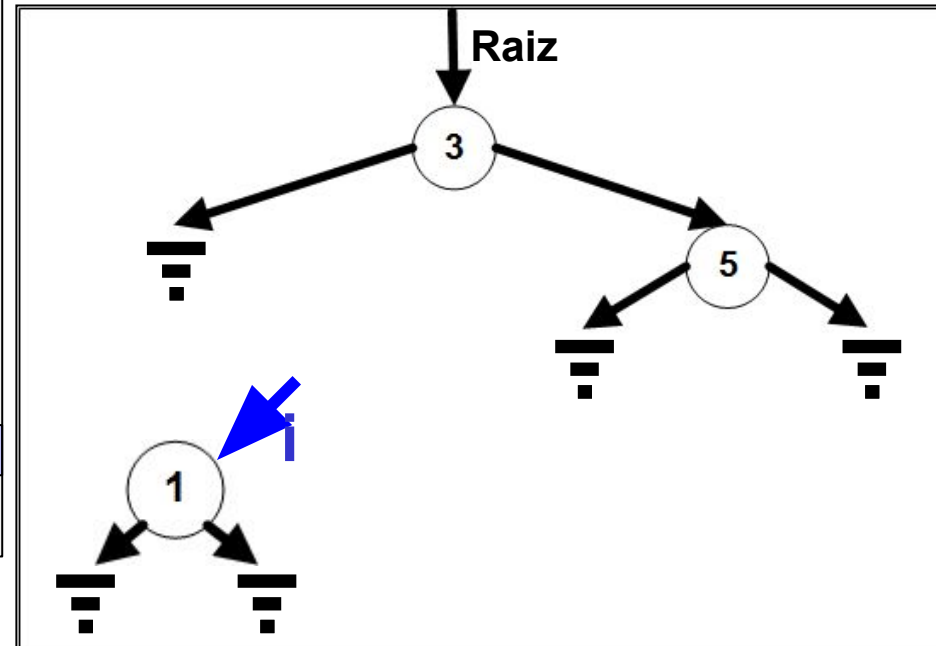
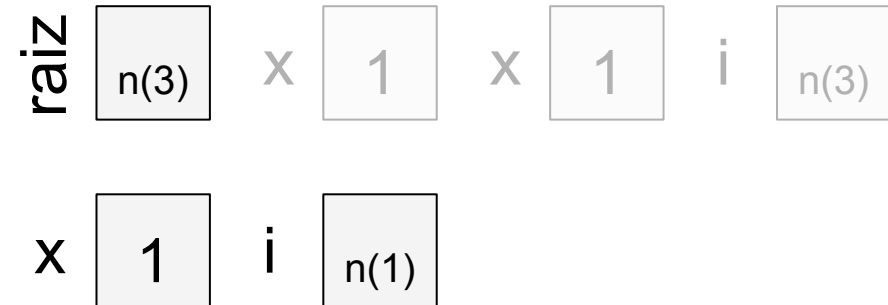
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

retorna o endereço de n(1)

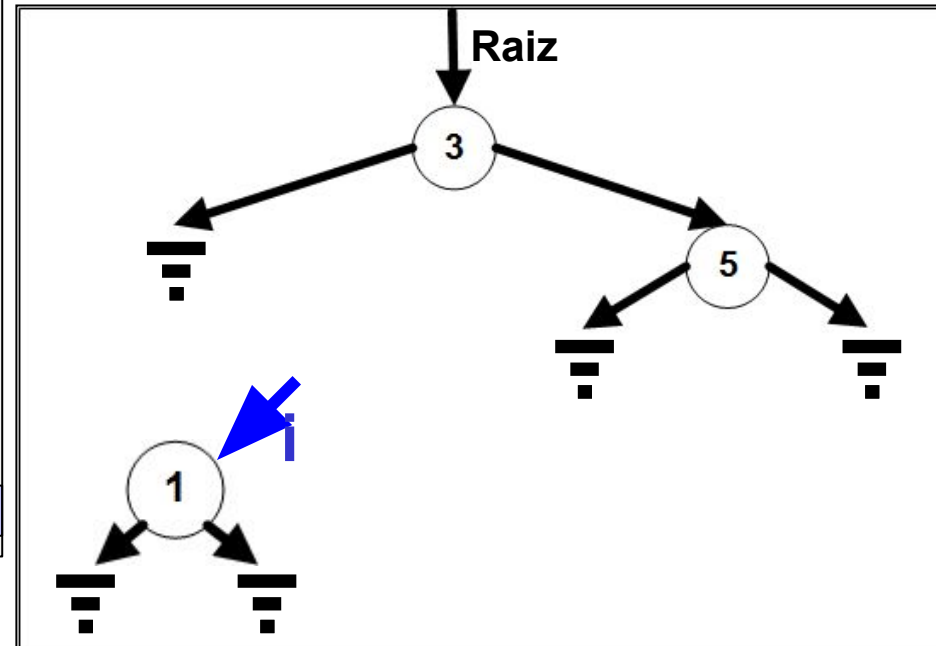
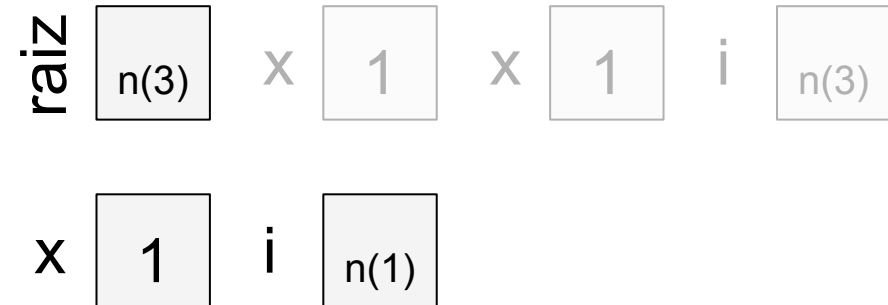


Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```



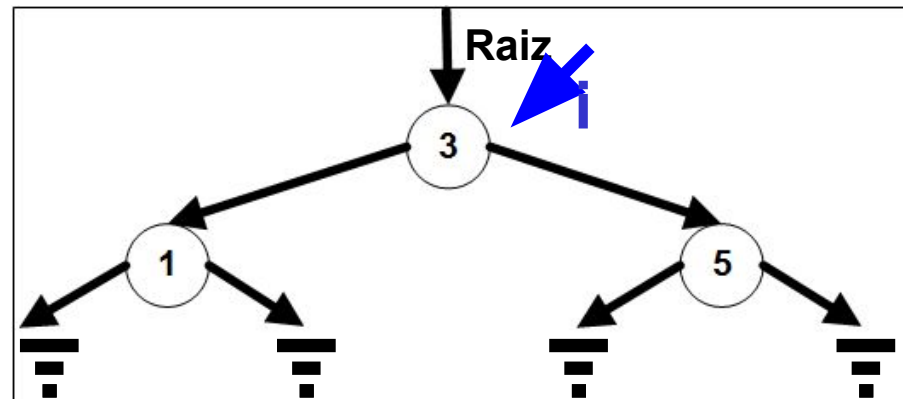
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



Inserção em Java com Retorno de Referência

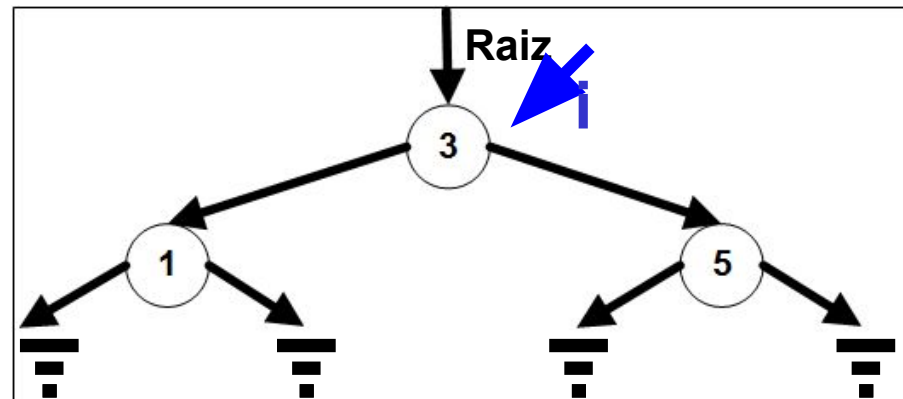
//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

retorna o endereço de n(3)

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



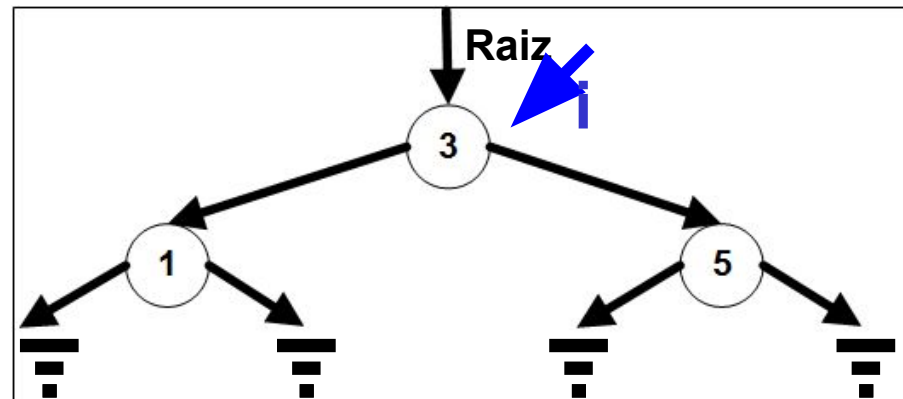
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz n(3) x 1 x 1 i n(3)



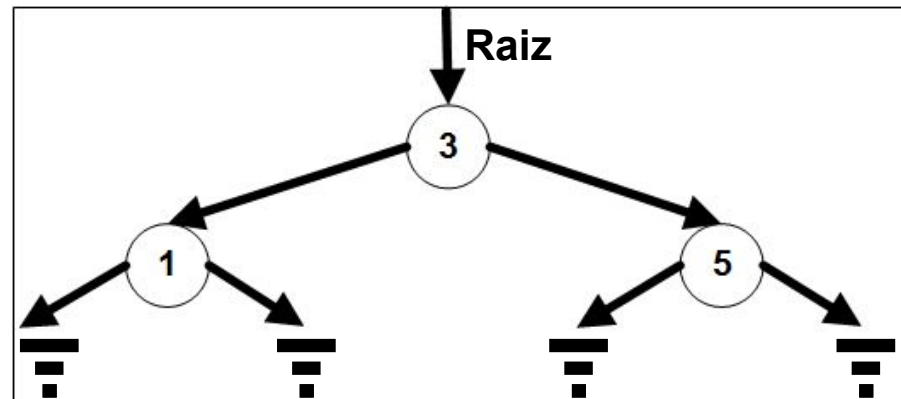
Inserção em Java com Retorno de Referência

//Inserir 3, 5, 1, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {  
    raiz = inserir(x, raiz);  
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");  
    }  
    return i;  
}
```

raiz $n(3)$ \times 1



Inserção em Java com Retorno de Referência

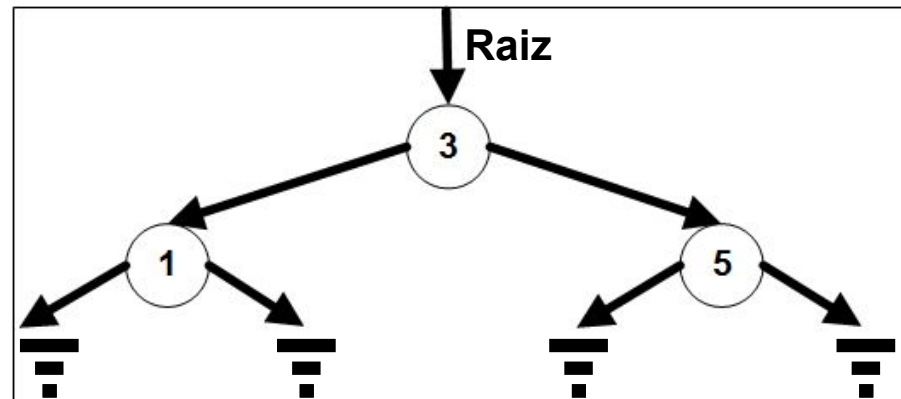
//Inserir 3, 5, **1**, 8, 2, 4, 7 e 6

```
void inserir(int x) throws Exception {
    raiz = inserir(x, raiz);
}
```

```
No inserir(int x, No i) 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!");
    }
    return i;
}
```

raiz

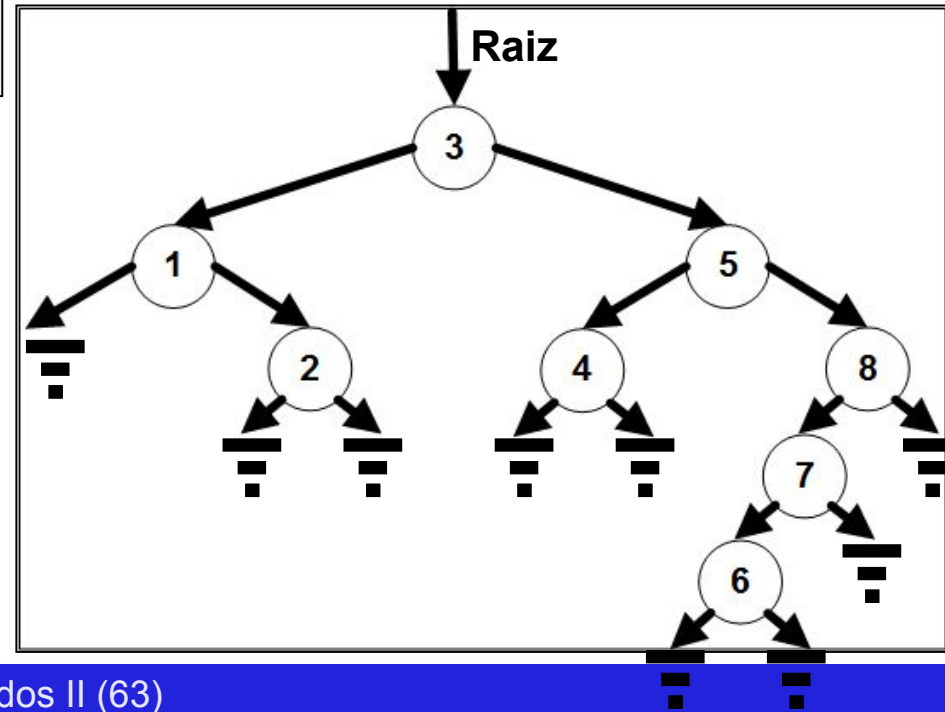
n(3)

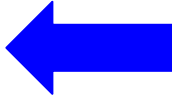


Inserção em Java com Retorno de Referência

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

Após a inserção do 8, 2, 4, 7 e 6, temos:



- Funcionamento básico
- Exemplo
- Inserção em Java com retorno de referência
- **Inserção em Java com passagem de pai** 
- Análise de complexidade

Inserção em Java com Passagem de Pai

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

raiz

null



Vamos inserir os elementos
3, 5, 1 e 8
(várias chamadas do inserir)

Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

true: null == null

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```

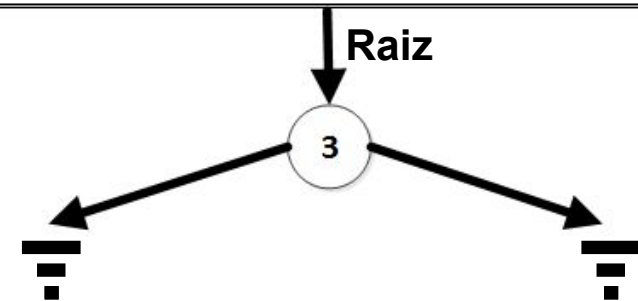


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```

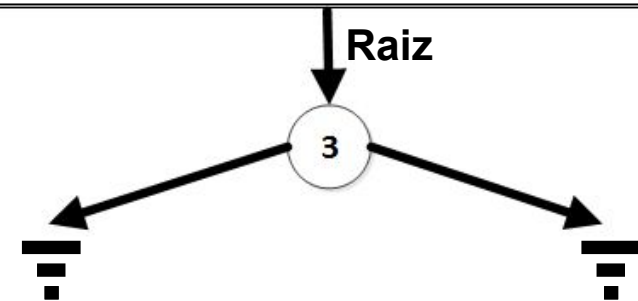


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

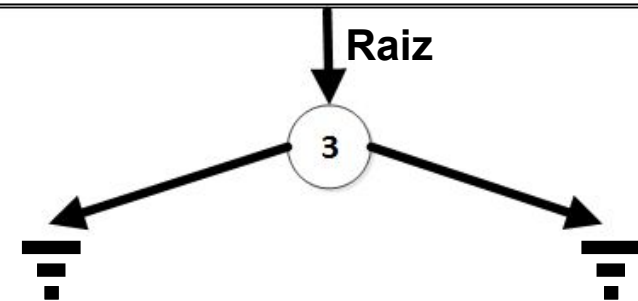
```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x) throws Exception {  
    if (raiz == null) {  
        raiz = new No(x);  
    } else if (x < raiz.elemento) {  
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);  
    } else if (x > raiz.elemento) {  
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);  
    } else {  
        throw new Exception("Erro!");  
    }  
}  
  
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {  
    ■ ■ ■  
}
```



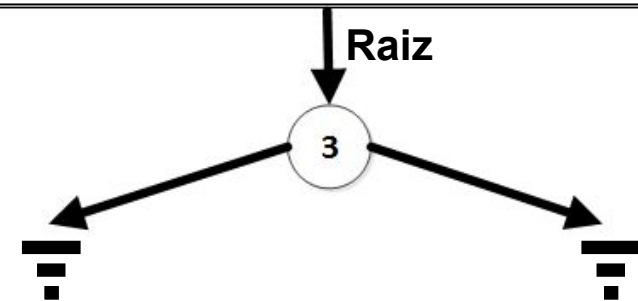
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

false: n(3) ≠ null

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



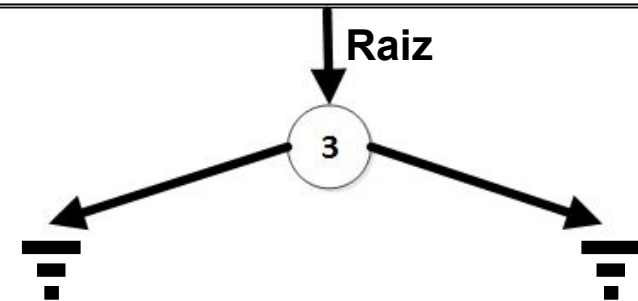
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

false: 5 < 3

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



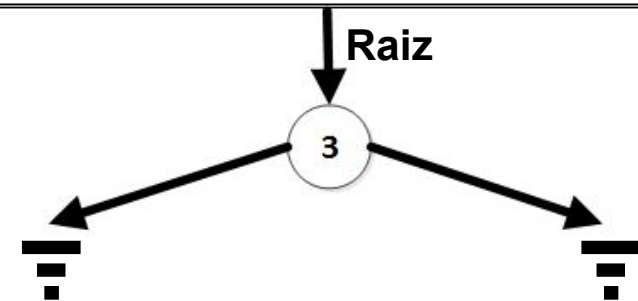
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

true: 5 > 3

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```

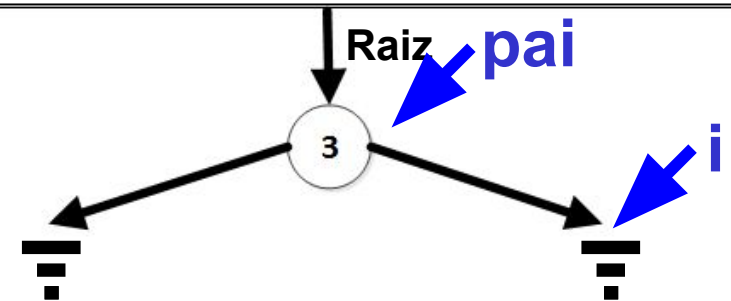


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

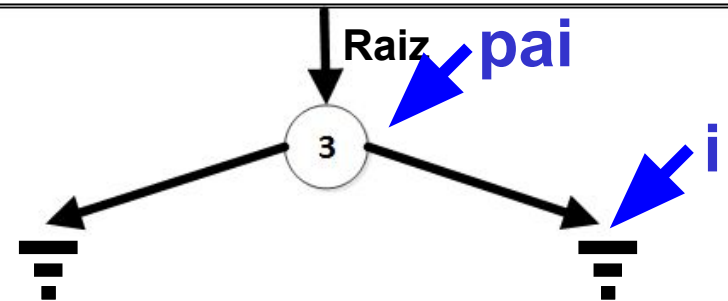
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

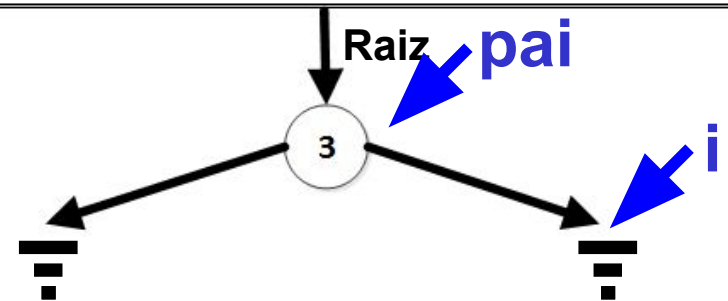


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

true: null == null

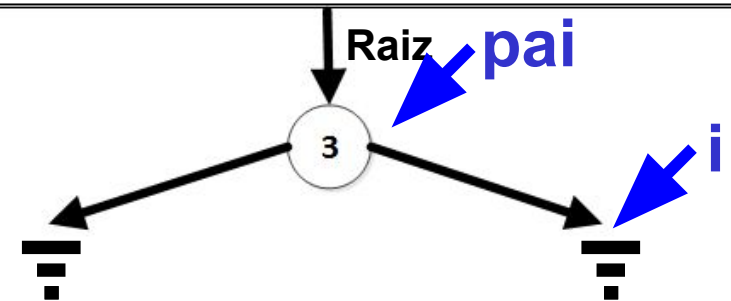


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

false: $5 < 3$

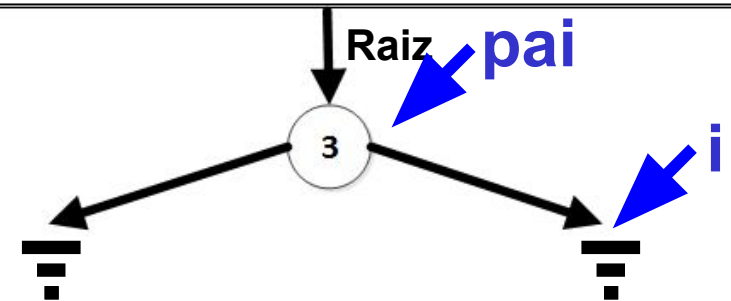


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

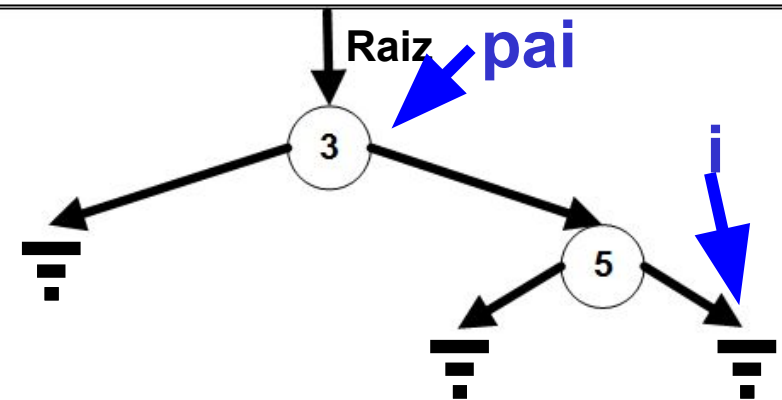
true: 5 > 3



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

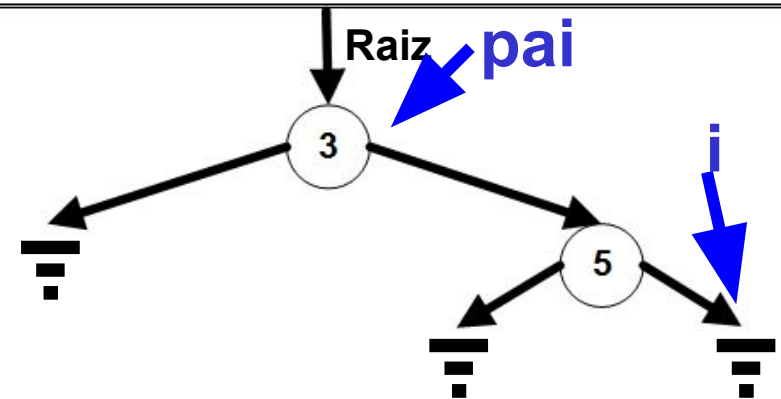
```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {  
    if (i == null) {  
        if (x < pai.elemento){  
            pai.esq = new No(x);  
        } else {  
            pai.dir = new No(x);  
        }  
    } else if (x < i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.esq, i);  
    } else if (x > i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.dir, i);  
    } else {  
        throw new Exception("Erro!");  
    }  
}
```

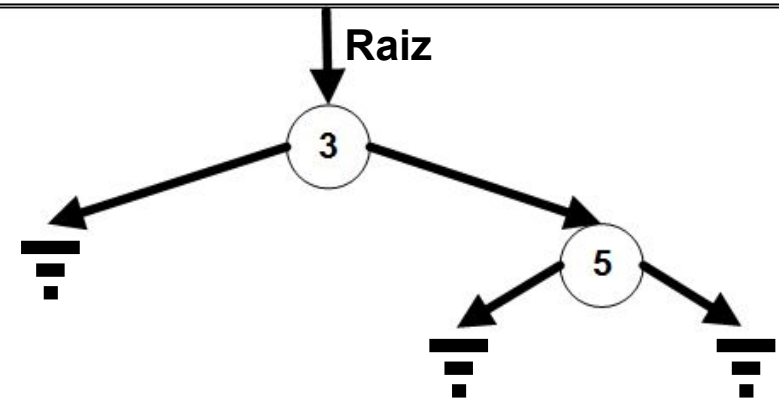


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



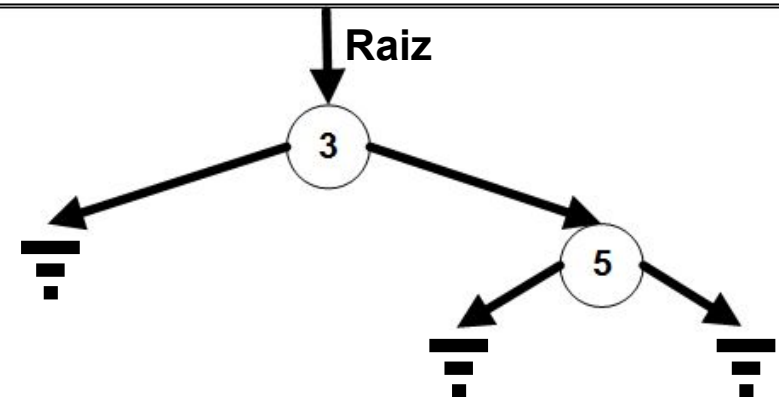
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

false: n(3) ≠ null

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



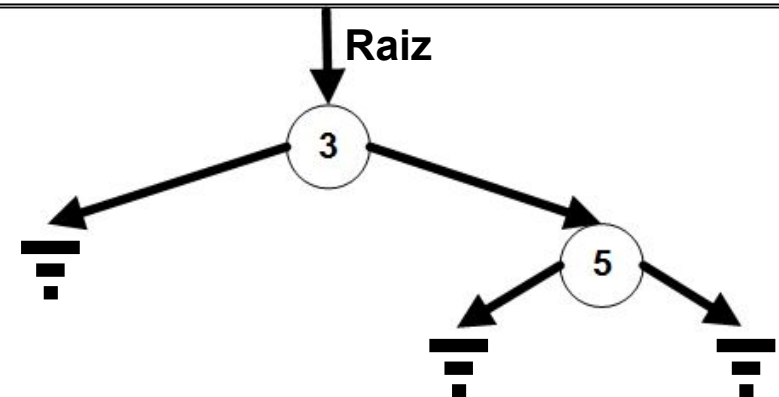
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

true: 1 < 3

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```

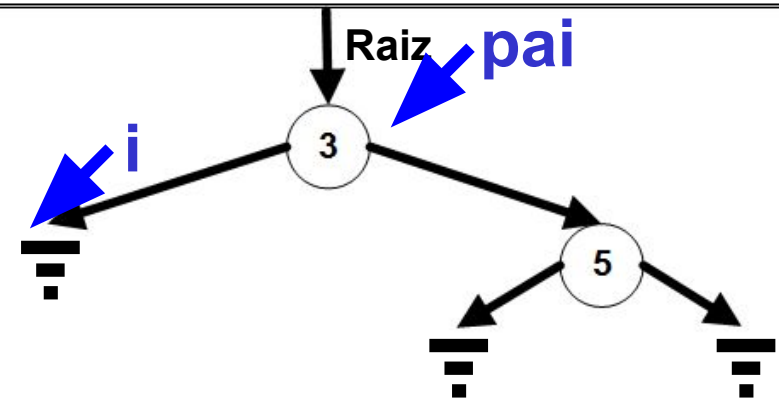


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

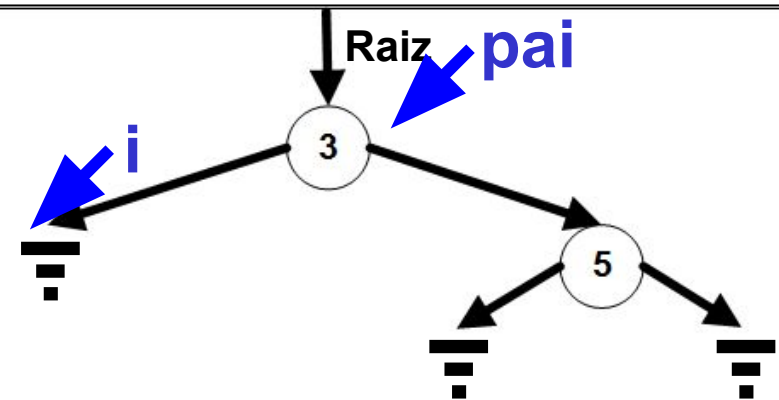
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

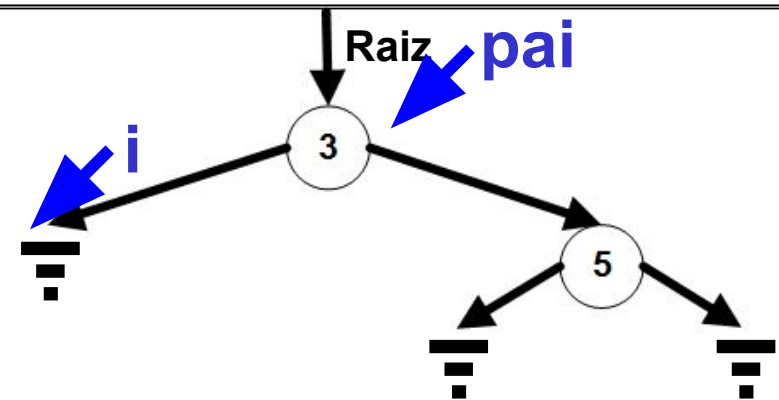


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

true: null == null

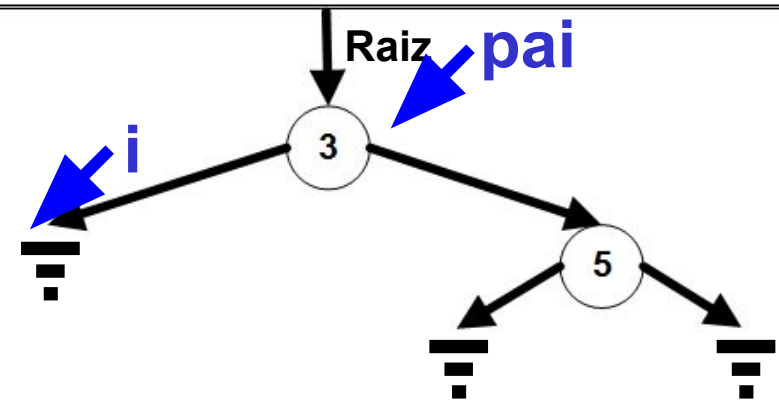


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

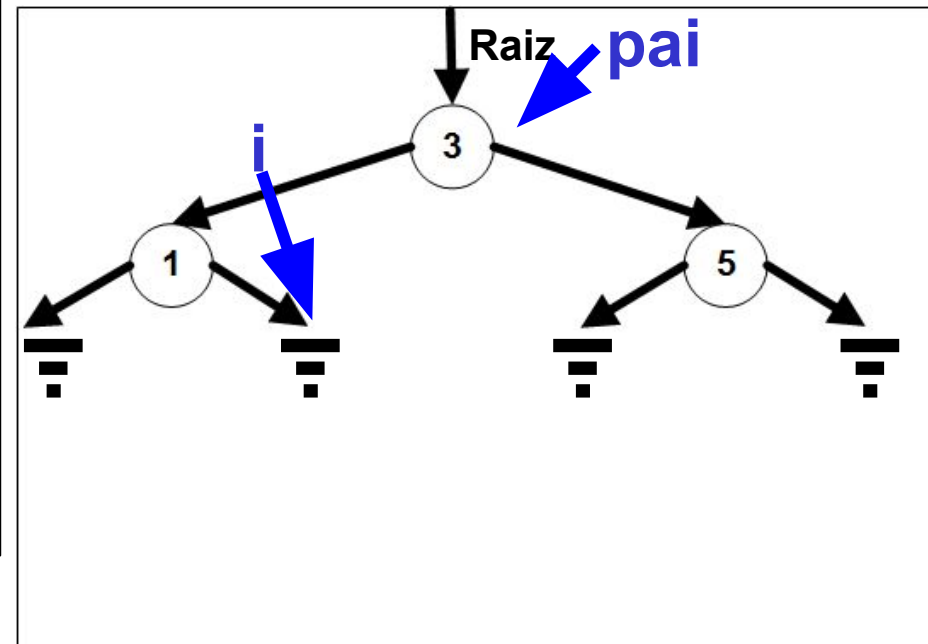
true: $1 < 3$



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

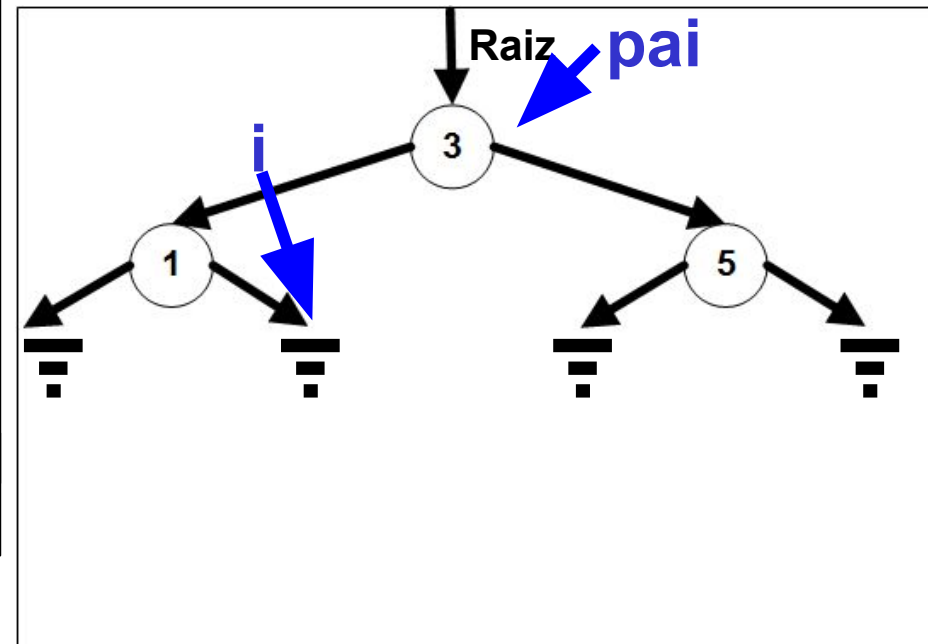
```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

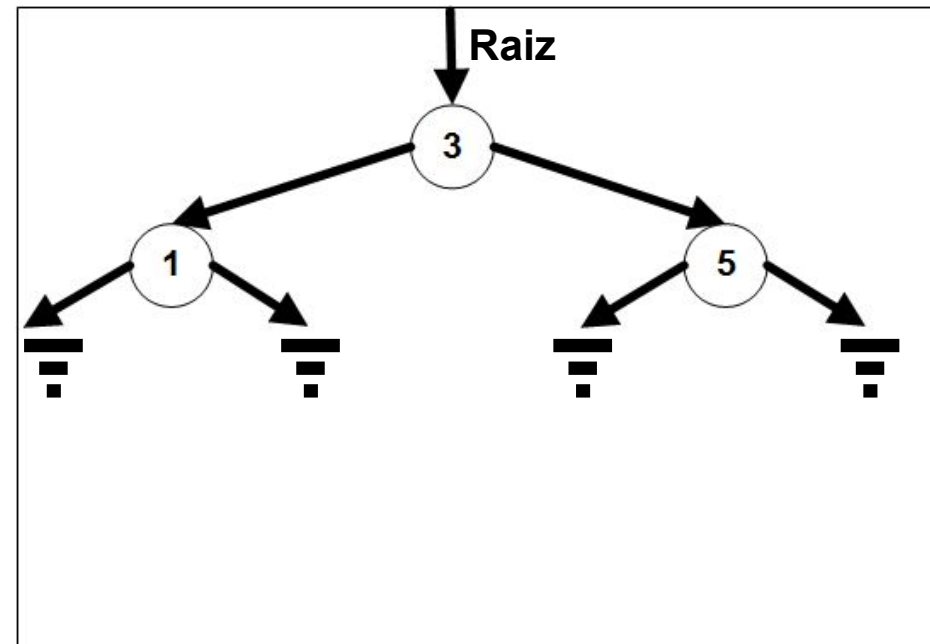


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



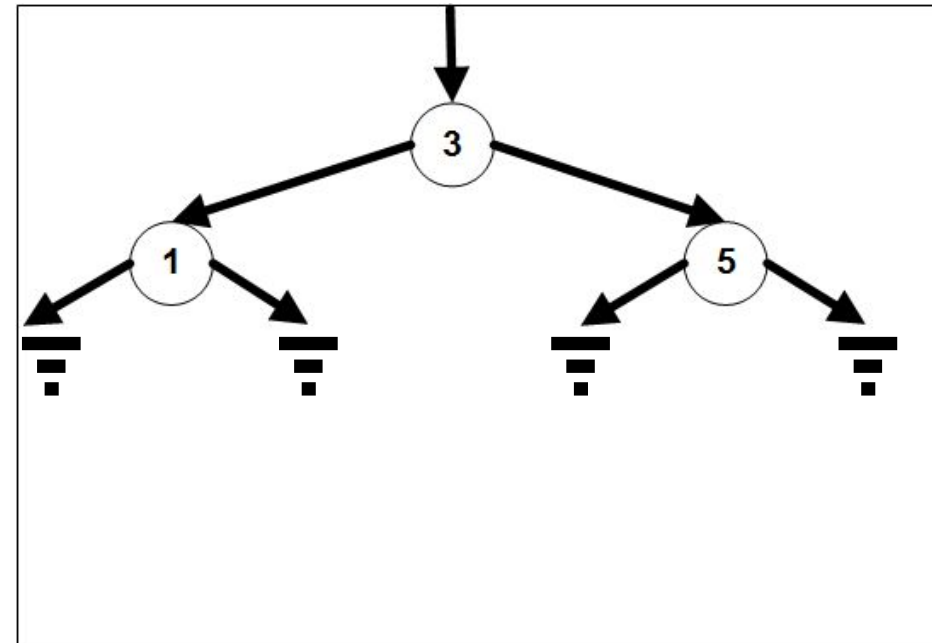
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

false: n(3) ≠ null

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



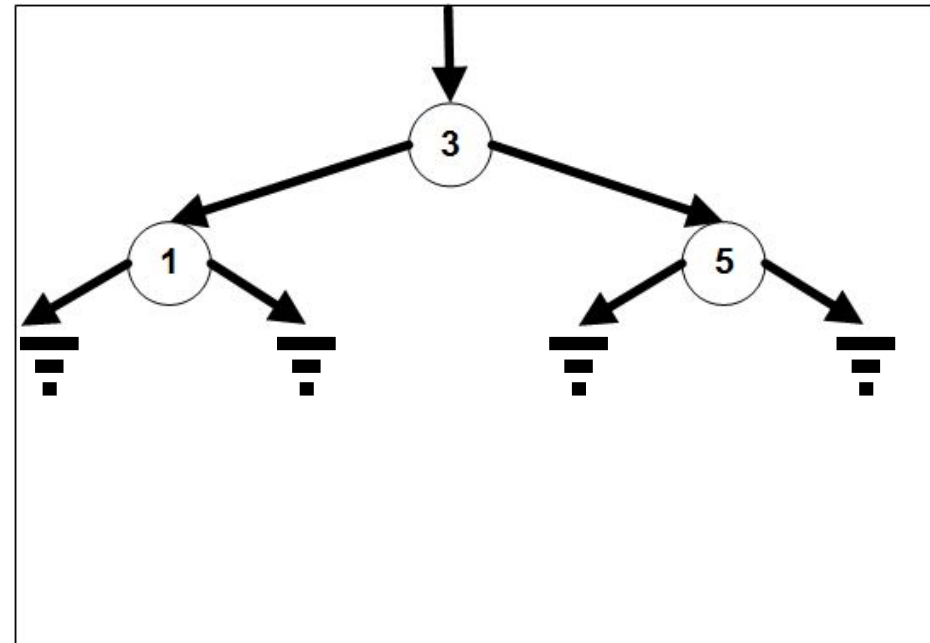
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

false: 8 < 3

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



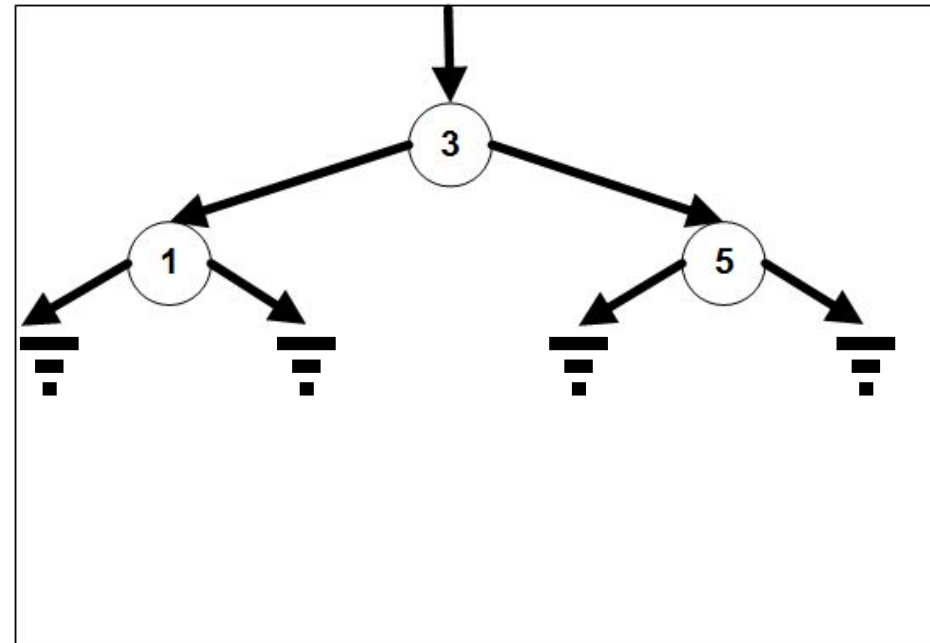
Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

true: 8 > 3

void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```

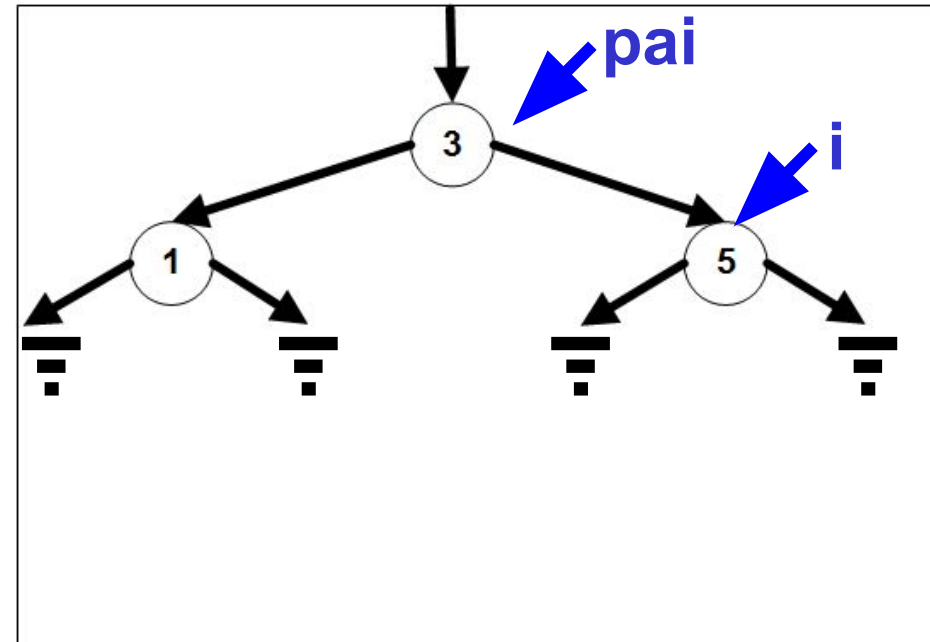


Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x) throws Exception {
    if (raiz == null) {
        raiz = new No(x);
    } else if (x < raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.esq, raiz);
    } else if (x > raiz.elemento) {
        inserirPai(x, raiz.dir, raiz);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}

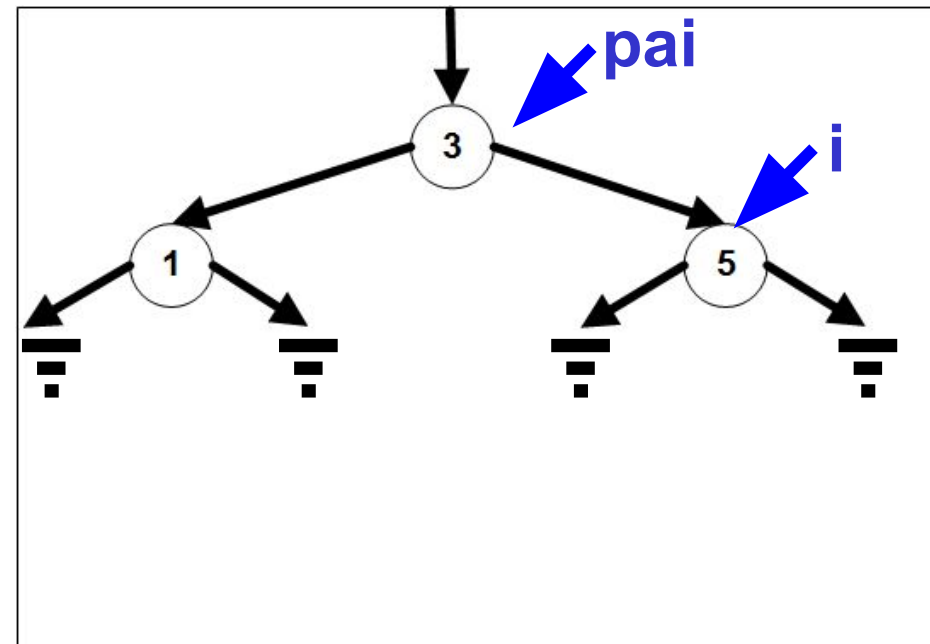
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    ■ ■ ■
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
```

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

```
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
```

```
        } else {
            pai.dir = new No(x);
```

```
        }
```

```
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
```

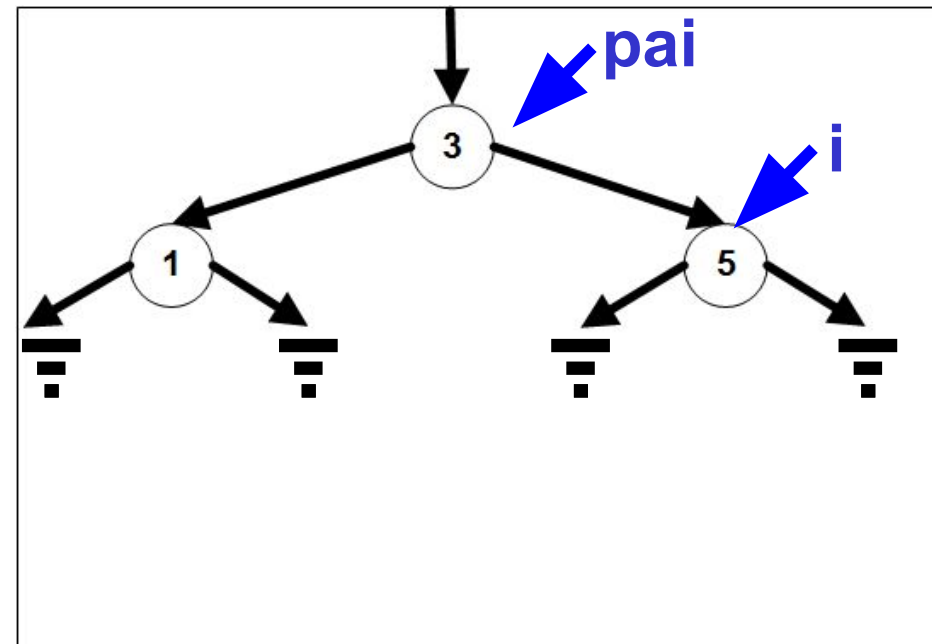
```
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
```

```
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
}
```

false: n(5) ≠ null

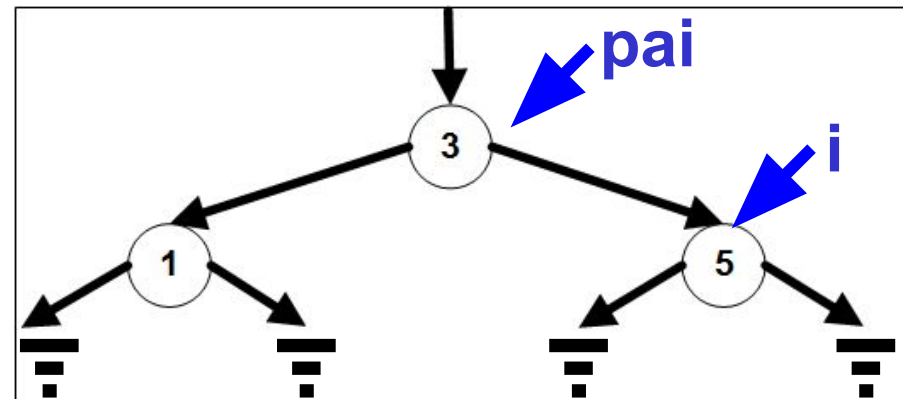


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

false: $8 < 5$

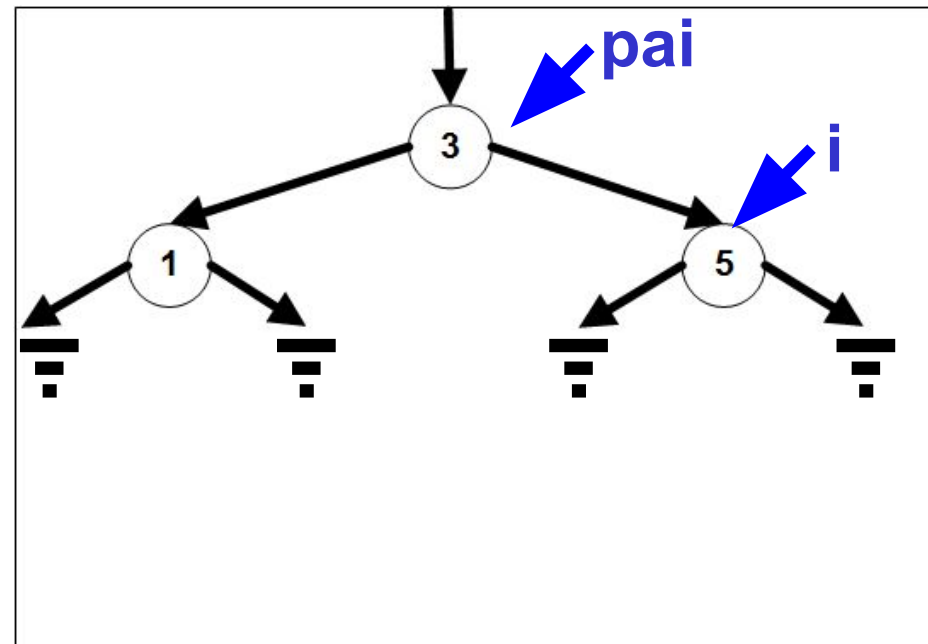


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

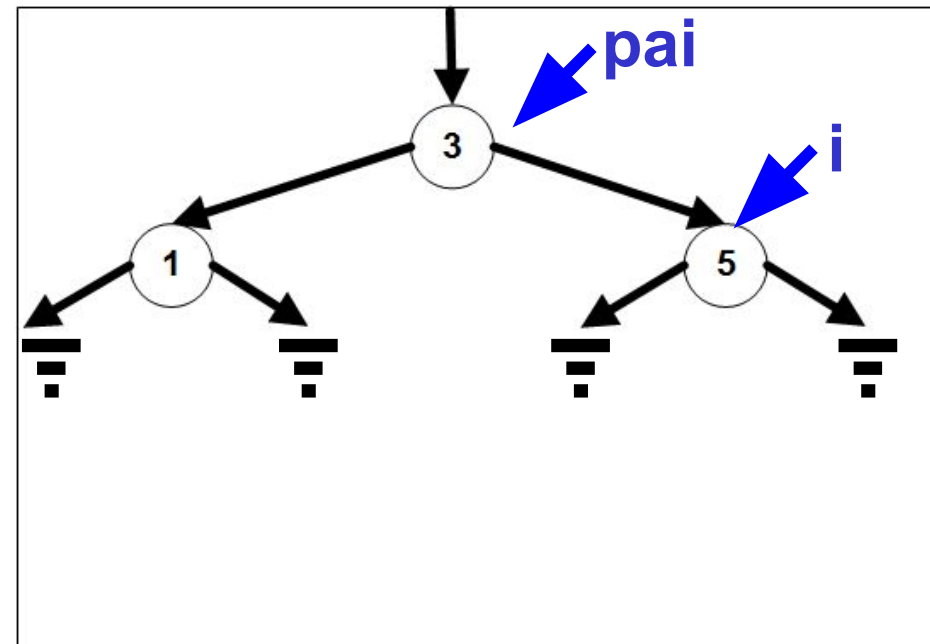
true: $8 > 5$



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento) {
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```

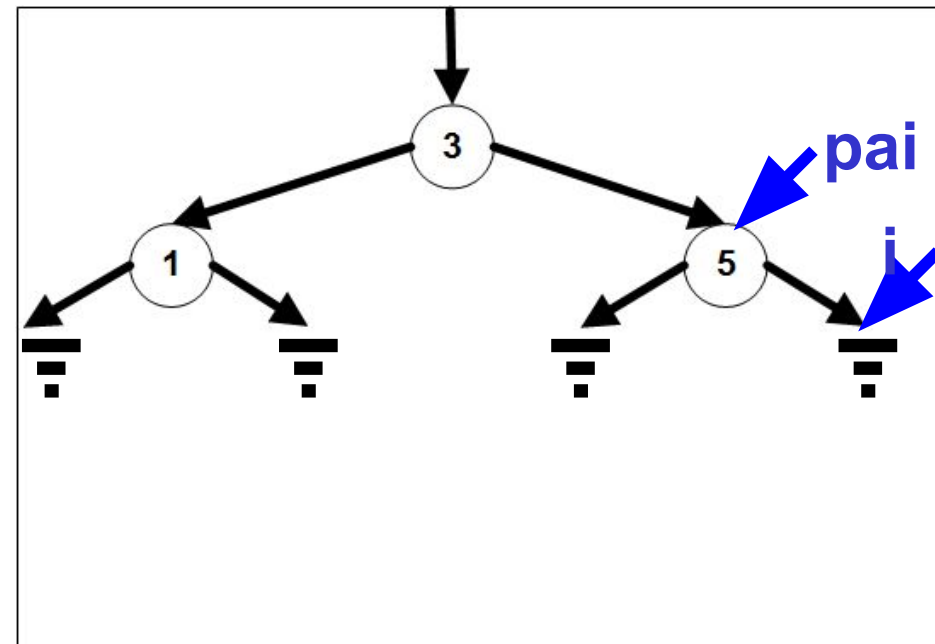


Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
```

```
    if (i == null) {  
        if (x < pai.elemento){  
            pai.esq = new No(x);  
        } else {  
            pai.dir = new No(x);  
        }  
    } else if (x < i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.esq, i);  
    } else if (x > i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.dir, i);  
    } else {  
        throw new Exception("Erro!");  
    }  
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
```

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

```
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
```

```
        } else {
            pai.dir = new No(x);
```

```
        }
```

```
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
```

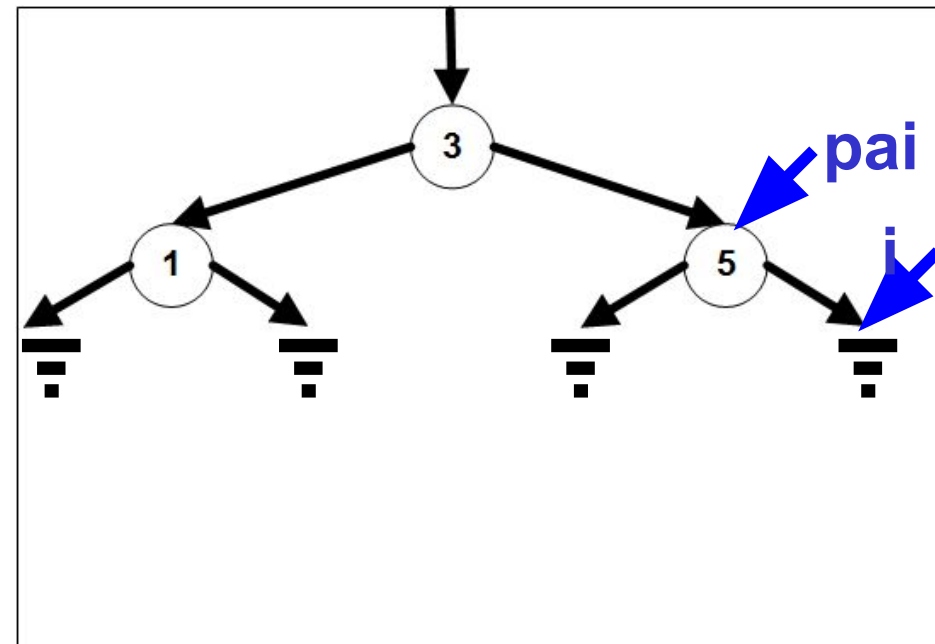
```
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
```

```
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
}
```

true: null == null



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
```

```
        if (x < pai.elemento){
```

```
            pai.esq = new No(x);
```

```
        } else {
```

```
            pai.dir = new No(x);
```

```
        }
```

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

```
        inserirPai(x, i.esq, i);
```

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

```
        inserirPai(x, i.dir, i);
```

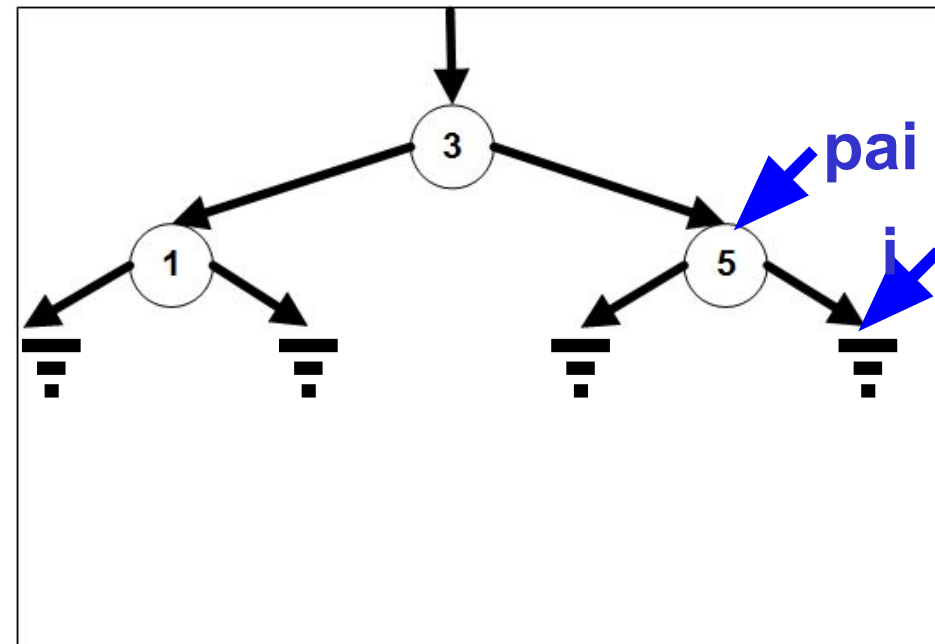
```
    } else {
```

```
        throw new Exception("Erro!");
```

```
    }
```

```
}
```

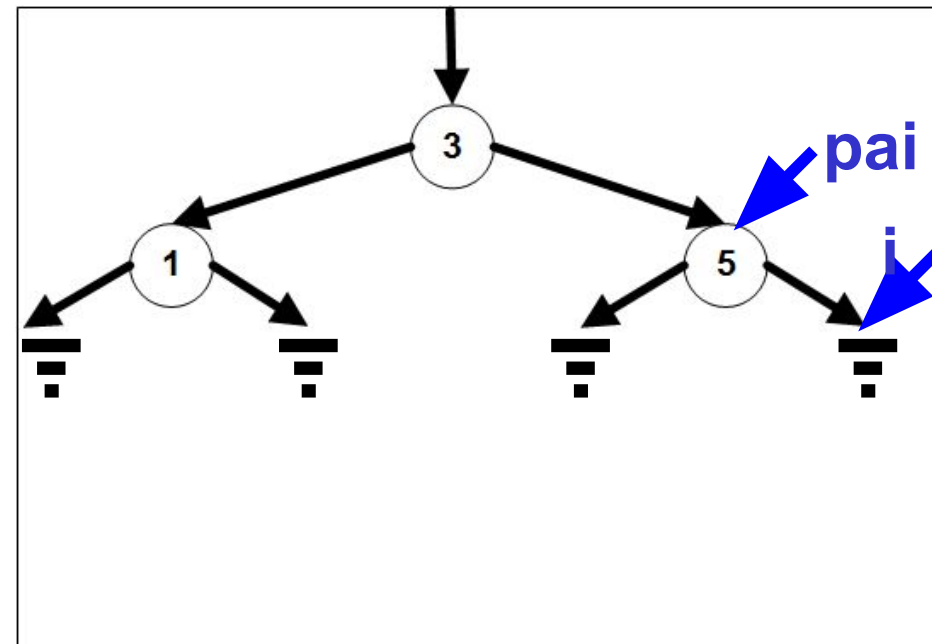
false: $8 < 5$



Inserção em Java com Passagem de Pai

```
//Inserir 3, 5, 1, 8
```

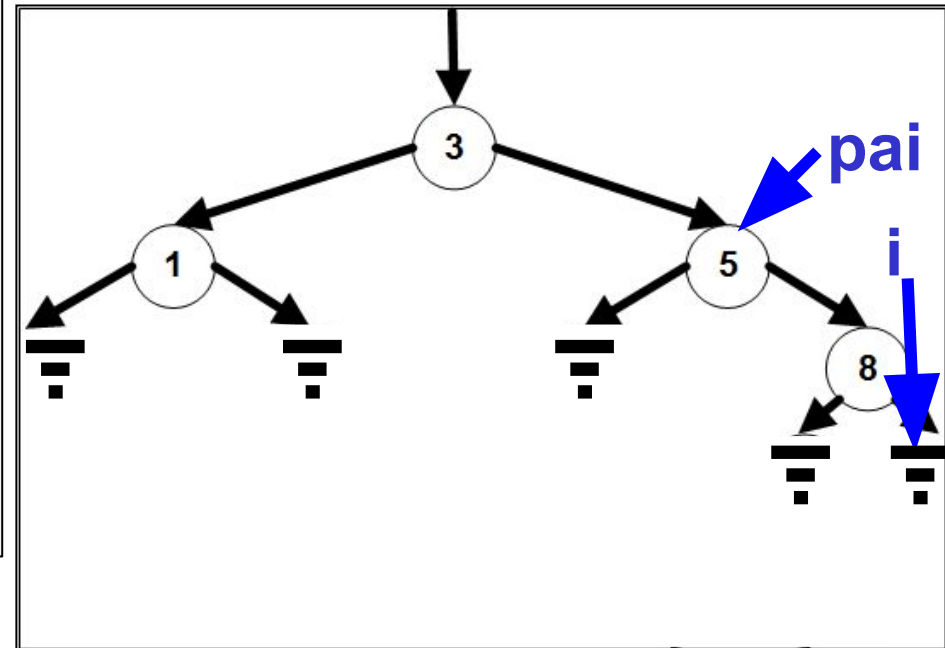
```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    } else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```



Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

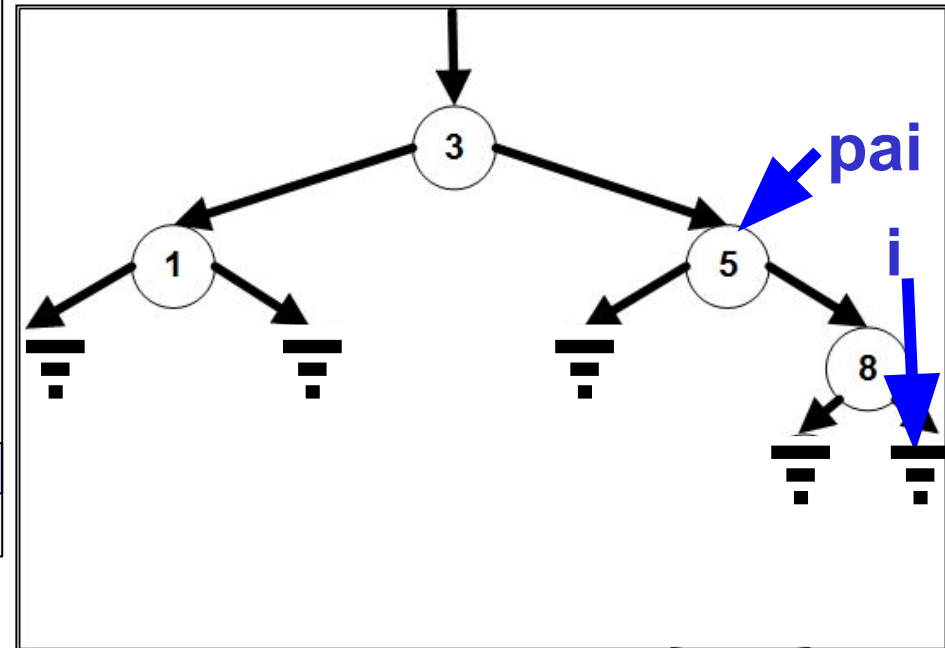
```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {  
    if (i == null) {  
        if (x < pai.elemento){  
            pai.esq = new No(x);  
        } else {  
            pai.dir = new No(x);  
        }  
    } else if (x < i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.esq, i);  
    } else if (x > i.elemento) {  
        inserirPai(x, i.dir, i);  
    } else {  
        throw new Exception("Erro!");  
    }  
}
```




Inserção em Java com Passagem de Pai

//Inserir 3, 5, 1, 8

```
void inserirPai(int x, No i, No pai) throws Exception {
    if (i == null) {
        if (x < pai.elemento){
            pai.esq = new No(x);
        } else {
            pai.dir = new No(x);
        }
    }
    else if (x < i.elemento) {
        inserirPai(x, i.esq, i);
    } else if (x > i.elemento) {
        inserirPai(x, i.dir, i);
    } else {
        throw new Exception("Erro!");
    }
}
```



- Funcionamento básico
- Exemplo
- Inserção em Java com retorno de referência
- Inserção em Java com passagem de pai
- **Análise de complexidade** 

Análise de Complexidade da Inserção

- **Melhor Caso:** $\Theta(1)$ comparações e acontece, por exemplo, inserindo na raiz
- **Pior Caso:** $\Theta(n)$ comparações e acontece, por exemplo, quando inserimos os elementos na ordem crescente ou decrescente
- **Caso Médio:** $\Theta(\lg(n))$ comparações e acontece, por exemplo, quando inserimos um elemento na folha de uma árvore balanceada. Lembrando que a altura da árvore balanceada é $\Theta(\lg(n))$

Análise de Complexidade da Inserção

- **Melhor Caso:** $\Theta(1)$ comparações e acontece, por exemplo, inserindo na raiz
- **Pior Caso:** $\Theta(n)$ comparações e acontece, por exemplo, quando inserimos os elementos na ordem crescente ou decrescente
- **Caso Médio:** $\Theta(\lg(n))$ comparações e acontece, por exemplo, quando inserimos um elemento na folha de uma árvore balanceada. Lembrando que a altura de uma árvore balanceada é $\Theta(\lg(n))$

Observação (1): Dependência do formato da árvore

Observação (2): Na inserção aleatória $\approx 1,39 \times \lg(n)$ comparações