

#### Estrutura de Dados II

Prof. Me. Pietro M. de Oliveira



#### Heapsort





Estrutura de dados muito comum na implementação de <u>filas de prioridade</u>

- Agrupar elementos nos quais cada um tem maior ou menor importância
- Inserir elementos a qualquer instante e em qualquer posição, de acordo com a prioridade
- Remoção apenas no elemento de maior prioridade
   Heap: permite inserção e remoção em tempo logarítmico (muito eficiente)
- "Transformação" de um "vetor linear" em uma "árvore binária"



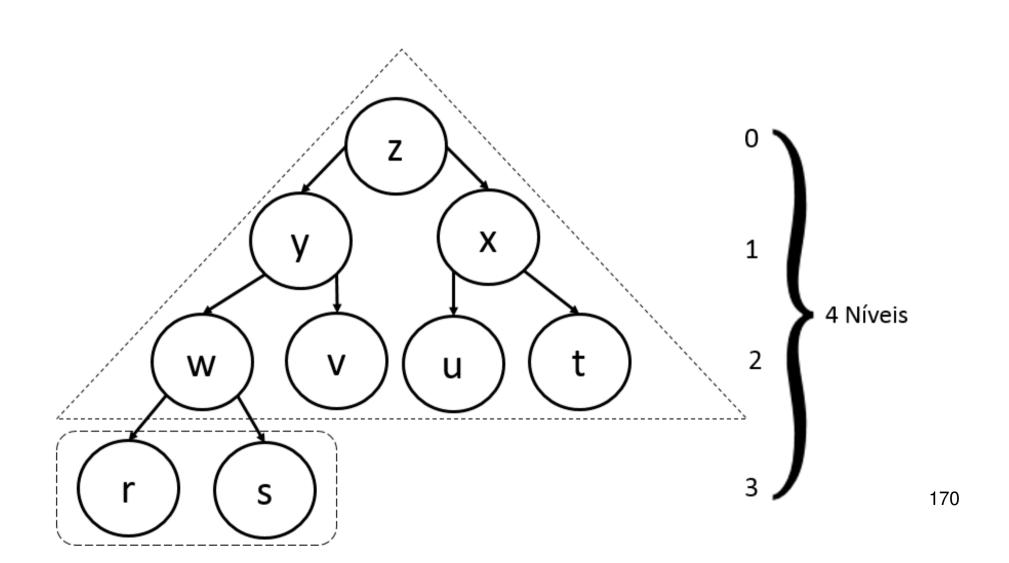


**<u>Definição</u>**: *heap* é uma árvore binária com propriedades adicionas

- N níveis, de 0 a N-1
- Árvore completa até, pelo menos, o nível N-2 (completa até o penúltimo nível)
- Nós no nível N-1 (último) devem estar "tão à esquerda quanto possível"
- Heap Máxima (max-heap): um nó pai sempre é maior ou igual aos seus filhos
- Heap Minima (min-heap): um nó pai sempre é menor ou igual aos seus filhos









Para evitar a utilização de alocação dinâmica e memória auxiliar:

$$F_e = P*2 + 1$$

$$F_d = P*2 + 2$$

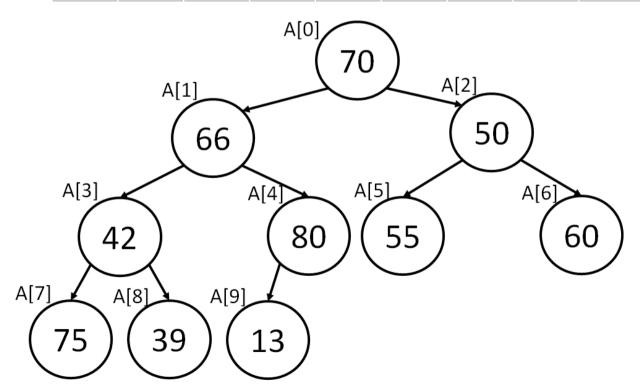
Considere o seguinte conjunto de dados armazenados em um vetor *A*:

A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	70	66	50	42	80	55	60	75	39	13



Aplicando-se as fórmulas, teríamos algo como:

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A[i]	70	66	50	42	80	55	60	75	39	13







#### 1. Formatar o vetor como uma heap

- ConstroiHeap() → Heapifica(): nós "não-folha"
- Assumir a seguinte consideração:
  - Porções iniciais: porção do vetor "desordenado" (dentro da heap)
  - Porções finais: porção vetor "ordenado" (fora da heap)
- 2. O maior elemento da porção "desordenada": raiz
  - Para ordenar esse elemento basta troca-lo para a última posição da porção desordenada: porção desordenada diminui & porção ordenada cresce em tamanho.
- 3. Heap "estragada" (pela troca da raiz): Heapifica()





#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)



Vetor de tamanho

TAM cujas

posições vão de 0

a TAM-1 (fim)





```
Heapifica (arranjo A, fim, i)
1. e \leftarrow 2^*i + 1
```

- 2.  $d \leftarrow 2^*i + 2$
- 3. Se *e* ≤ *fim* e *A[e]* > *A[i]* então
- 4.  $maior \leftarrow e$
- 5. Senão
- 6.  $maior \leftarrow i$
- 7. Se *d* ≤ *fim* e *A[d]* > *A[maior]* então
- 8.  $maior \leftarrow d$
- 9. Se *maior* ≠ *i* então
- 10. troca *A[i]* ↔ *A[maior]*
- 11. Heapifica(A, fim, maior)



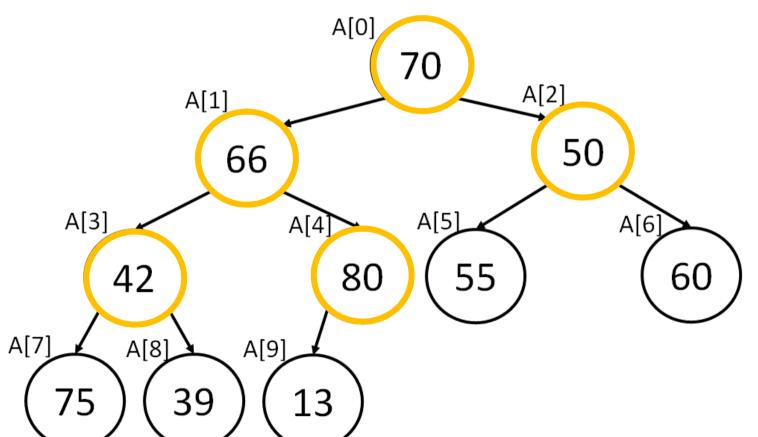
# Primeira Etapa: Formatando o vetor como uma Heap

Heapifica() + ConstroiHeap()



#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

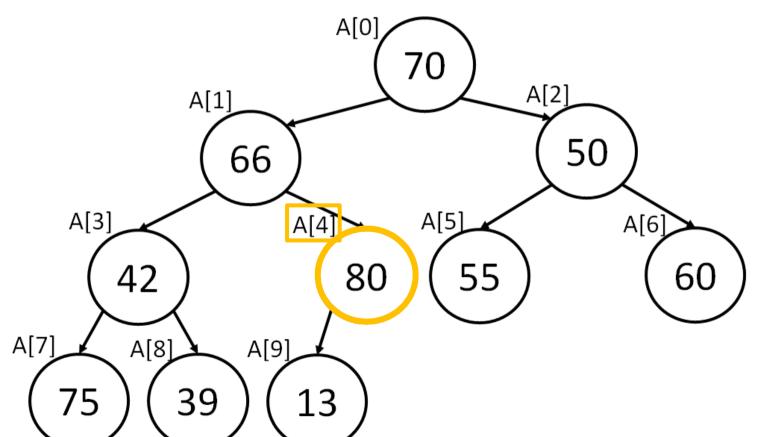






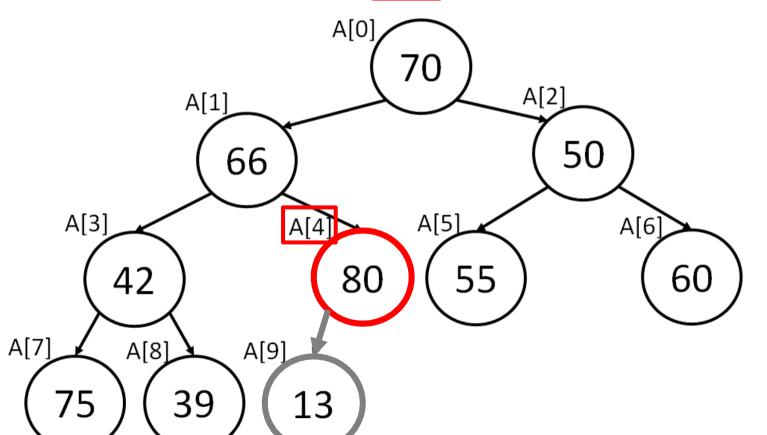
### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()



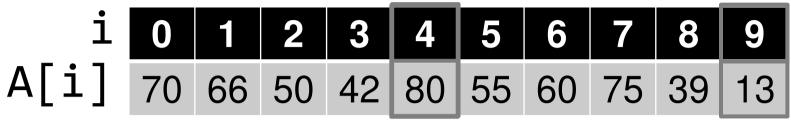


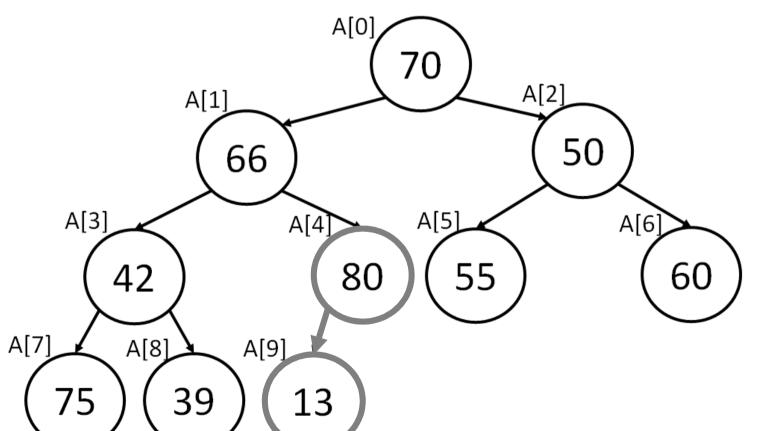






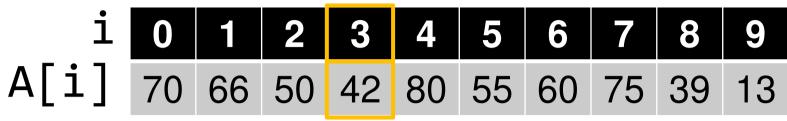


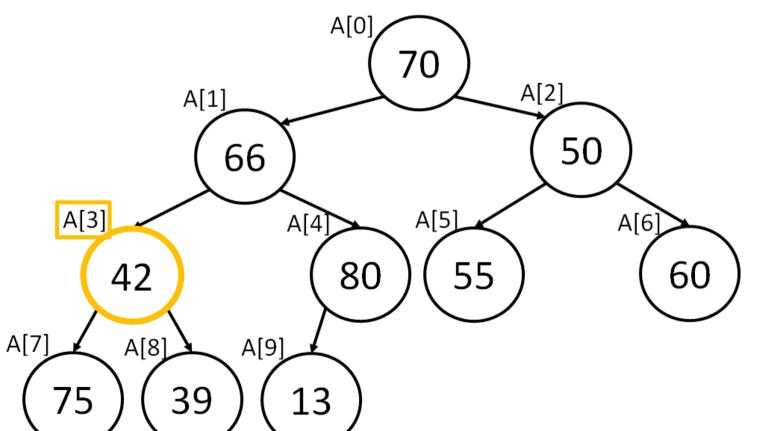




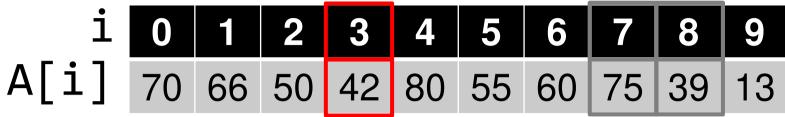


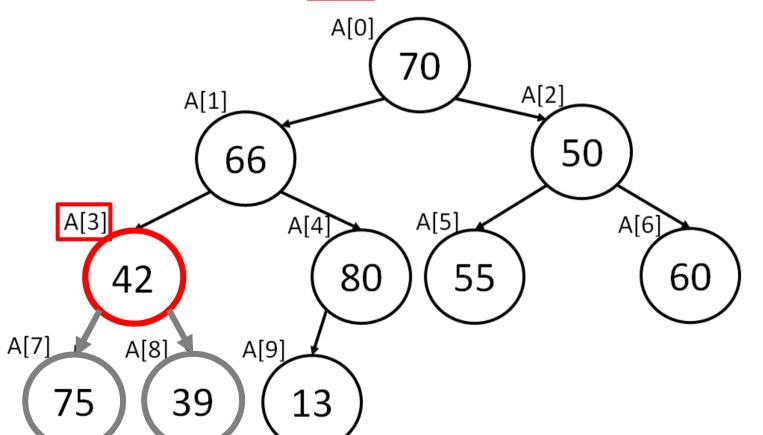
### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()





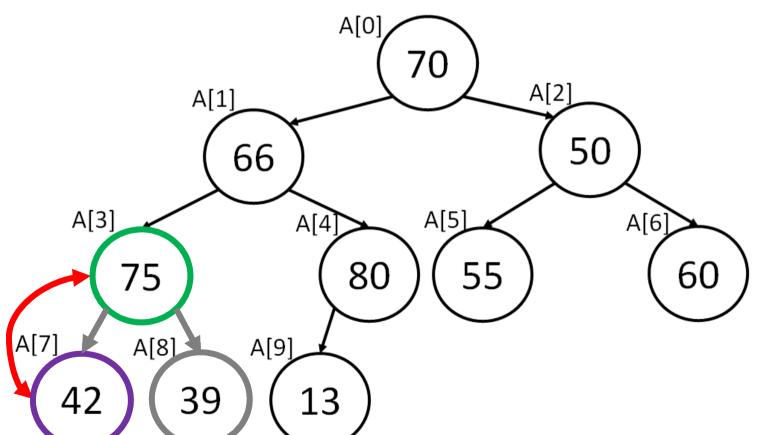




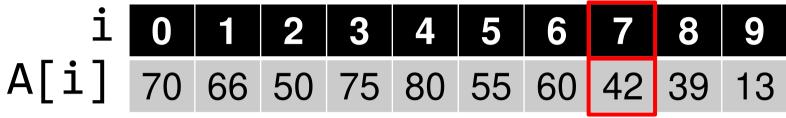


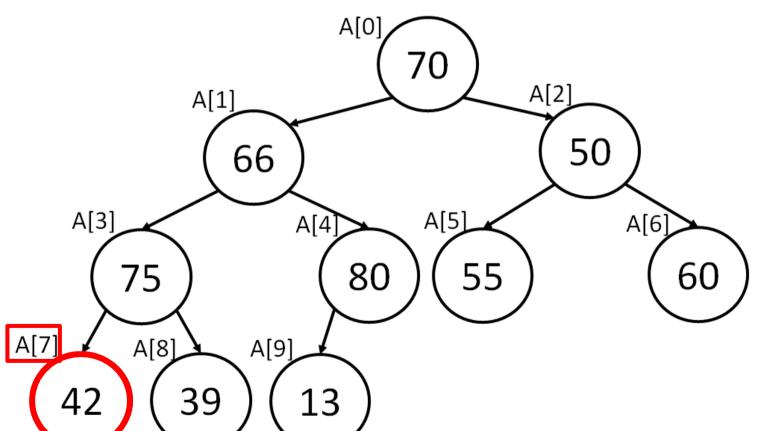




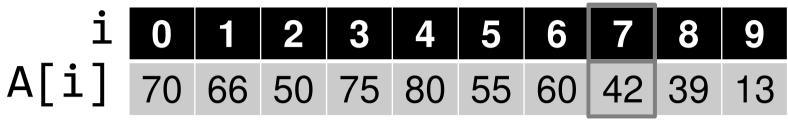


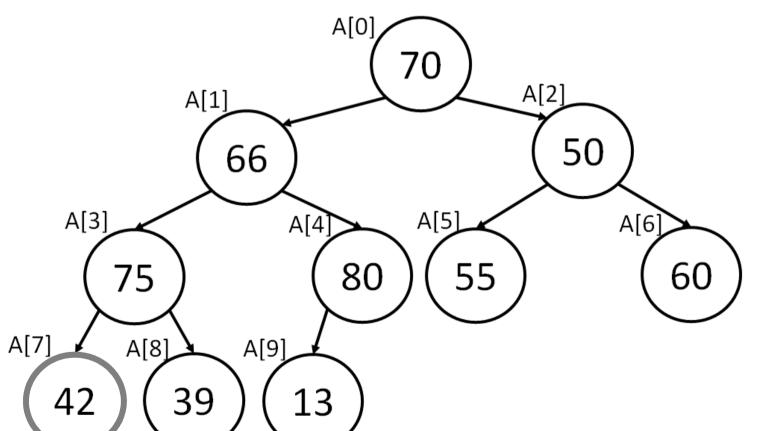






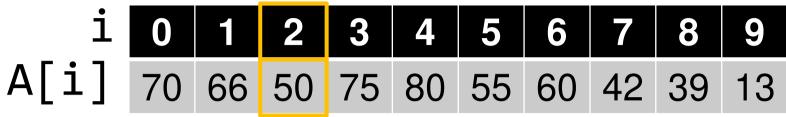


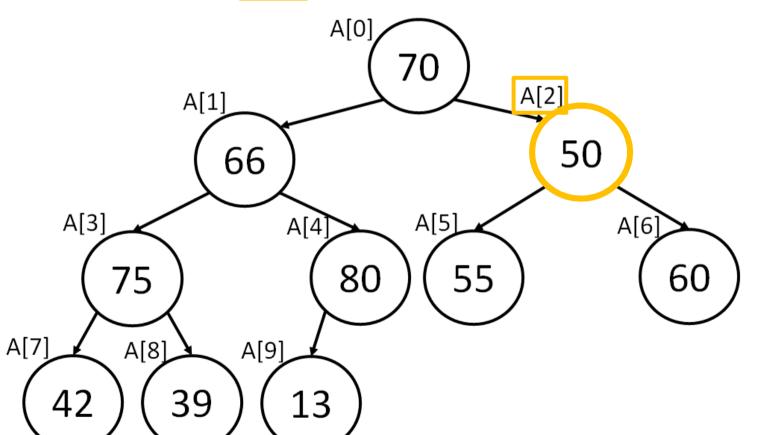




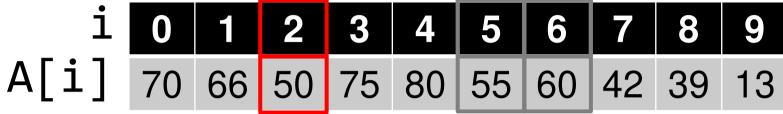


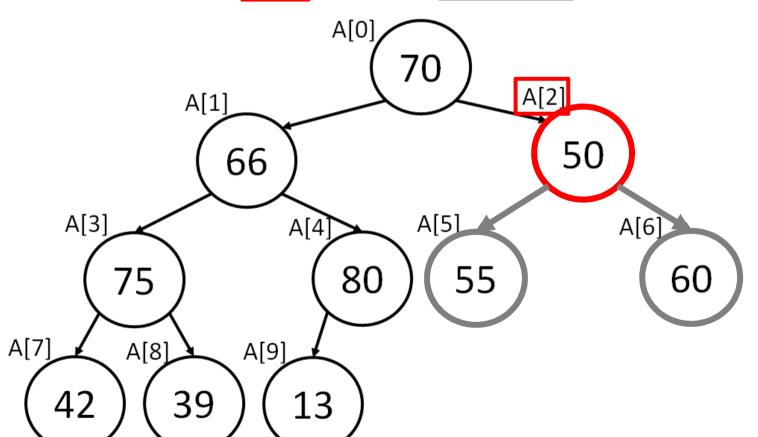
#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()



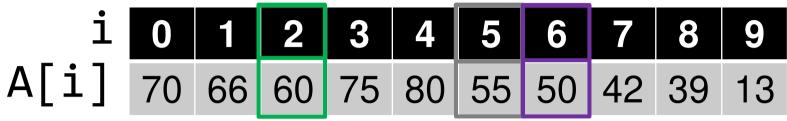


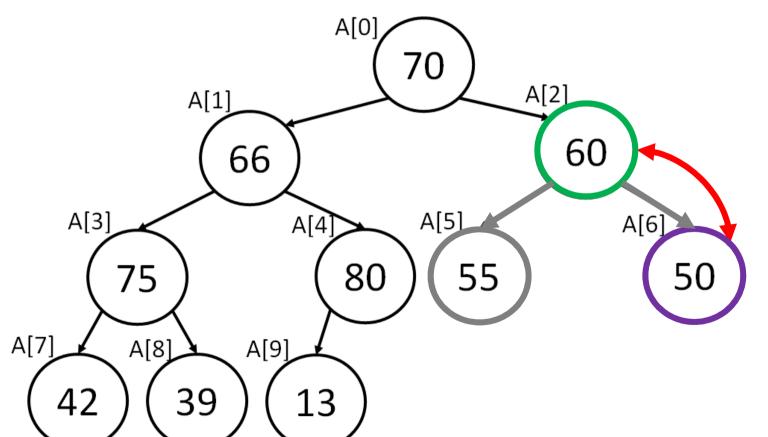




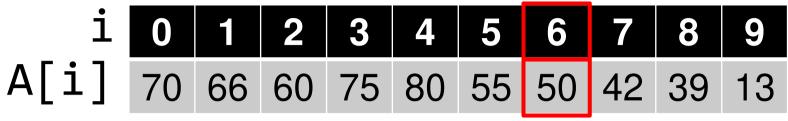


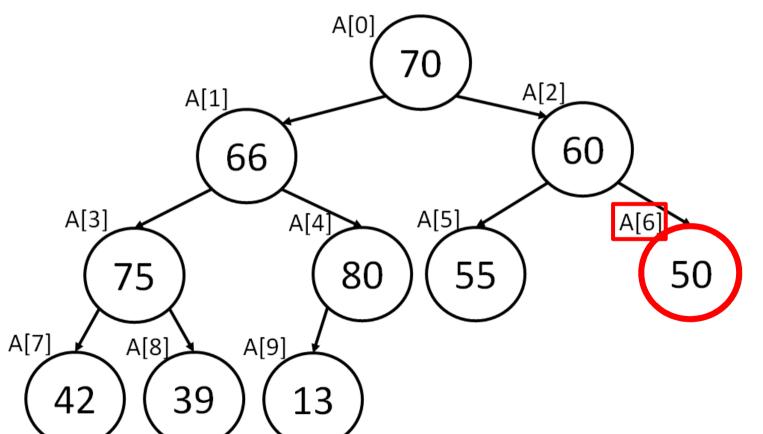




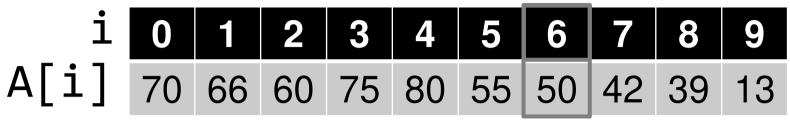


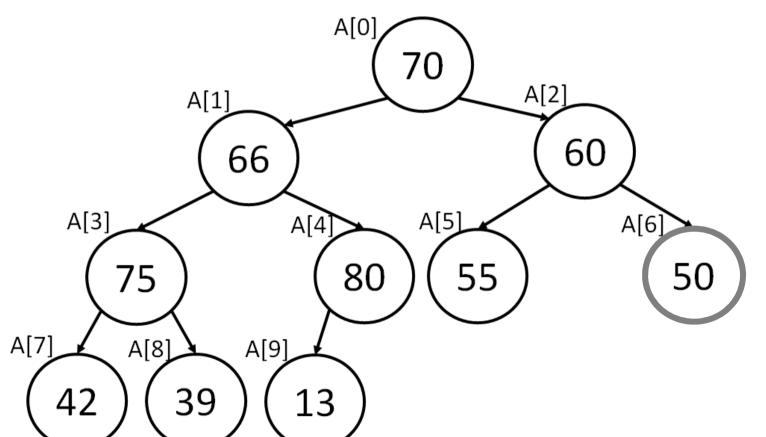






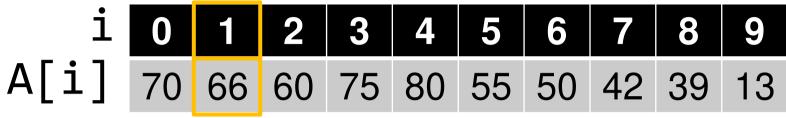


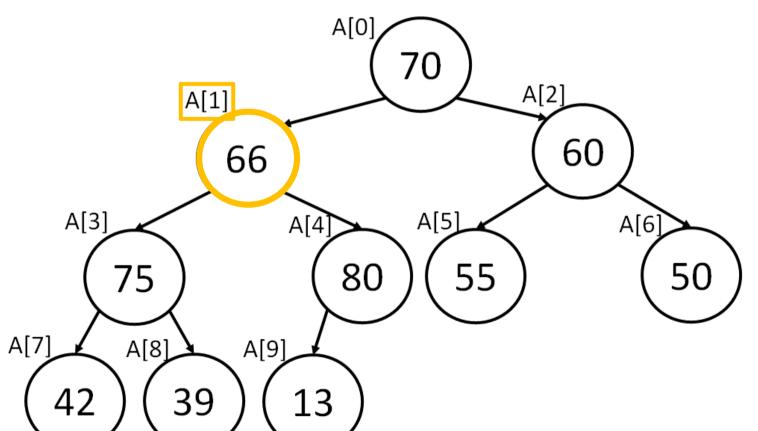




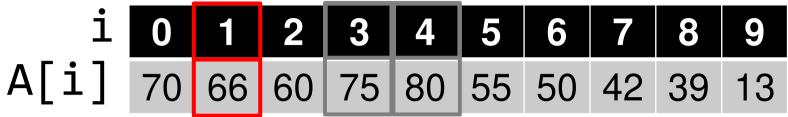


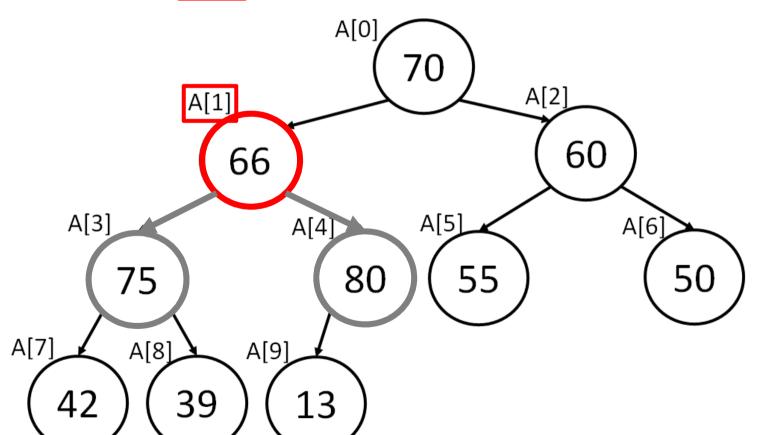
### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()



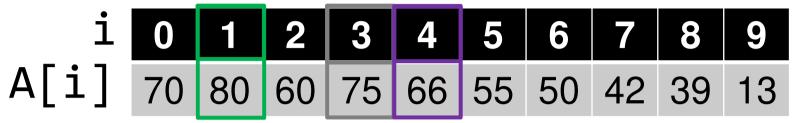


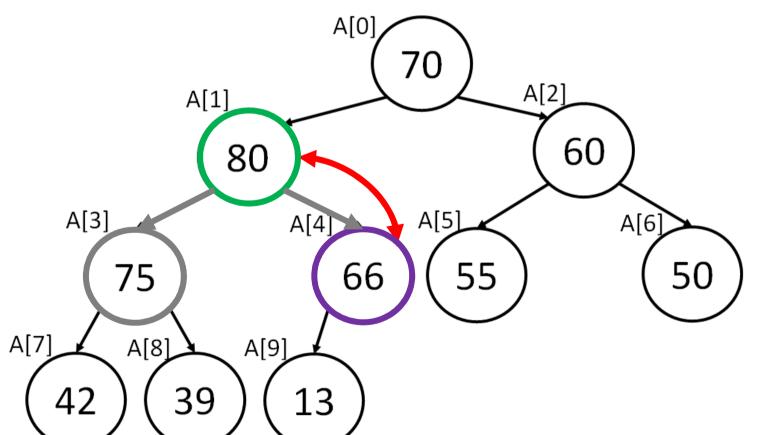






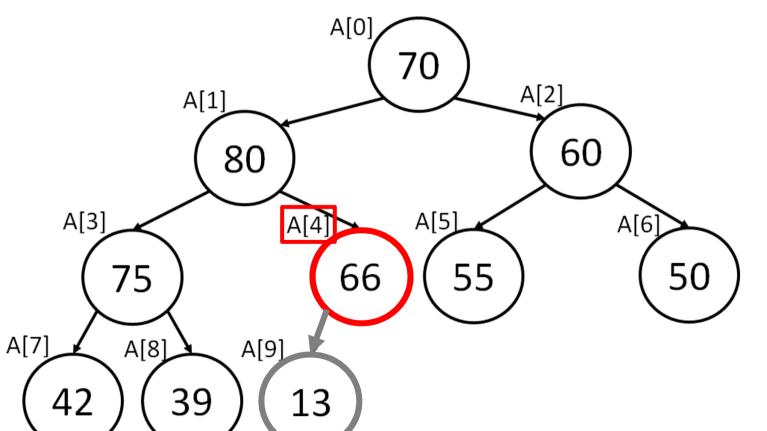






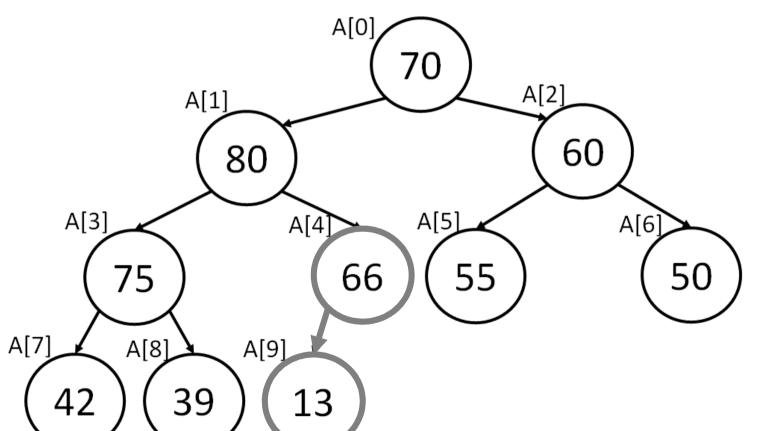






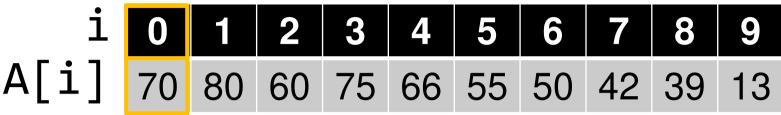


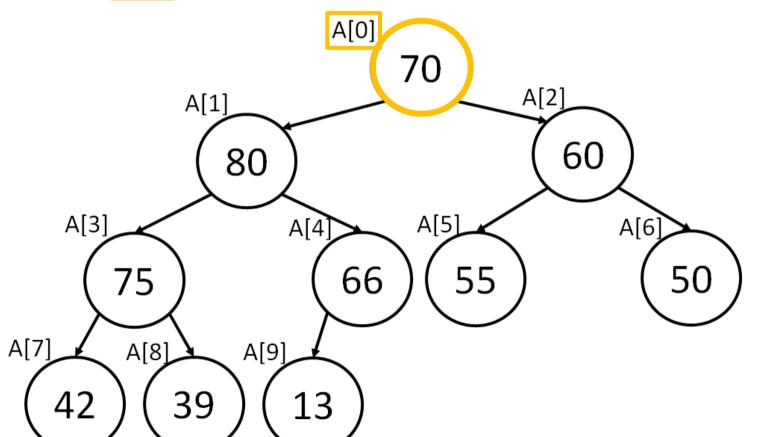




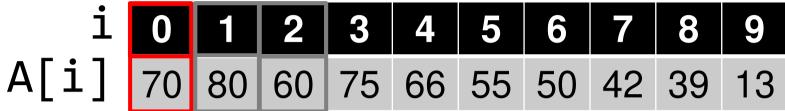


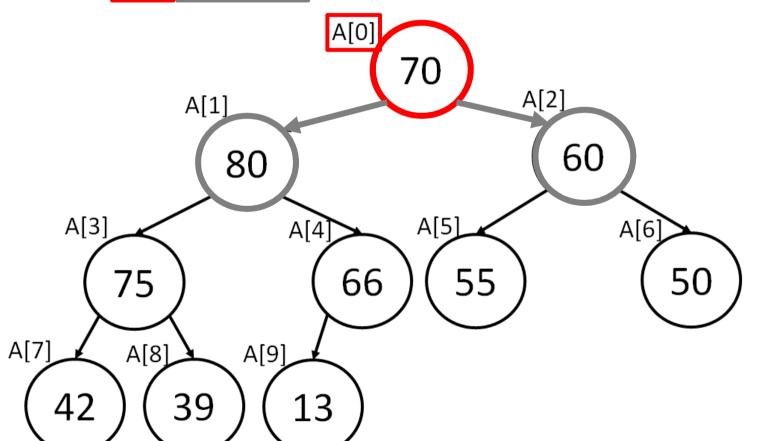
## Construindo a Heap: método ConstroiHeap()



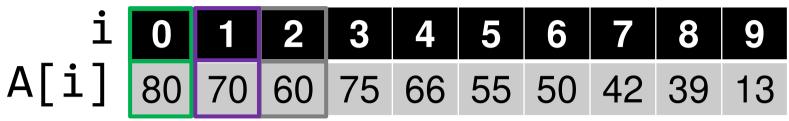


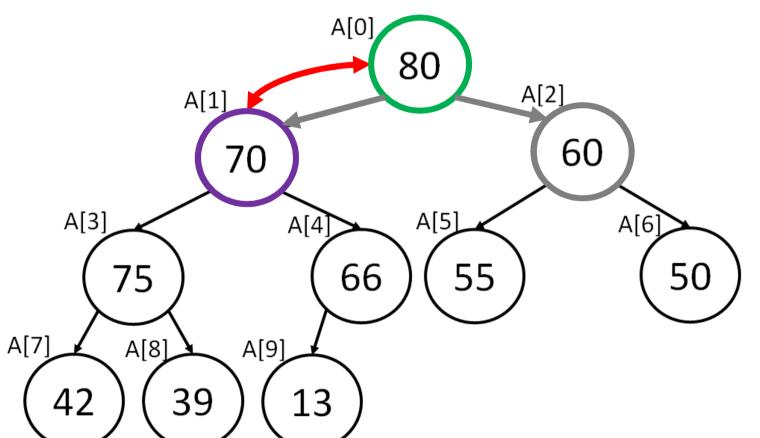






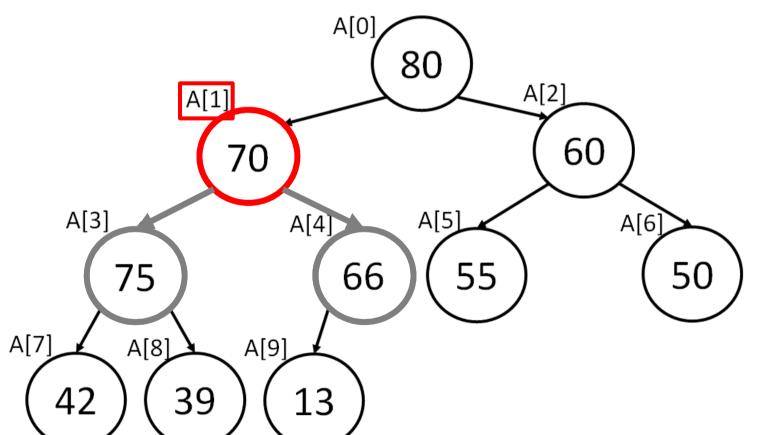






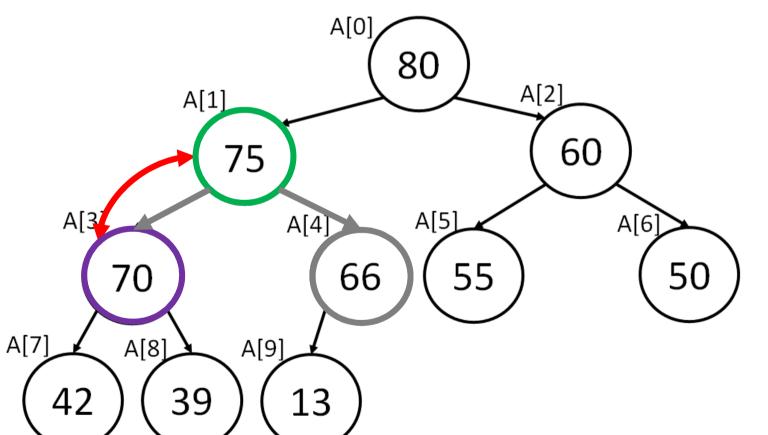




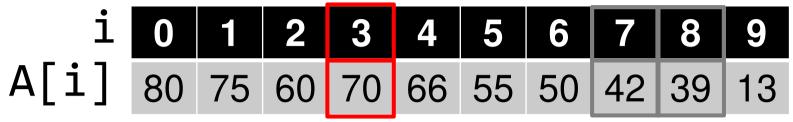


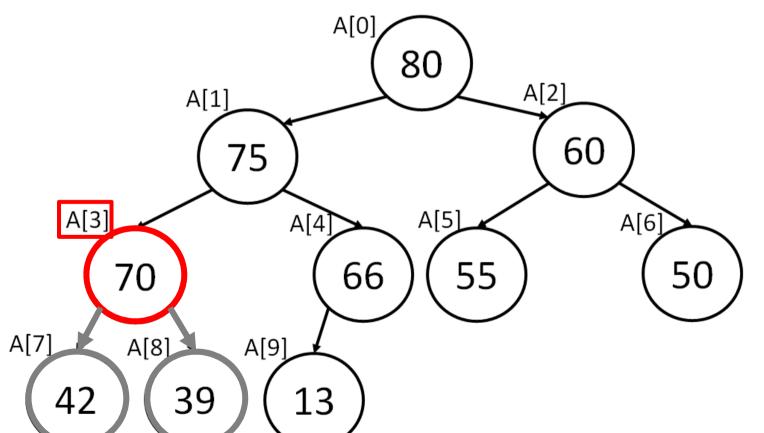




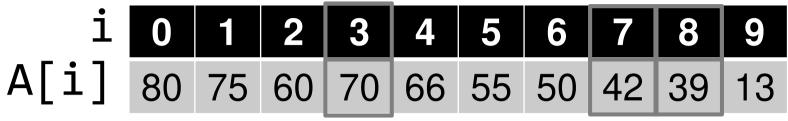


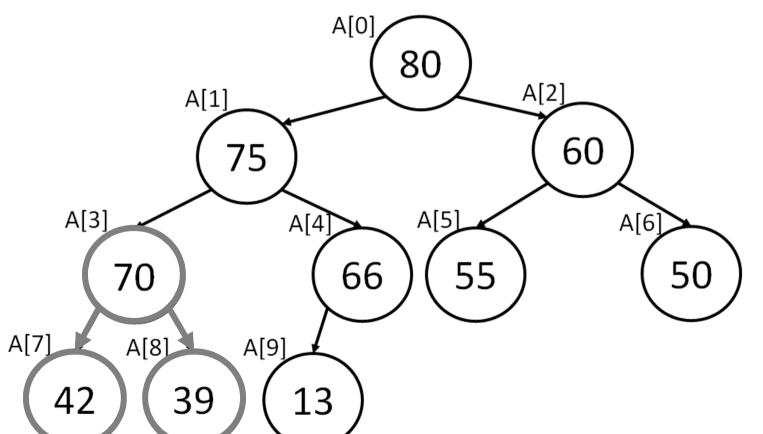






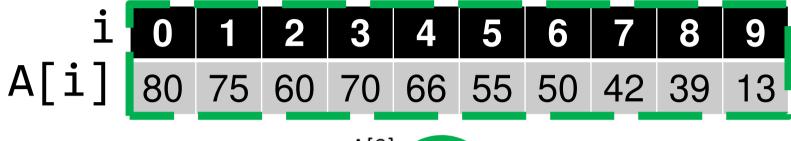


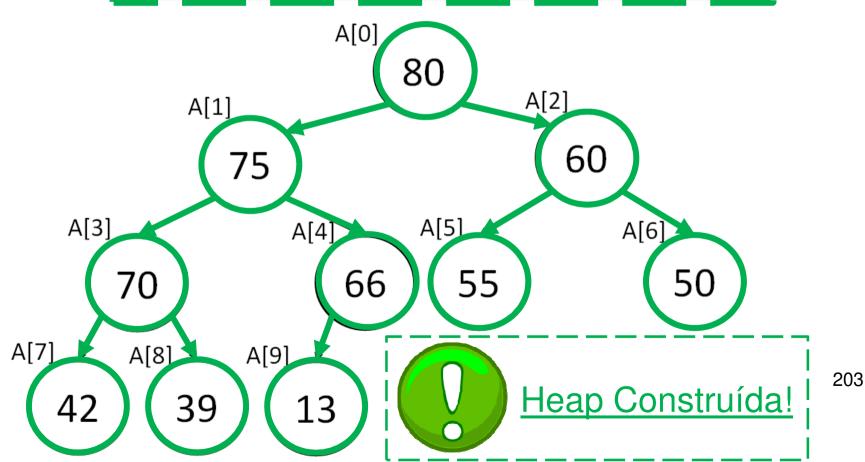






#### Primeiro Passo Completo: Heap Construída







#### ConstroiHeap() + Heapifica()

Teste de Mesa: repetindo a execução dos algoritmos, de maneira detalhada



#### Heapsort: Início do algoritmo

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1. *n ← fim*
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)



#### Heapsort: Construindo a Heap

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1. *n* ← *fim*
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para i de n até 1 faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

#### ConstroiHeap (arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)



# Heapsort: Construindo a Heap

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)



#### Heapsort: Construindo a Heap

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1. *n ← fim*
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)



### Heapsort: Construindo a Heap

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

- 1. *n* ← fim
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

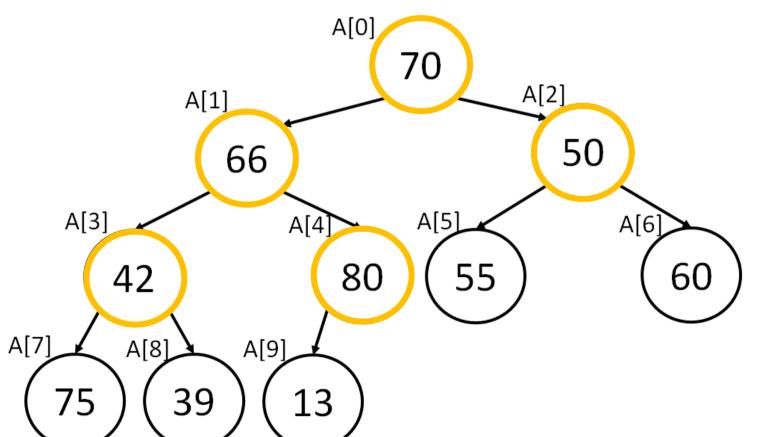
#### ConstroiHeap (arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, fim, i)



#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()







#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. Heapifica(A, fim, i)



#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

fim: 9

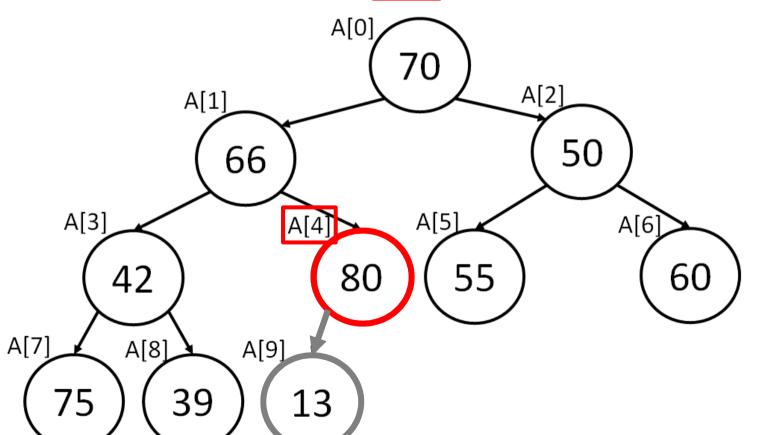
i: 4

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)









```
A[i]: 80
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                       e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               80
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           214
                                          13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e ← 2*i + 1
                                                 A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               80
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           215
                                          13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             216
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                             A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                              217
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
Α[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            218
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                          A[maior]:
              maior ← i
6.
                                                       fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                              80
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           219
                                         13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

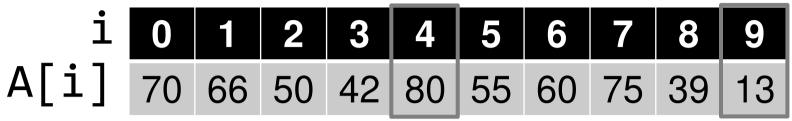


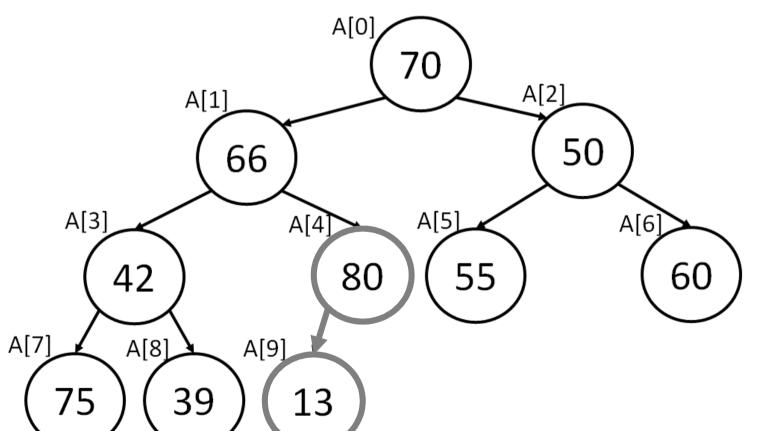
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
3. Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
         maior \leftarrow d
8.
                                                80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             220
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             221
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









# Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

fim: 9

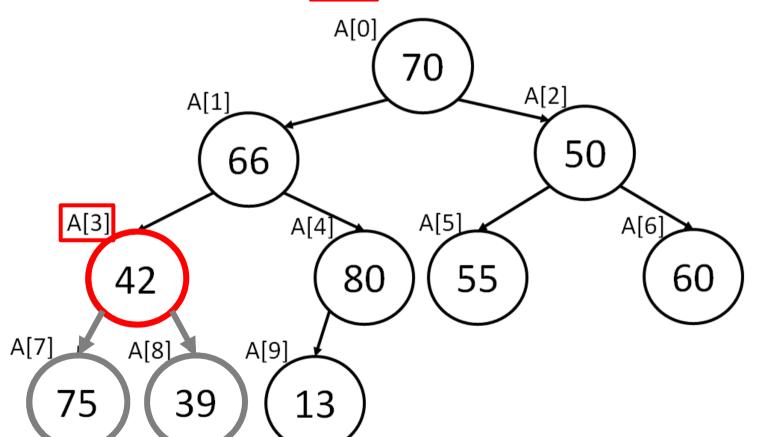
i: 3

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                       e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               42
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            225
                                          75
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]: 39
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             226
                                                      39
                                           75
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             227
                                           75
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             228
                                           75
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
Α[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                          A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                              42
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           229
                                         75
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               42
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            230
                                          75
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]: 39
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                          A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
         maior ← d
8.
                                              42
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           231
                                         75
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             232
                                           75
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



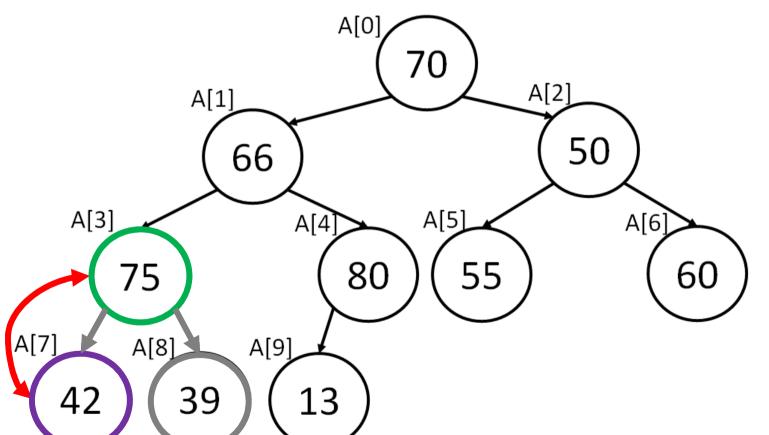
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             233
                                                      39
                                           75
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             234
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



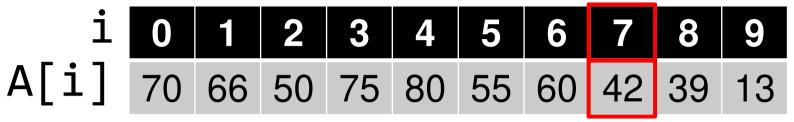


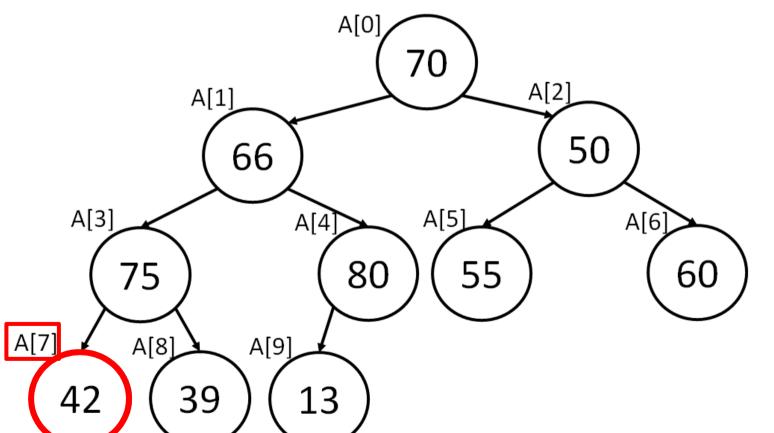




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                               75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            236
                                          42
                                                     39
        Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









#### A[i]: Heapifica(arranjo A, fim, i) $e \leftarrow 2^*i + 1$ A[e]: e: 2. $d \leftarrow 2^*i + 2$ A[d]: **d**: Se **e** ≤ **fim** e **A[e] > A[i]** então maior $\leftarrow$ e maior: 5. Senão A[maior]: 6. maior $\leftarrow$ i Se *d* ≤ *fim* e *A[d]* > *A[maior]* então fim: 8. maior $\leftarrow$ d 42 Se *maior* ≠ *i* então 10. troca *A[i]* ↔ *A[maior]* 238 Heapifica(A, fim, maior) 11.



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             239
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             240
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior
5.
        Senão
                                          A[maior]:
              maior ← i
6.
                                                       fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                              42
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           241
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

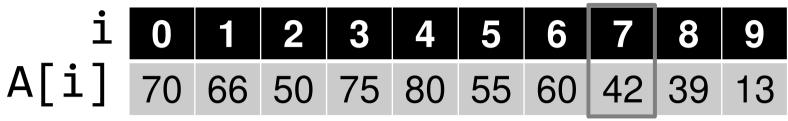


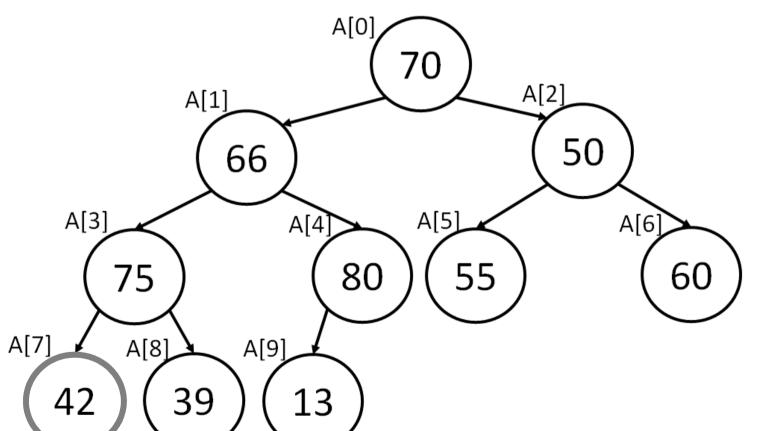
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
3. Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
         maior \leftarrow d
8.
                                                42
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             242
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             243
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

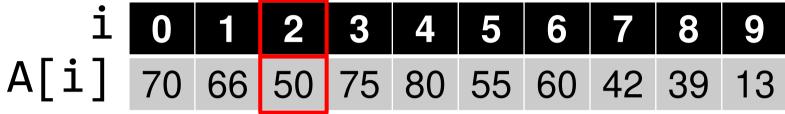
fim: 9

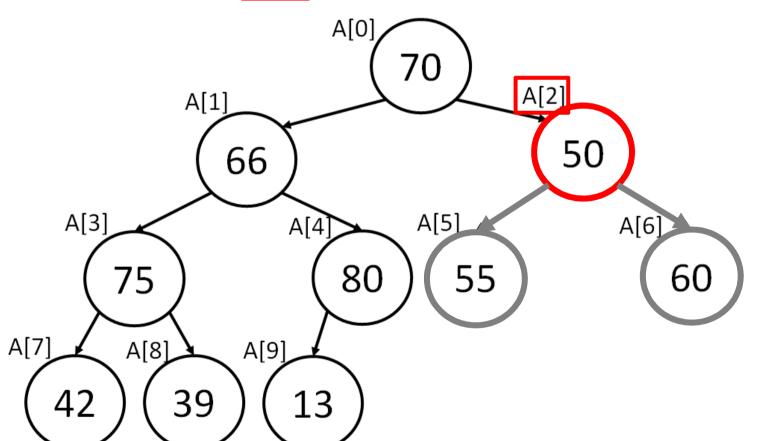
i: 2

#### ConstroiHeap(arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                        e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            247
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             248
                                           55
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           249
                                          55
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            250
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                          A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                              50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           251
                                         55
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                         50
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            252
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                         50
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]: 60
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                        fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
         maior \leftarrow d
8.
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            253
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
         maior \leftarrow d
8.
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            254
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                50
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             255
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

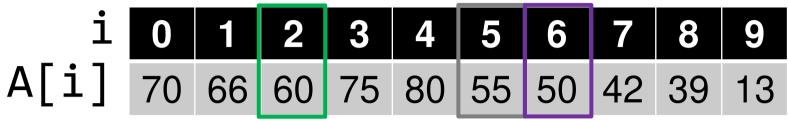


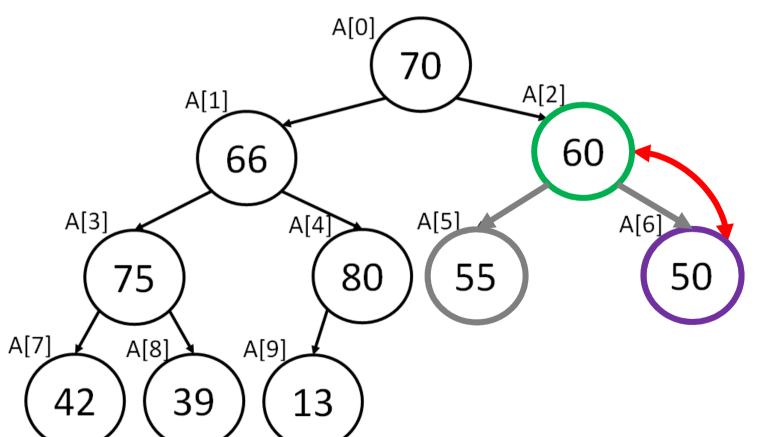
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]: 60
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
        troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                            256
                                          55
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]: 55
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               60
    Se maior ≠ i então
        troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                            257
                                          55
                                                     50
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



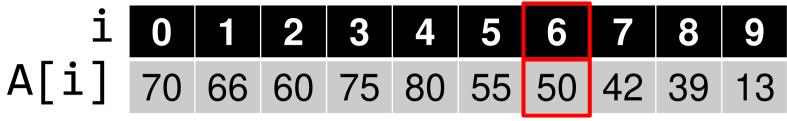


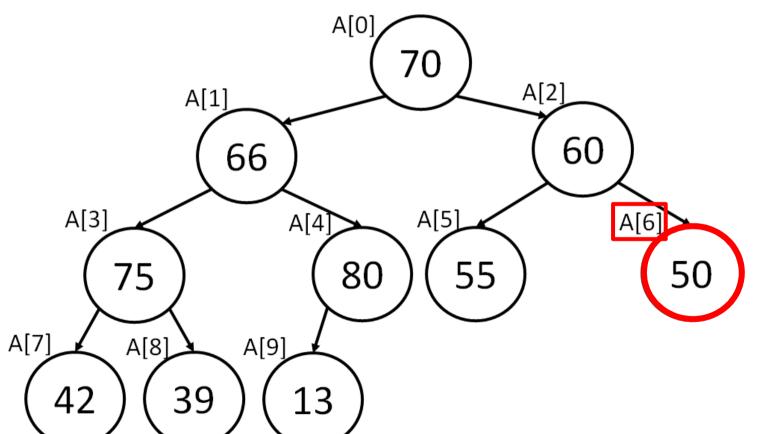




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               60
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            259
                                          55
                                                     50
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                       e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            261
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             262
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             263
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]: 50
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                          A[maior]:
              maior ← i
6.
                                                       fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                              50
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           264
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

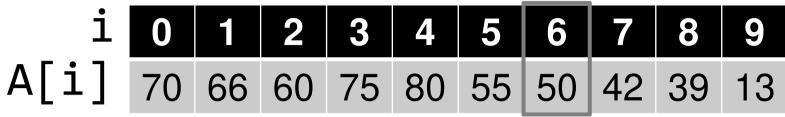


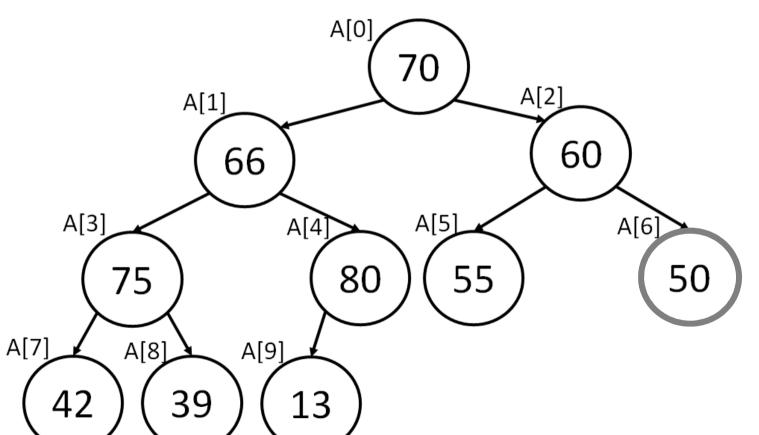
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
3. Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
         maior \leftarrow d
8.
                                                50
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             265
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]: 50
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                               50
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                            266
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









#### Construindo a Heap: método ConstroiHeap()

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A[i]	70	66	60	75	80	55	50	42	39	13

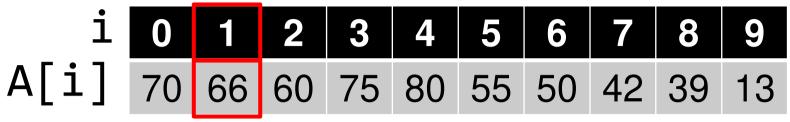
fim: 9

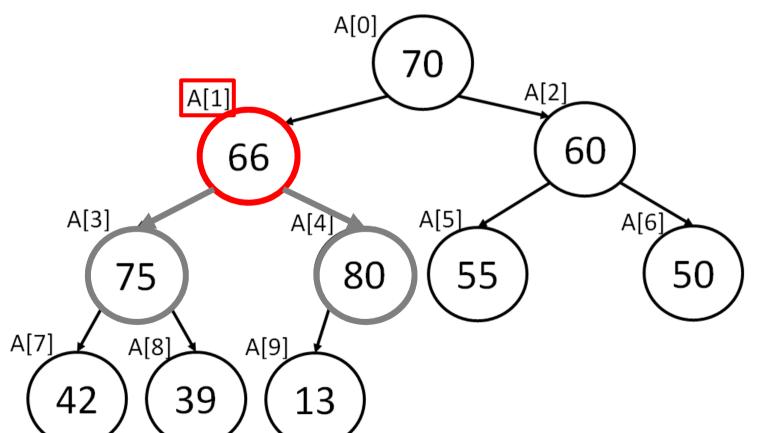
i: 1

#### ConstroiHeap(arranjo *A, fim*)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                       e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            270
                                          75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]: 80
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             271
                                           75
                                                      80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                           66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             272
                                           75
                                                      80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                           66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             273
                                           75
                                                      80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                         66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                              66
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           274
                                         75
                                                    80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            275
                                          75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]: 80
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
         maior \leftarrow d
8.
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            276
                                          75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
         maior \leftarrow d
8.
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            277
                                          75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             278
                                           75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



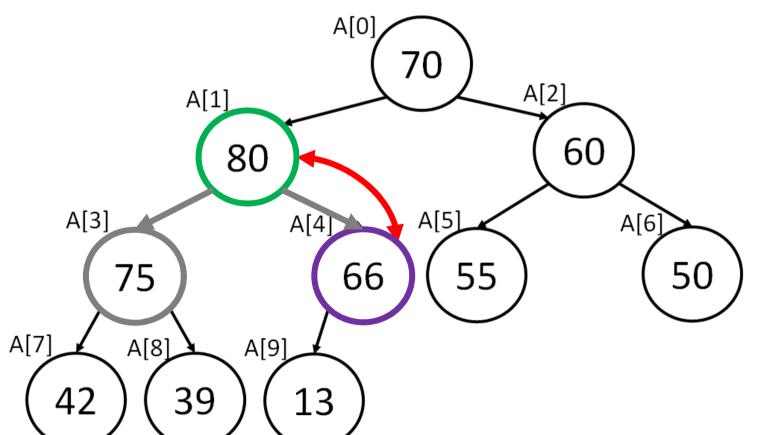
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]: 80
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                            279
                                          75
                                                     80
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             280
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```





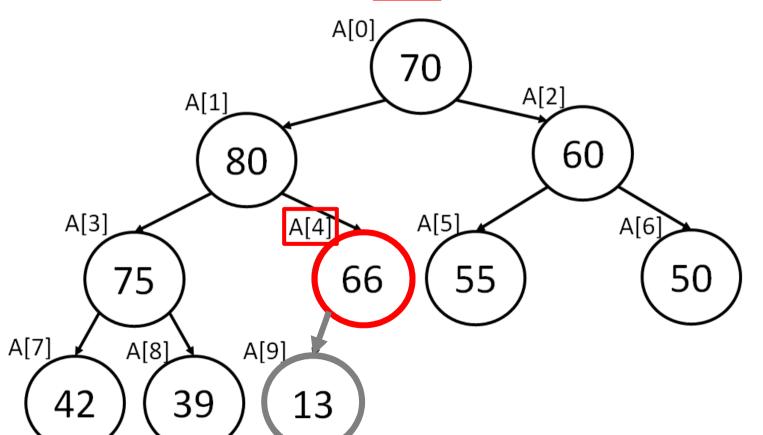




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            282
                                          75
                                                     66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                        e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            284
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e ← 2*i + 1
                                                 A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           285
                                          13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                           66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             286
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
                                                           66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                             A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             287
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
Α[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            288
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
              maior ← i
6.
                                                       fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                              66
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           289
                                         13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



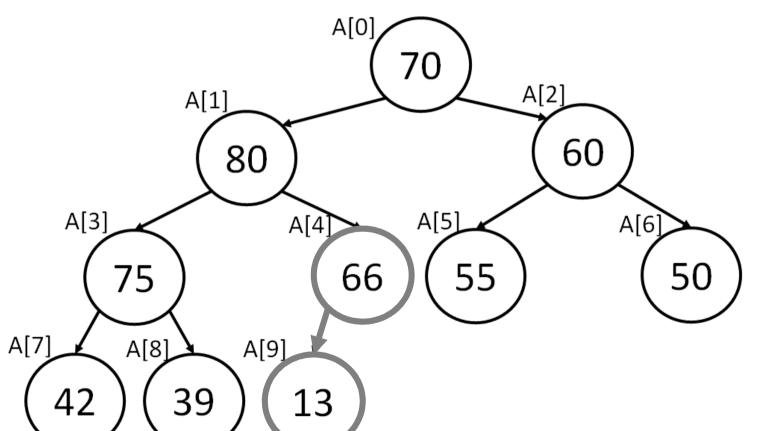
```
A[i]:
                                                          66
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
3. Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
         maior \leftarrow d
8.
                                                66
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             290
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                                66
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             291
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

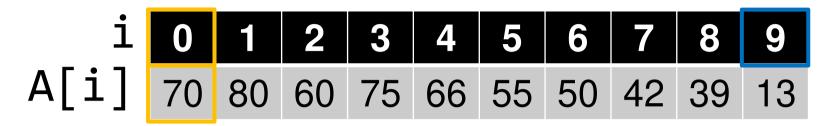








# Construindo a Heap: método ConstroiHeap()



fim: 9

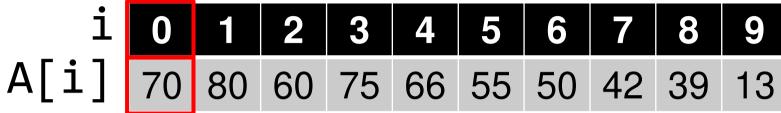
i: 0

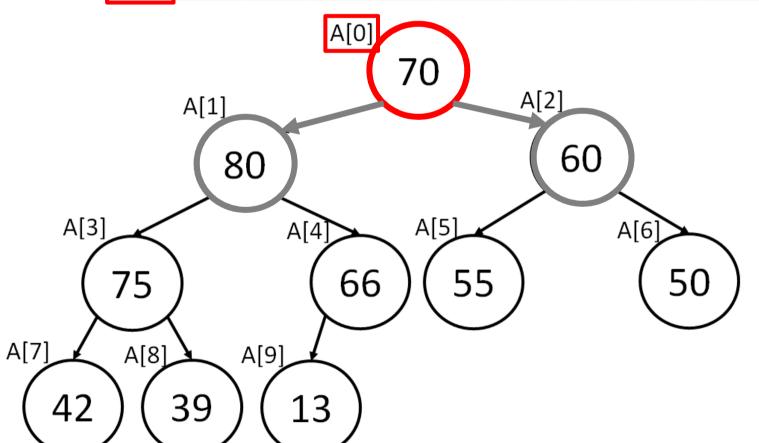
### ConstroiHeap (arranjo A, fim)

- 1. Para *i* de *fim /2* até *0* faça
- 2. **Heapifica**(**A**, **fim**, **i**)



# Construindo a Heap: método ConstroiHeap()







### A[i]: Heapifica(arranjo A, fim, i) $e \leftarrow 2^*i + 1$ A[e]: e: 2. $d \leftarrow 2^*i + 2$ A[d]: **d**: Se *e* ≤ *fim* e *A[e] > A[i]* então maior $\leftarrow$ e maior: 5. Senão A[maior]: 6. maior $\leftarrow$ i Se *d* ≤ *fim* e *A[d]* > *A[maior]* então fim: 8. maior $\leftarrow$ d 70 Se *maior* ≠ *i* então 10. troca *A[i]* ↔ *A[maior]* 295 80 60 Heapifica(A, fim, maior) 11.



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             296
                                           80
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             297
                                           80
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             298
                                           80
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                              70
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           299
                                         80
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             300
                                          80
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]: 80
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]: 60
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
         maior ← d
8.
                                              70
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           301
                                         80
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             302
                                           80
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

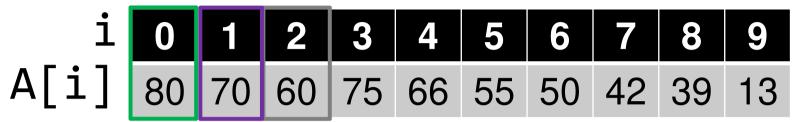


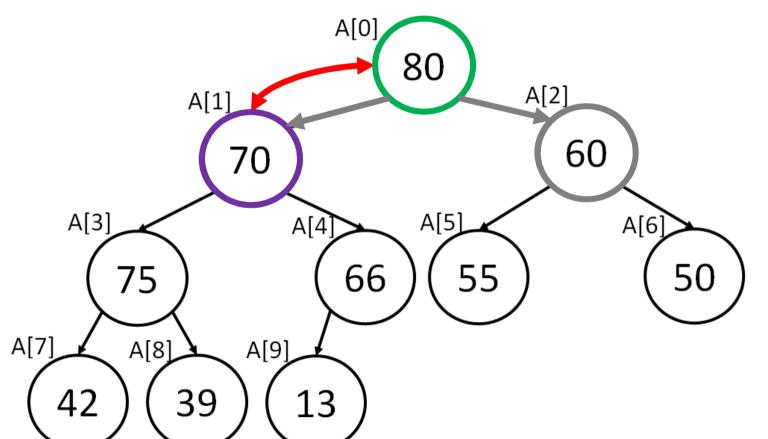
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             303
                                           80
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                80
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             304
                                                      60
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



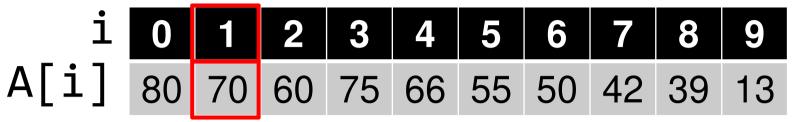


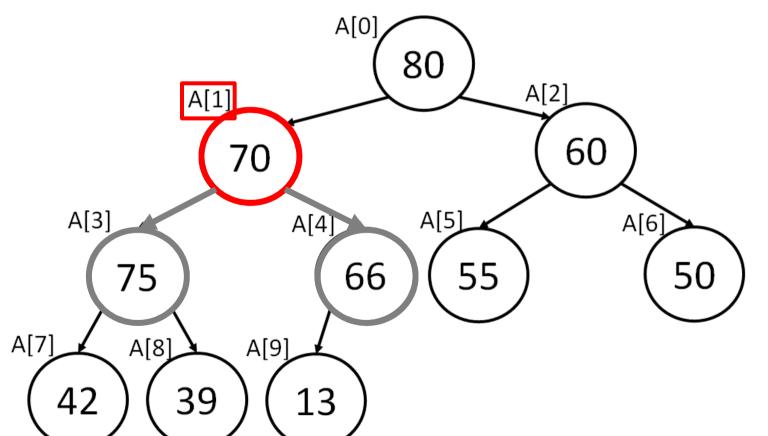




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               80
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            306
                                                     60
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
                                        e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             308
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             309
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             310
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                             A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             311
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               70
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           312
                                          75
                                                    66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             313
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
         maior ← d
8.
                                              70
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           314
                                          75
                                                    66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             315
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



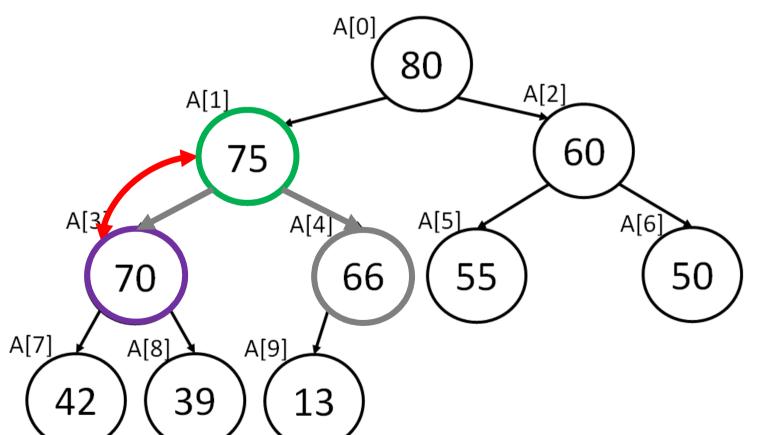
```
A[i]
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             316
                                           75
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             317
                                                      66
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



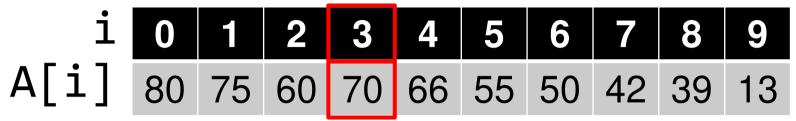


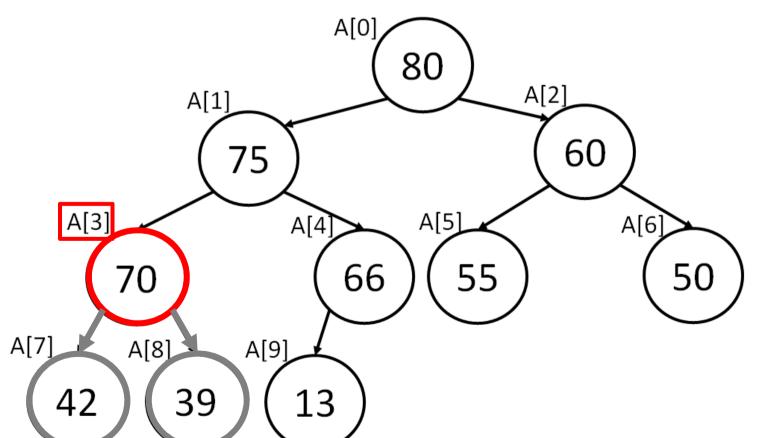




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             319
                                                     66
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                        e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               75
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            321
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]: 39
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             322
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             323
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             324
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            325
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
              maior ← i
6.
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                              75
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           326
                                         42
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               75
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            327
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

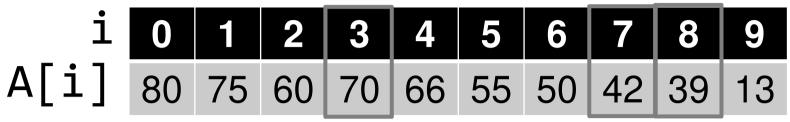


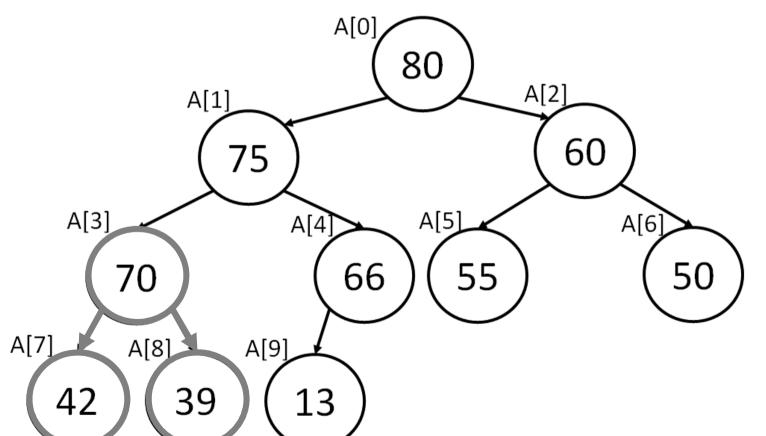
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]: 39
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
         maior ← d
8.
                                              75
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           328
                                         42
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             329
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

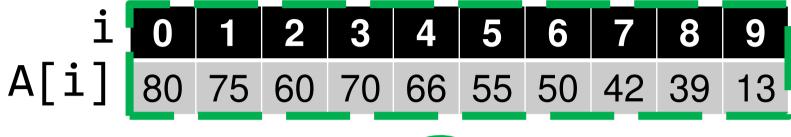


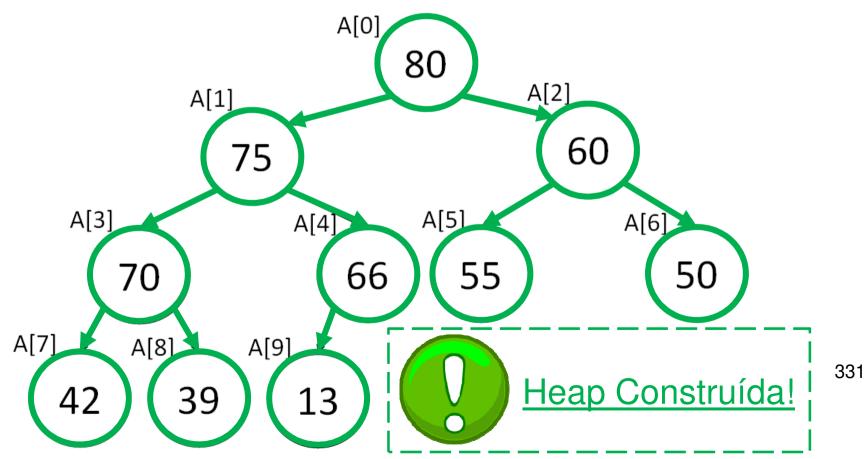






### Primeiro Passo Completo: Heap Construída!







# Segunda Etapa: Ordenando Pela Raiz da Heap

Heapsort() + Heapifica()



#### Segundo Passo: Ordenando Pela Raiz

#### Heapsort(arranjo A, fim)

- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

fim: 9

n: 9

i:

A[1]: 80

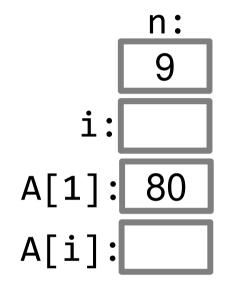
A[i]:



#### Segundo Passo: Ordenando Pela Raiz

#### Heapsort(arranjo *A, fim*)

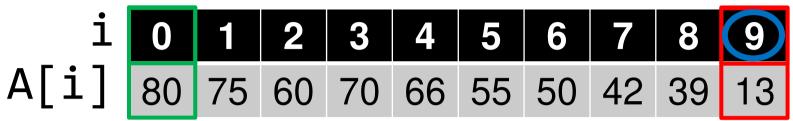
- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para i de n até 1 faça
- 4. troca  $A[1] \leftrightarrow A[i]$
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

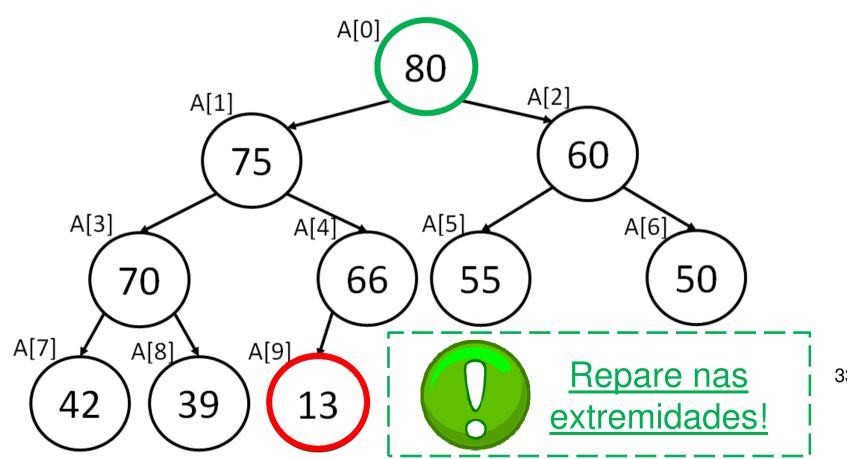




O ConstroiHeap()
foi recém
demonstrado, nos
slides anteriores



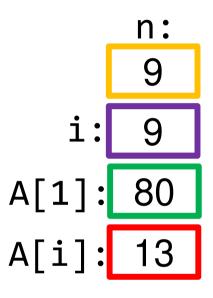




335

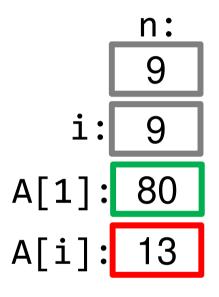


- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)



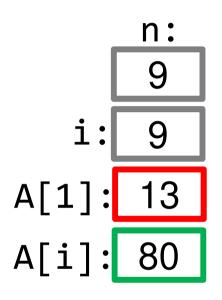


- 1. *n ← fim*
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

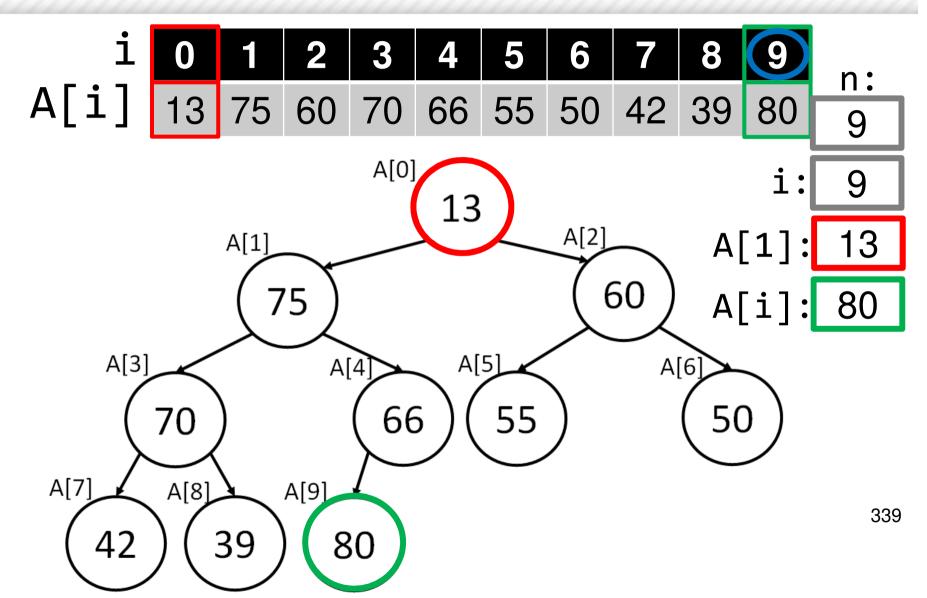




- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)

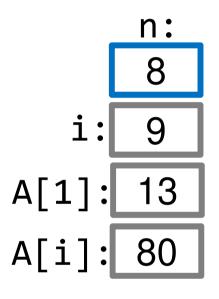




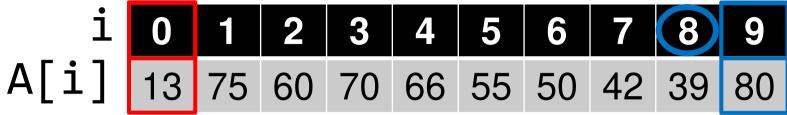


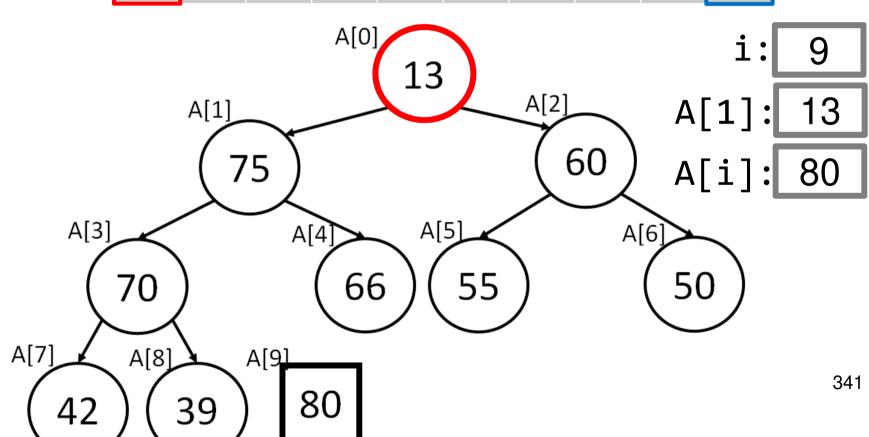


- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. *Heapifica*(*A*, *n*, *0*)



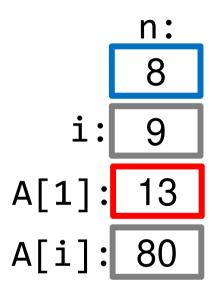






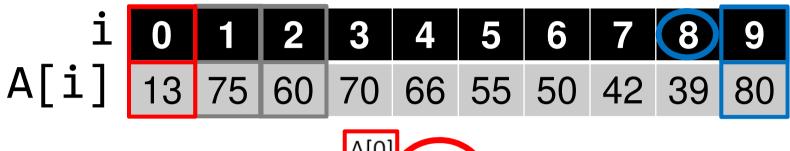


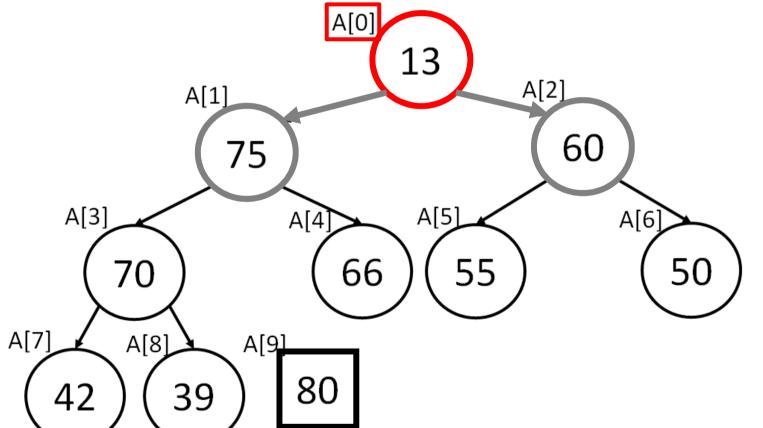
- 1.  $n \leftarrow fim$
- 2. ConstroiHeap(A, fim)
- 3. Para *i* de *n* até *1* faça
- 4. troca *A[1]* ↔ *A[i]*
- 5.  $n \leftarrow n-1$
- 6. **Heapifica**(**A**, **n**, **0**)





### Ordenando Pela Raiz: Método Heapifica()







```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
                                        e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             344
                                           75
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             345
                                           75
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             346
                                           75
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             347
                                           75
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           348
                                         75
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             349
                                           75
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
         maior ← d
8.
                                               13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           350
                                          75
                                                    60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             351
                                           75
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

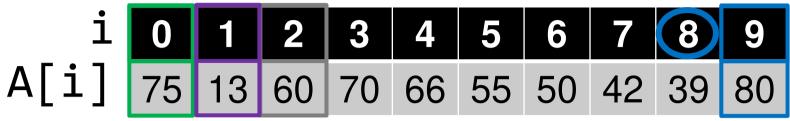


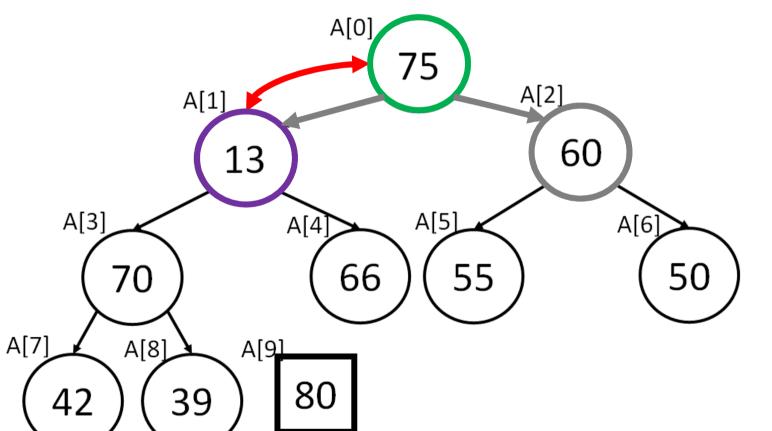
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             352
                                           75
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             353
                                           13
                                                      60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```





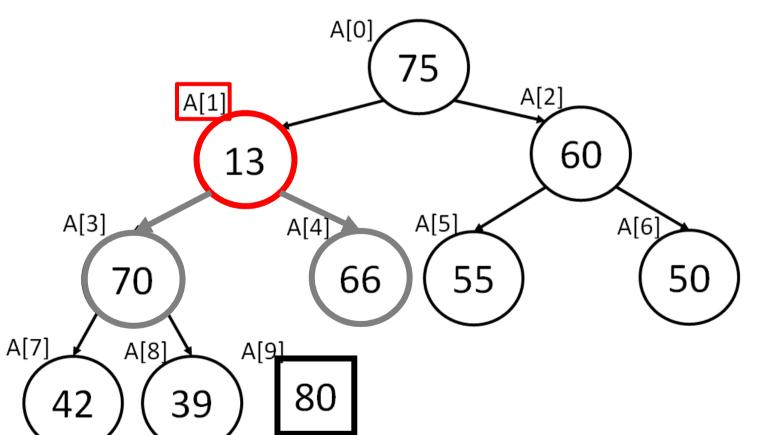




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                75
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             355
                                           13
                                                     60
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             357
                                           70
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             358
                                                      66
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             359
                                           70
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                 13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             360
                                           70
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           361
                                          70
                                                    66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             362
                                           70
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]: 66
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
         maior ← d
8.
                                              13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           363
                                         70
                                                    66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             364
                                           70
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

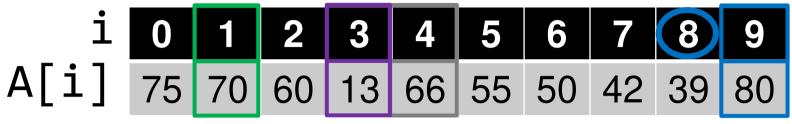


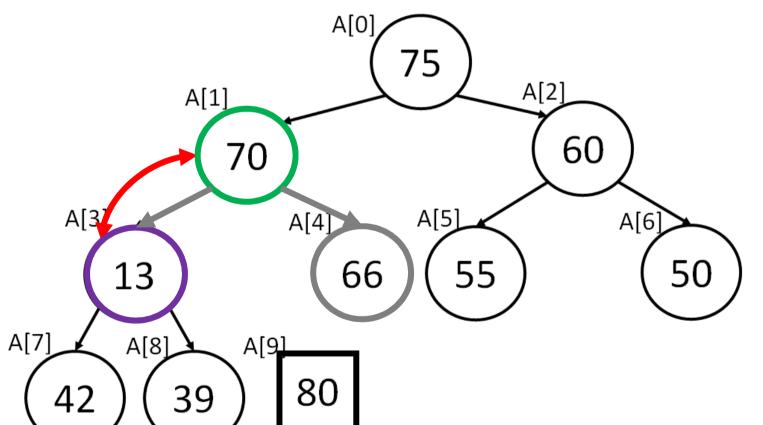
```
A[i]
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             365
                                                      66
                                           70
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             366
                                           13
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



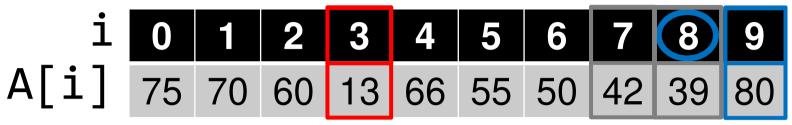


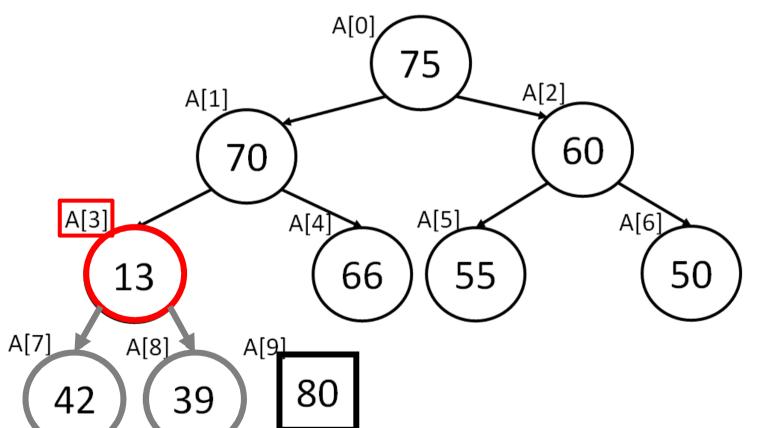




```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                70
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             368
                                           13
                                                      66
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```









```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
                                       e:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                        fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                               13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            370
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
    d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]: 39
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             371
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             372
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
   d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
    Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
4.
         maior \leftarrow e
                                                 maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                          fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
         troca A[i] ↔ A[maior]
                                                             373
                                           42
                                                      39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
   e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]:
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior ← e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
                                                       fim:
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                              13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           374
                                         42
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                 A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                 A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                            375
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                A[d]: 39
                                       d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                               maior:
5.
        Senão
                                           A[maior]:
6.
              maior \leftarrow i
   Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                       fim:
         maior ← d
8.
                                              13
    Se maior ≠ i então
10.
        troca A[i] ↔ A[maior]
                                                           376
                                         42
                                                    39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
   Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
                                                13
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             377
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



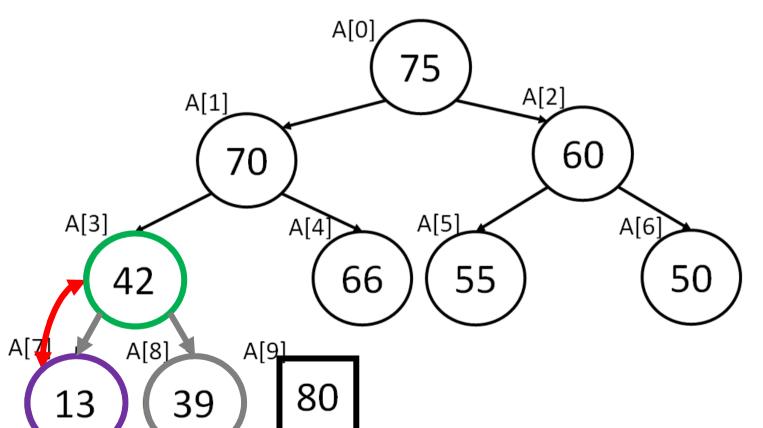
```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
                                                         fim:
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
8.
         maior \leftarrow d
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             378
                                          42
                                                     39
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```



```
A[i]:
Heapifica(arranjo A, fim, i)
    e \leftarrow 2^*i + 1
                                                  A[e]:
2. d \leftarrow 2^*i + 2
                                                  A[d]:
                                        d:
  Se e ≤ fim e A[e] > A[i] então
         maior \leftarrow e
                                                maior:
5.
        Senão
                                            A[maior]:
6.
               maior \leftarrow i
    Se d ≤ fim e A[d] > A[maior] então
                                                         fim:
8.
         maior \leftarrow d
                                                42
    Se maior ≠ i então
         troca A[i] ↔ A[maior]
10.
                                                             379
                                                      39
                                           13
         Heapifica(A, fim, maior)
11.
```

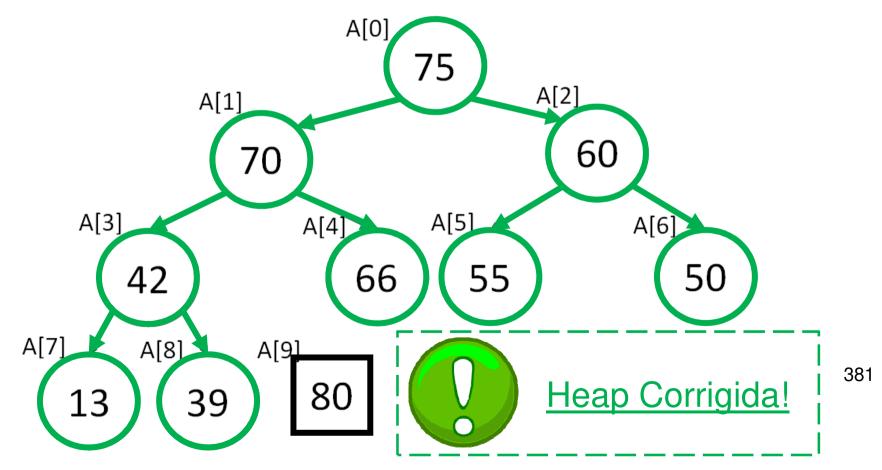




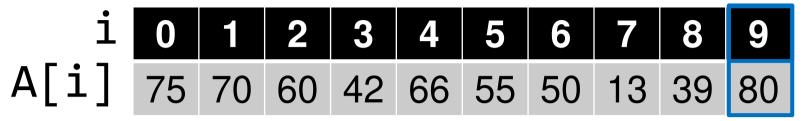


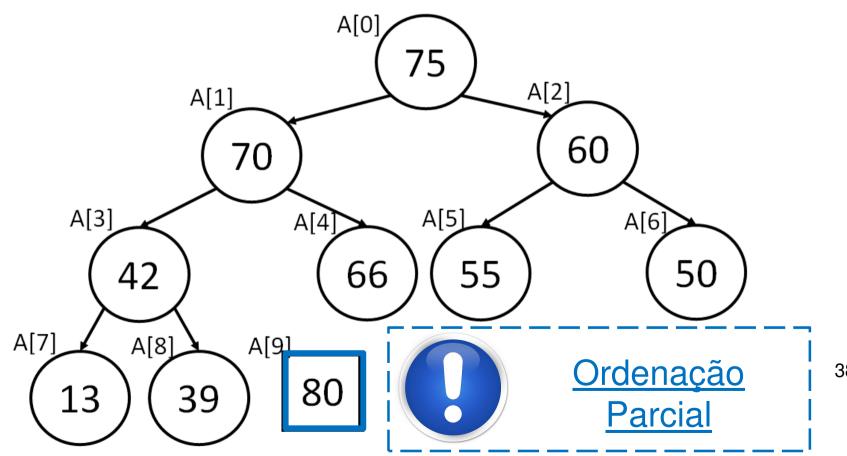












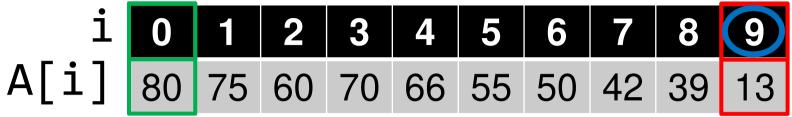
382

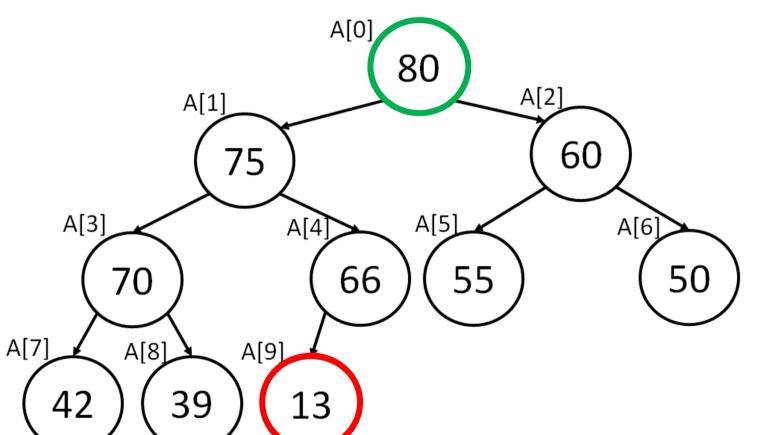


# Ordenando Pela Raiz da Heap...

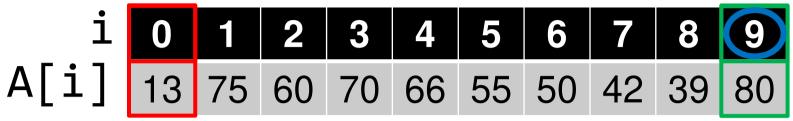
Em suma, o que ocorreu desde a troca da raiz, até a correção da heap?

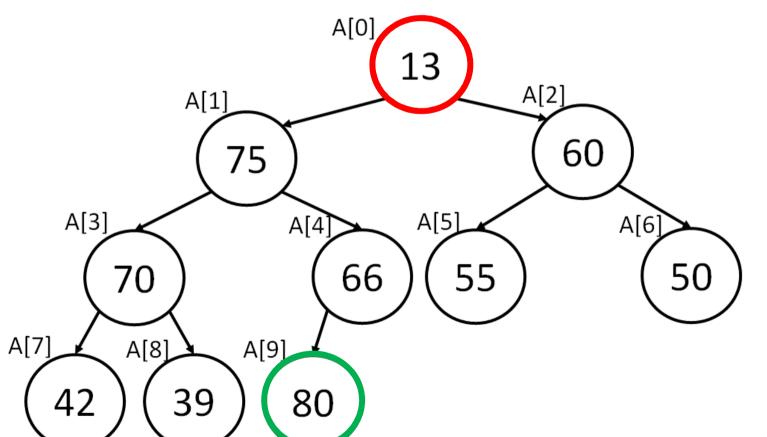




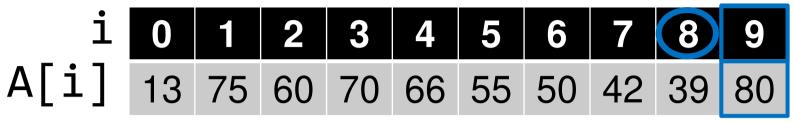


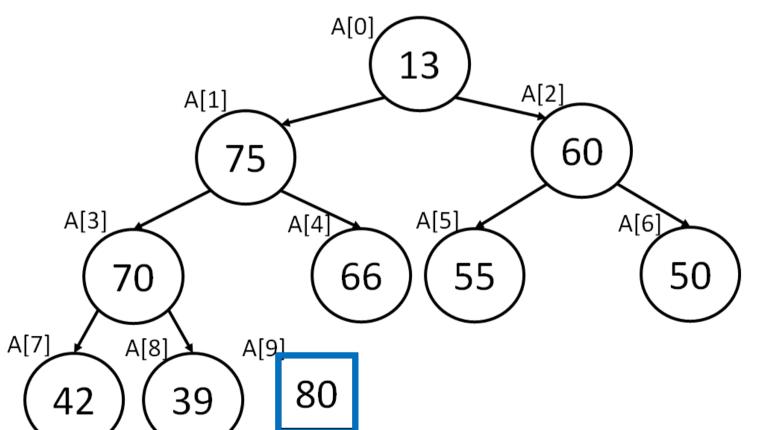






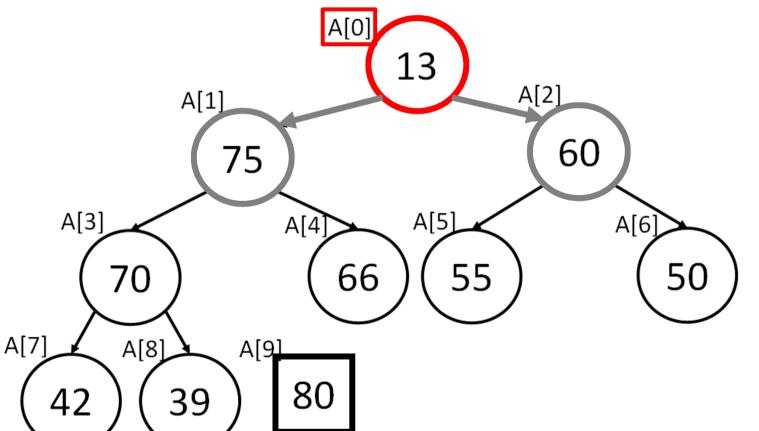




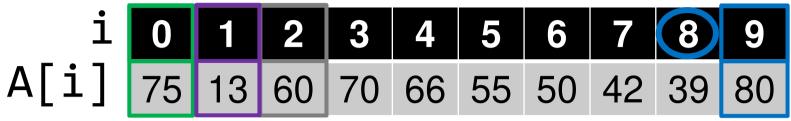


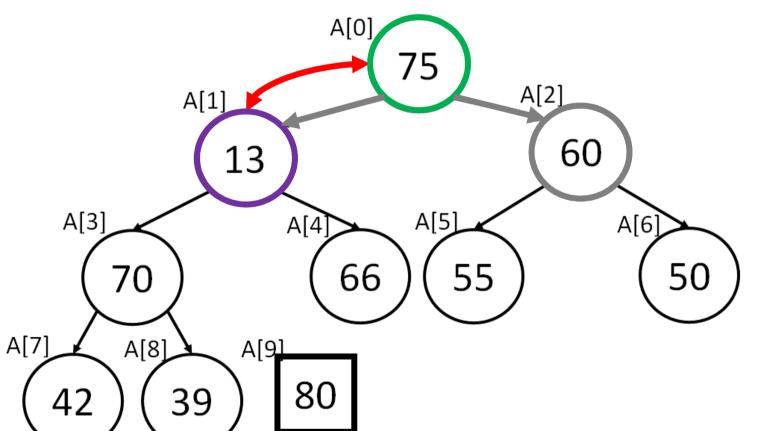




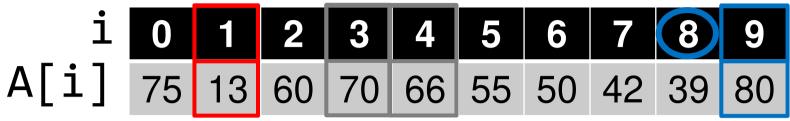


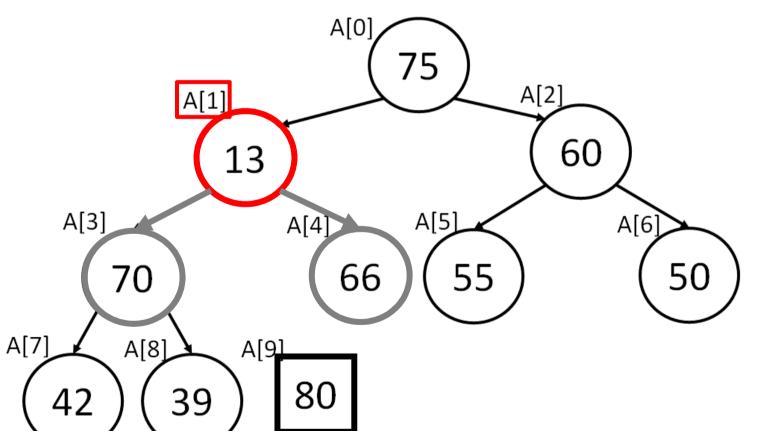






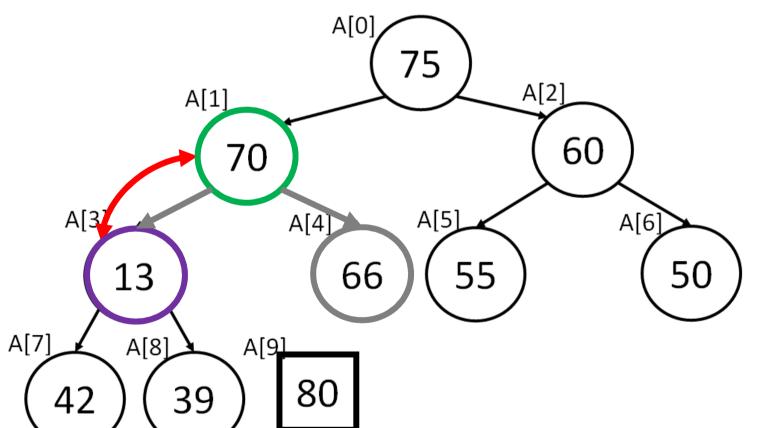






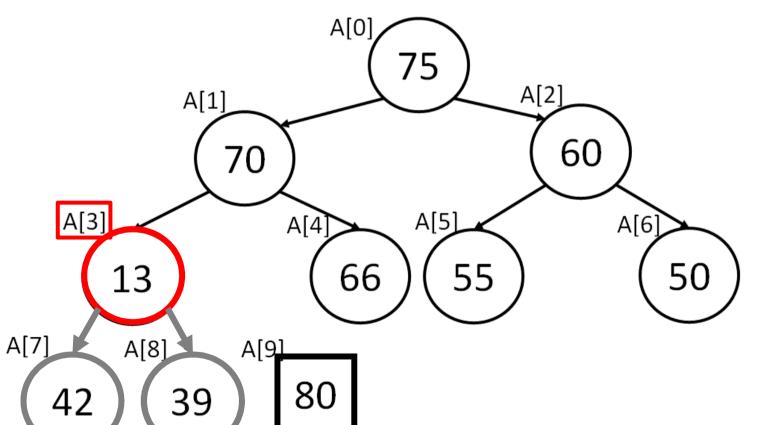






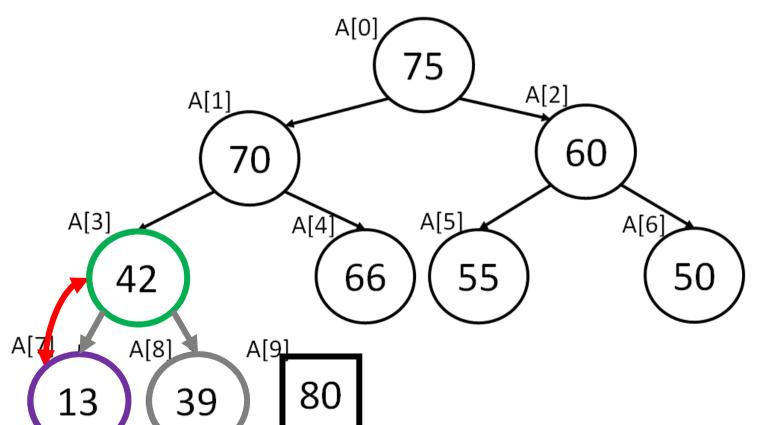






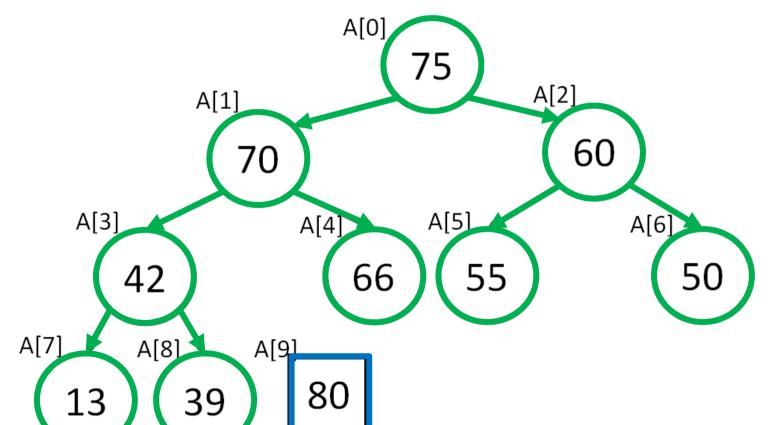




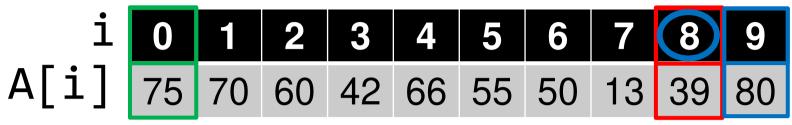


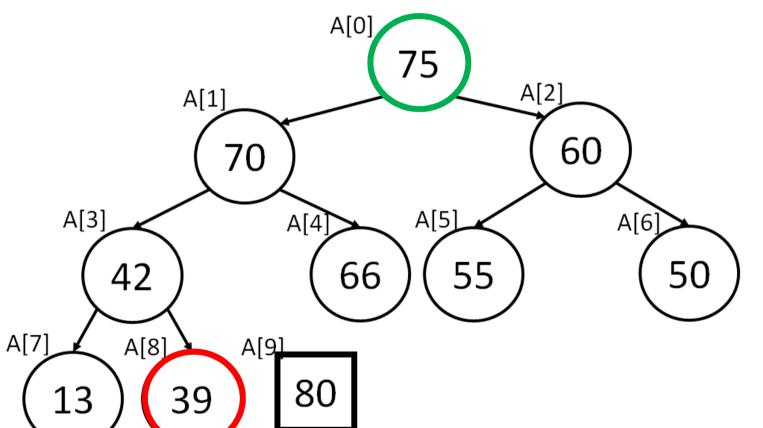




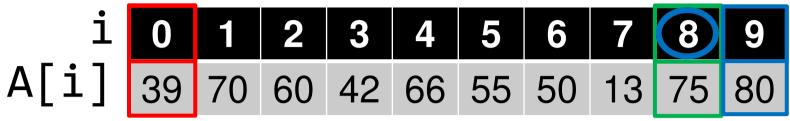


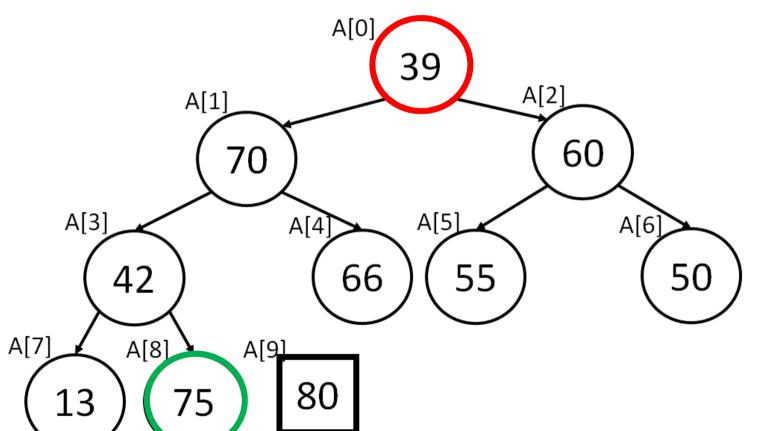




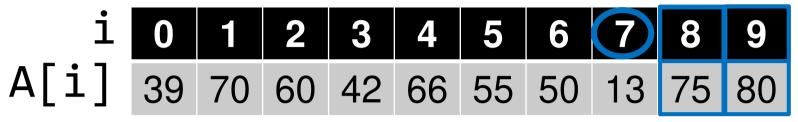


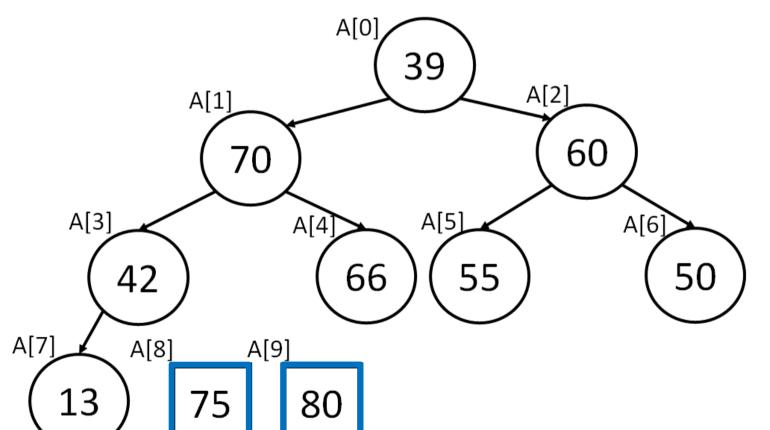




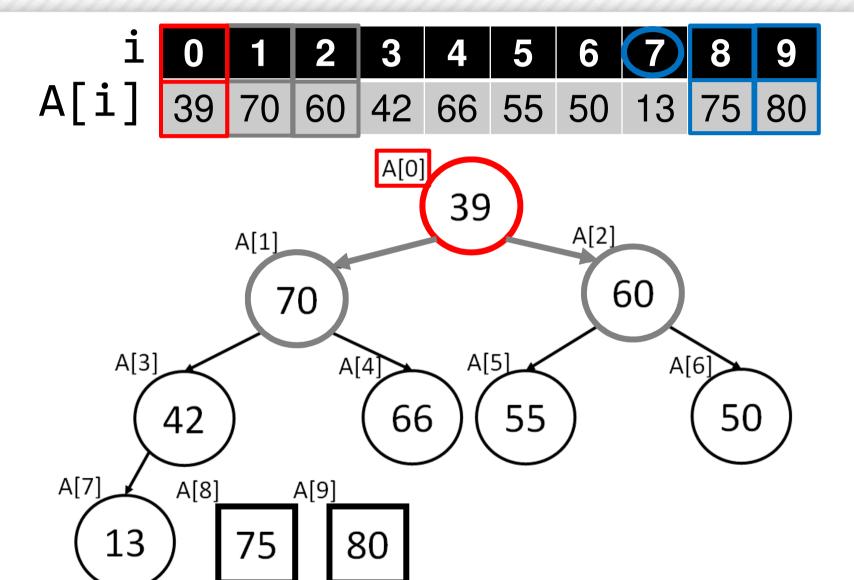




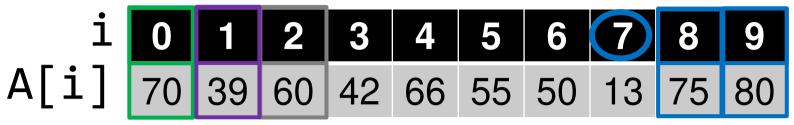


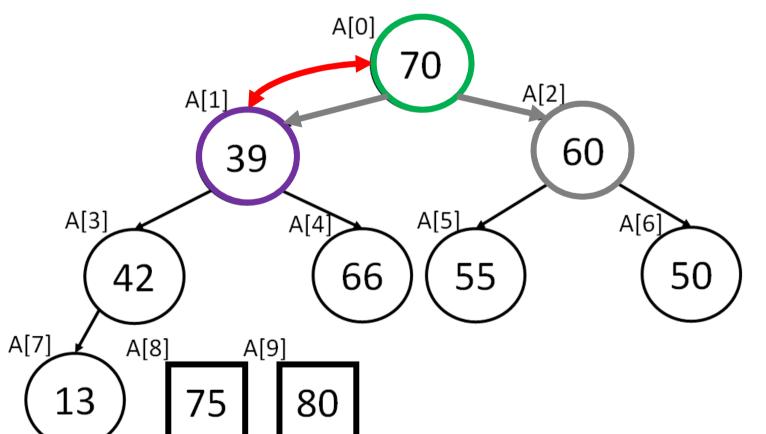




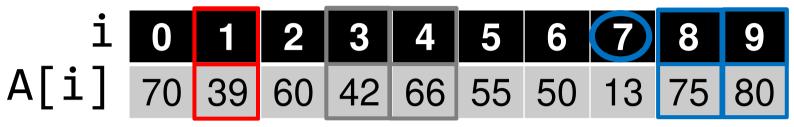


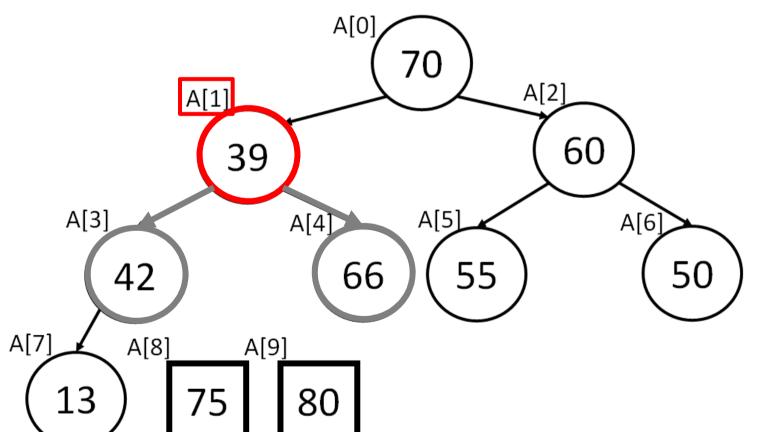




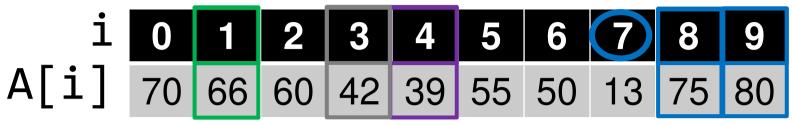


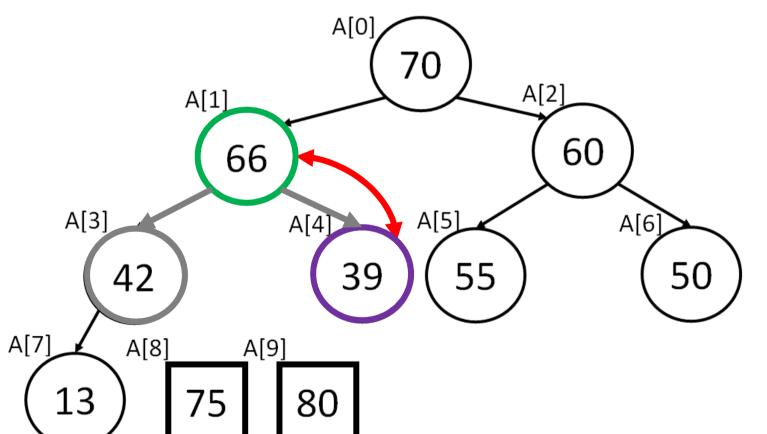




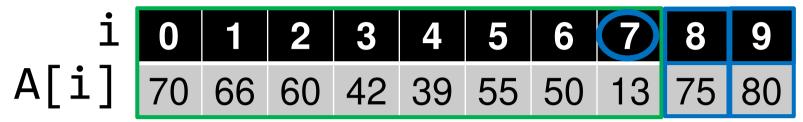


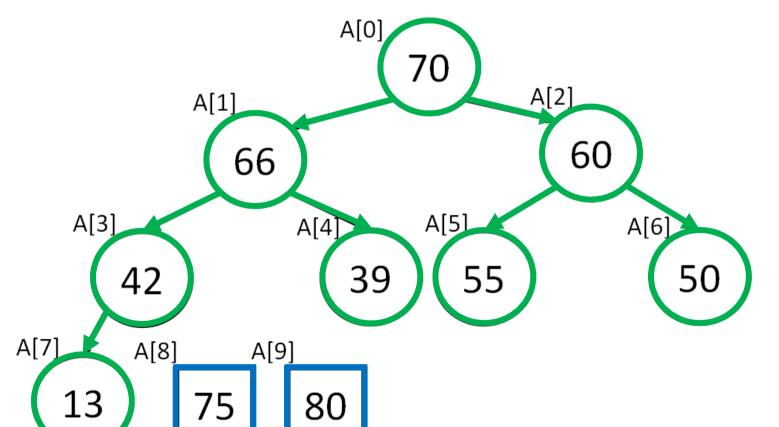




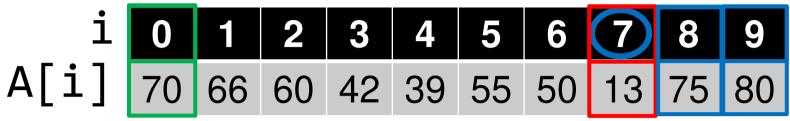


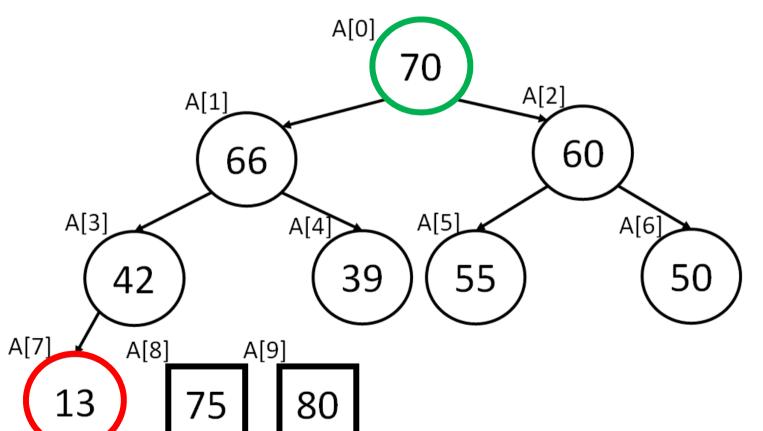




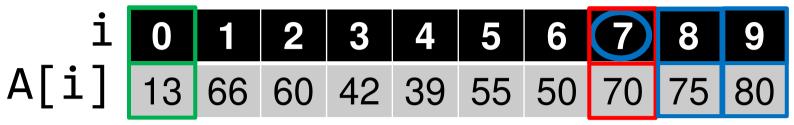


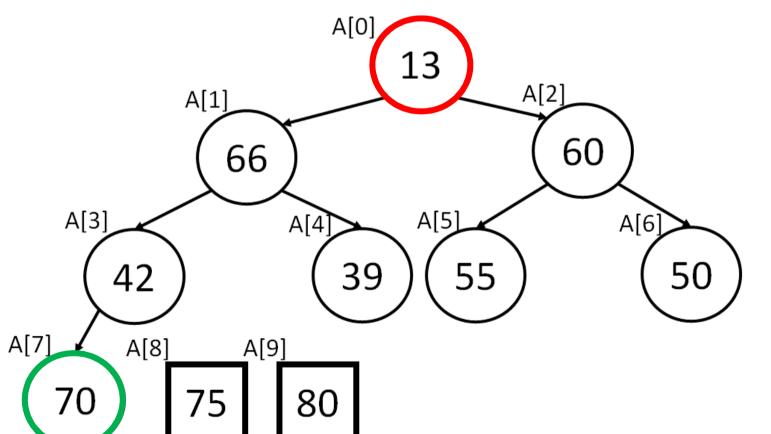




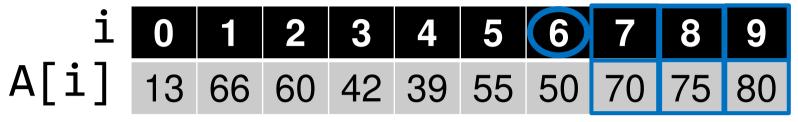


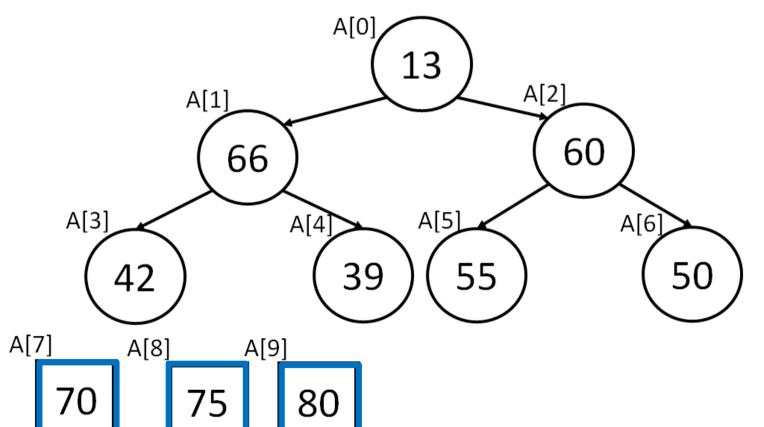




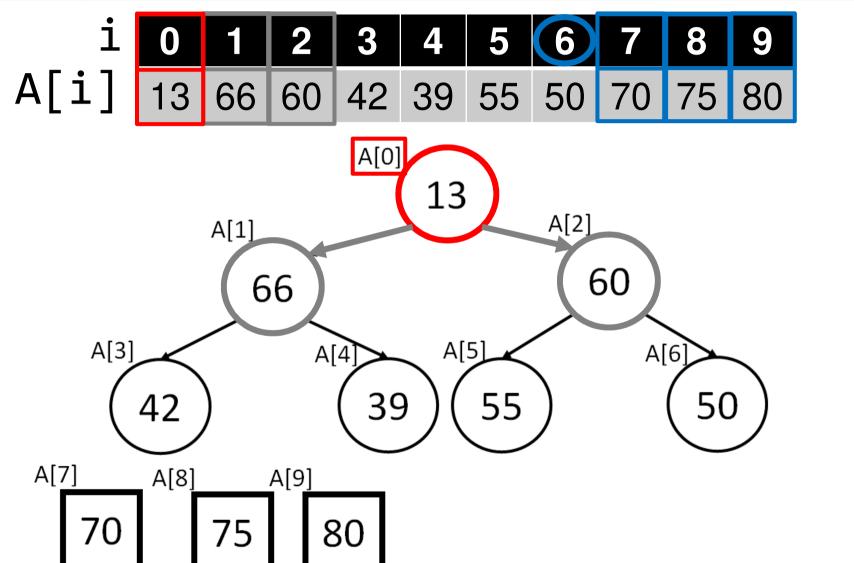




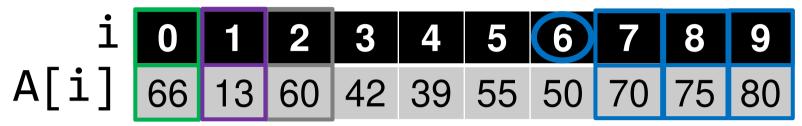


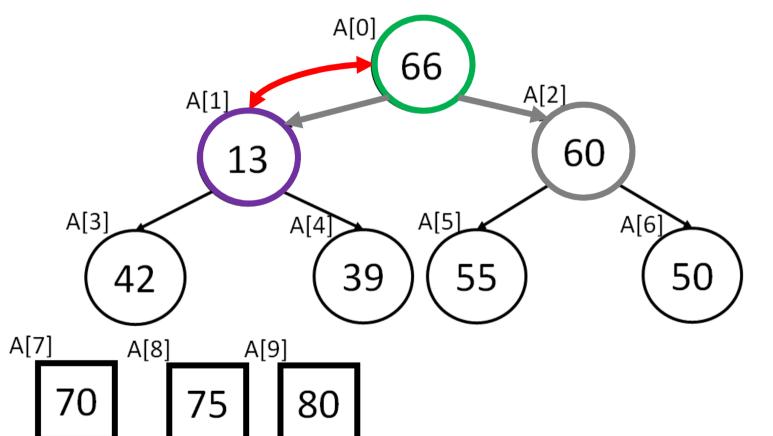




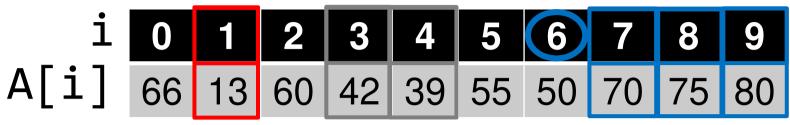


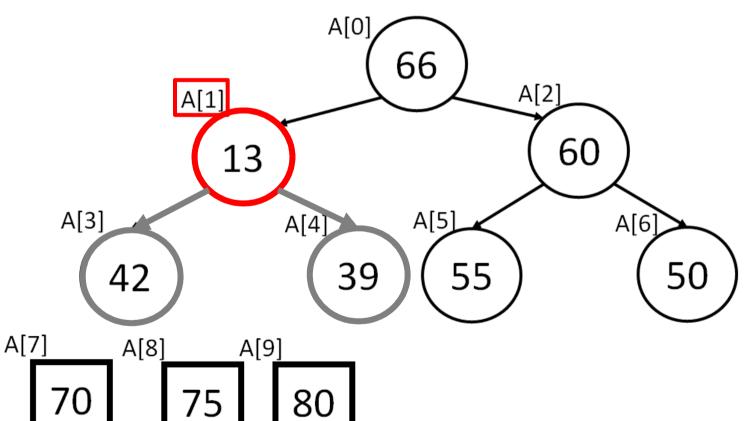




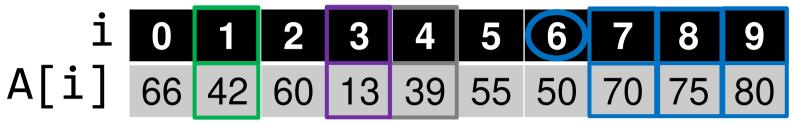


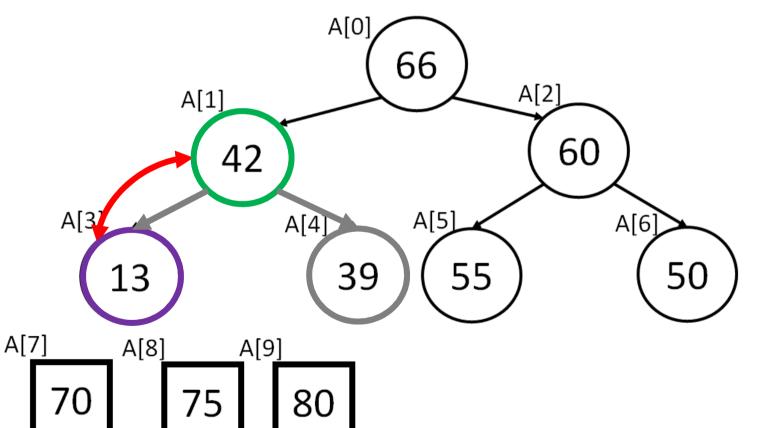






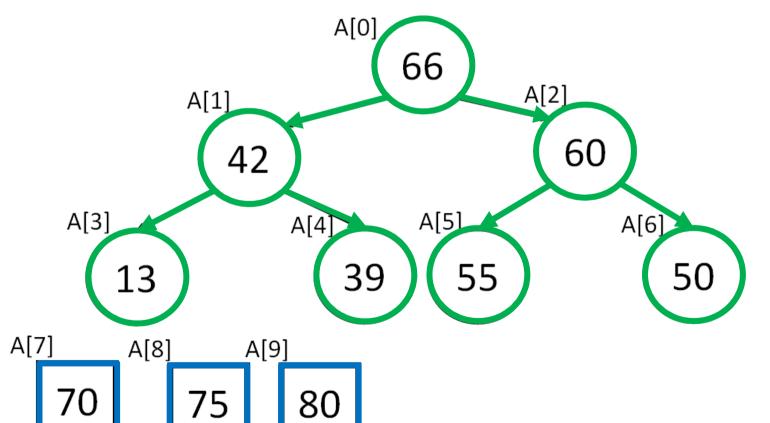




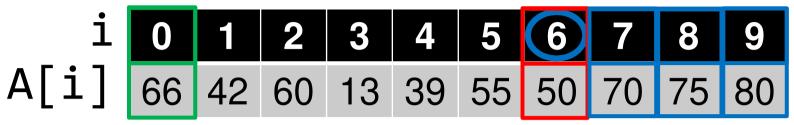


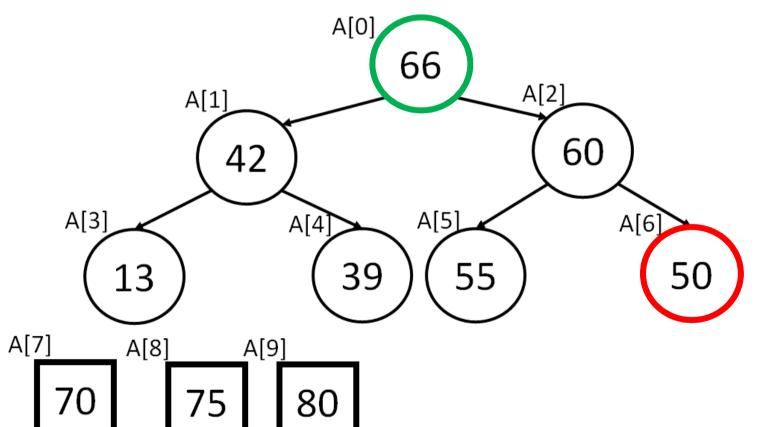




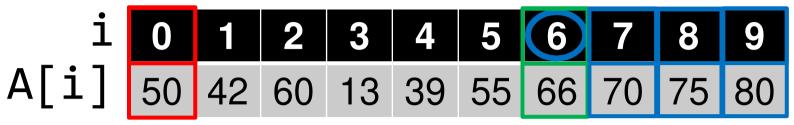


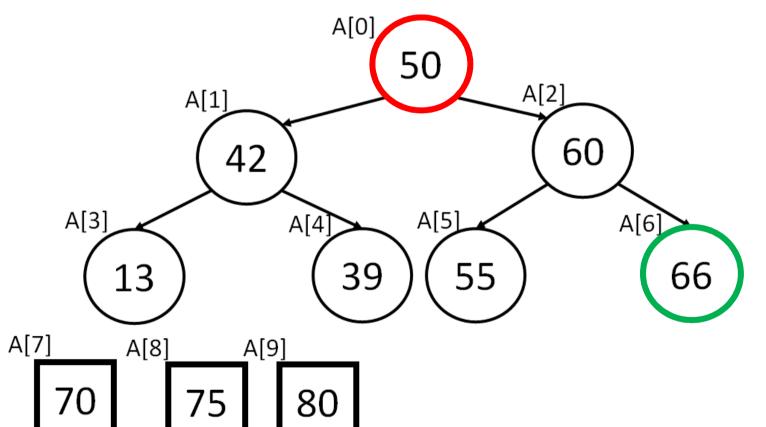




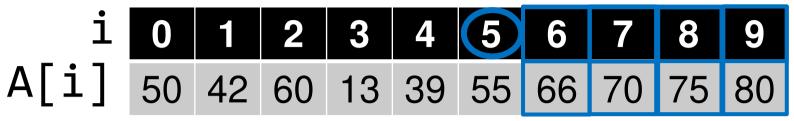


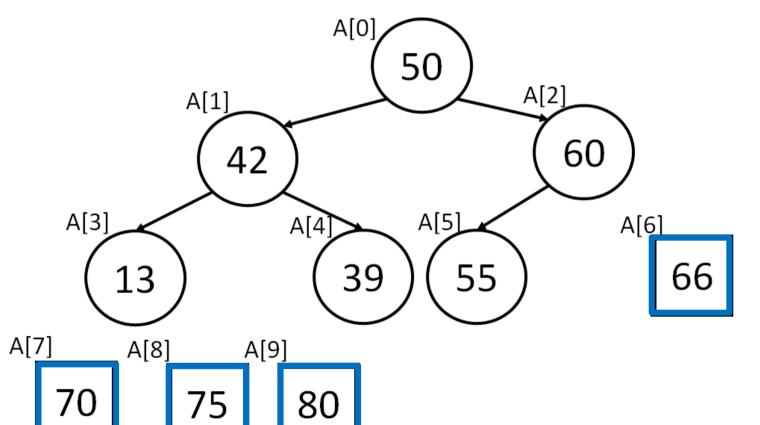




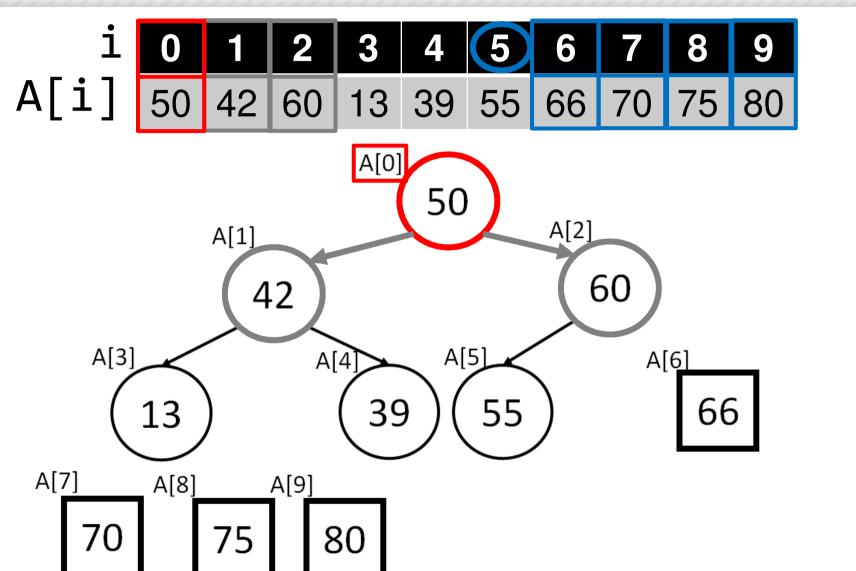




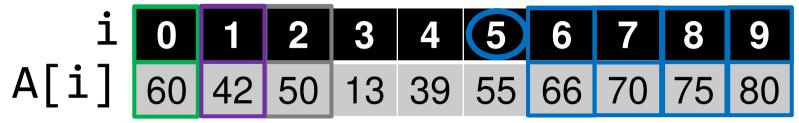


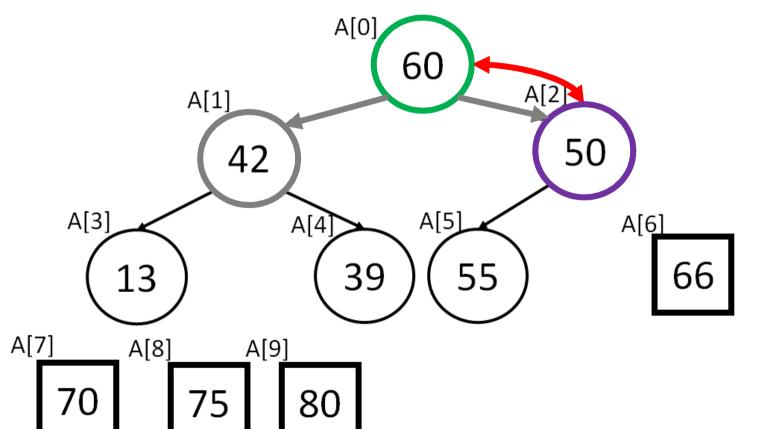




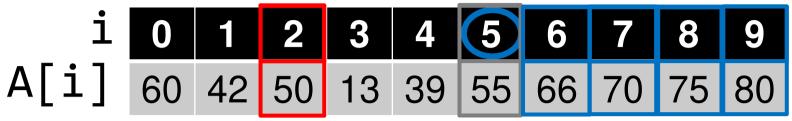


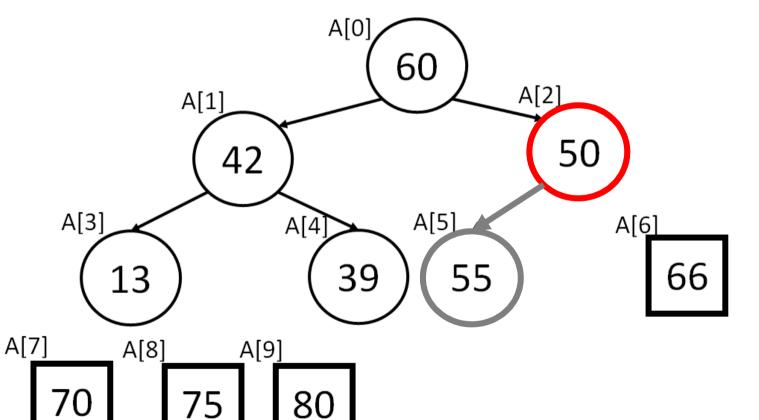




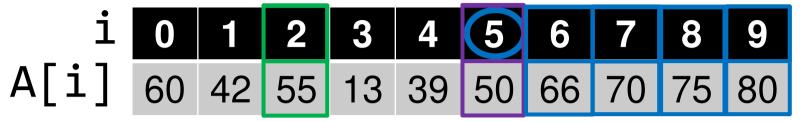


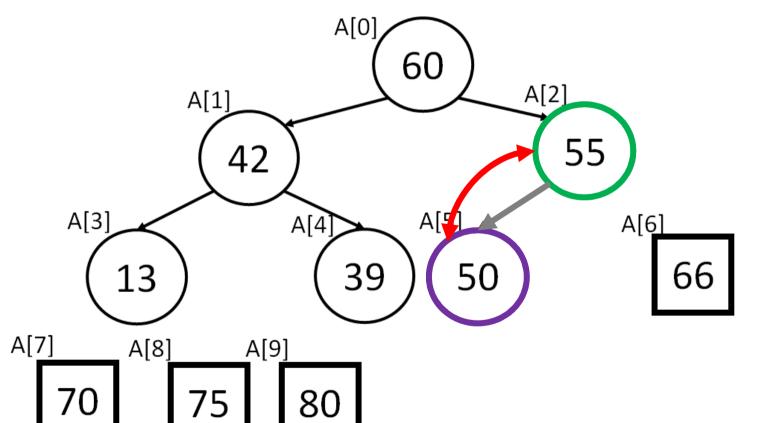






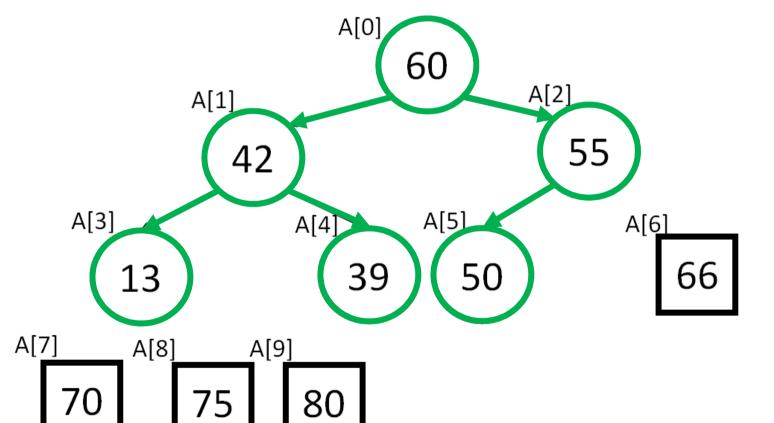






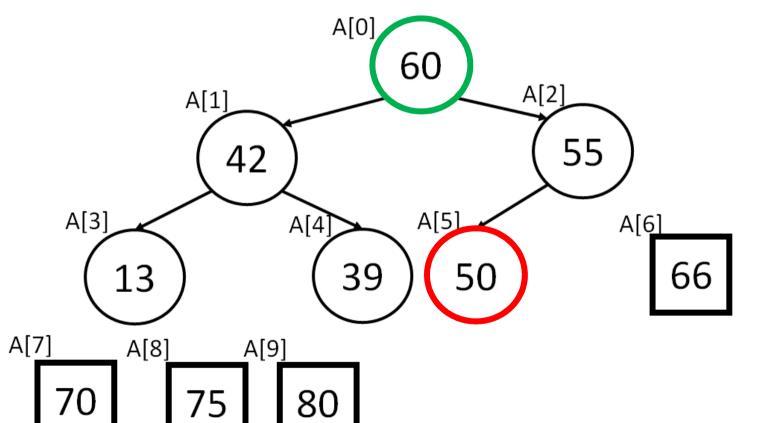




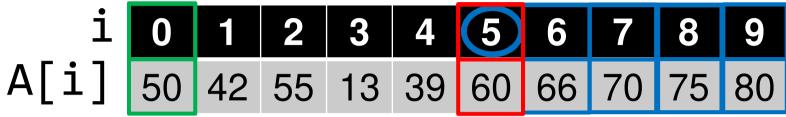


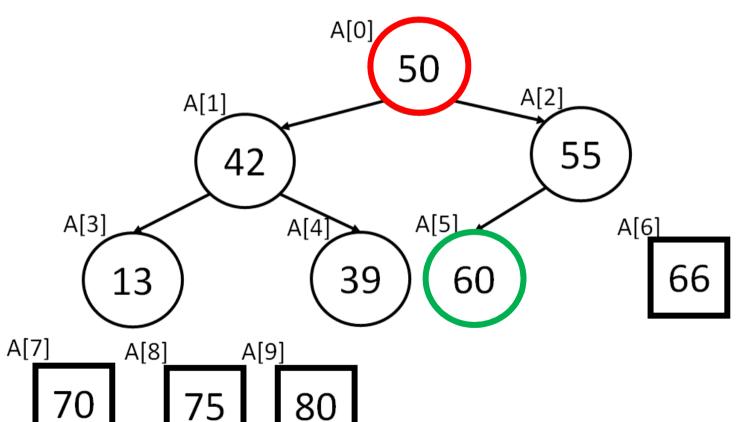






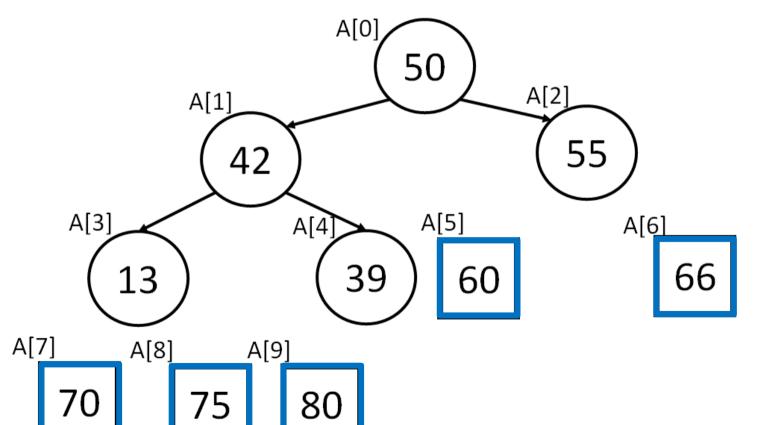




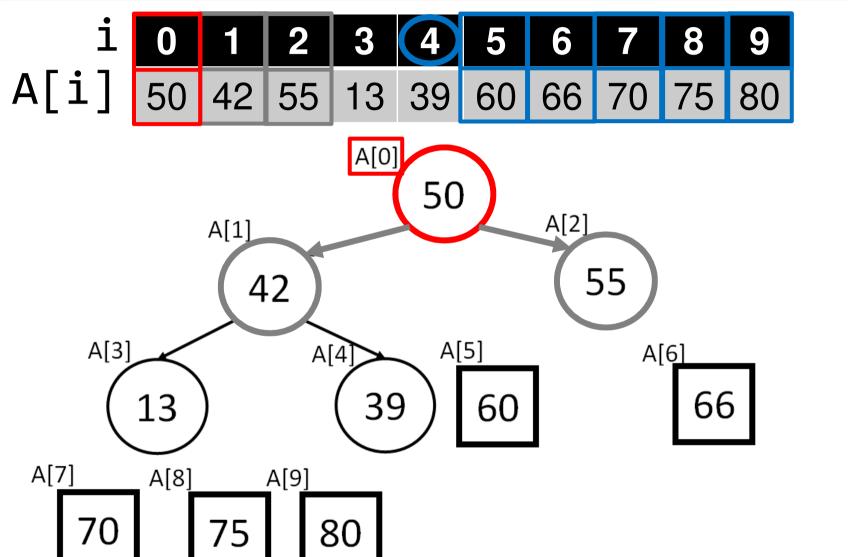




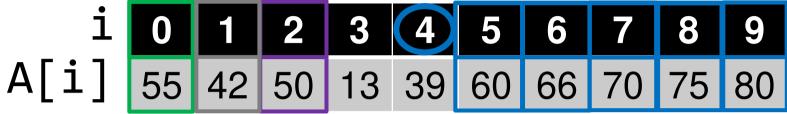


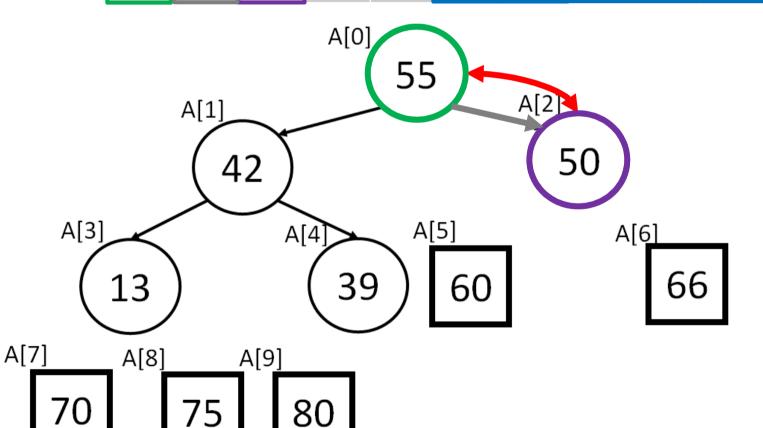






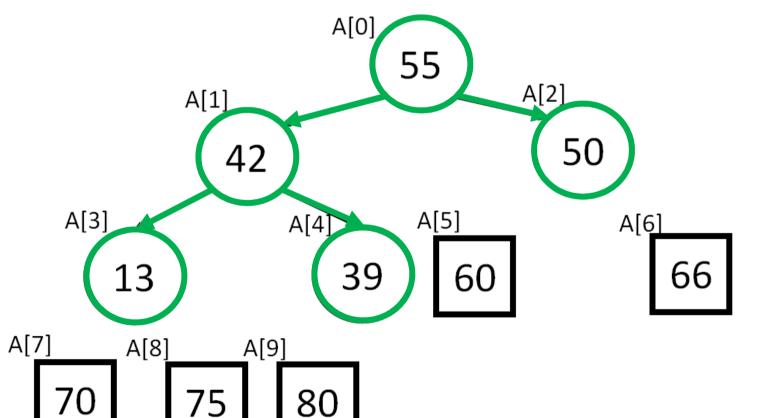




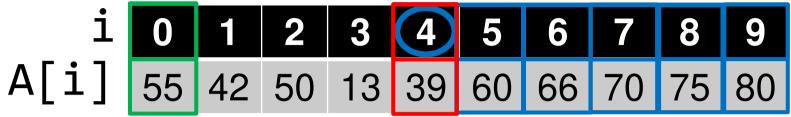


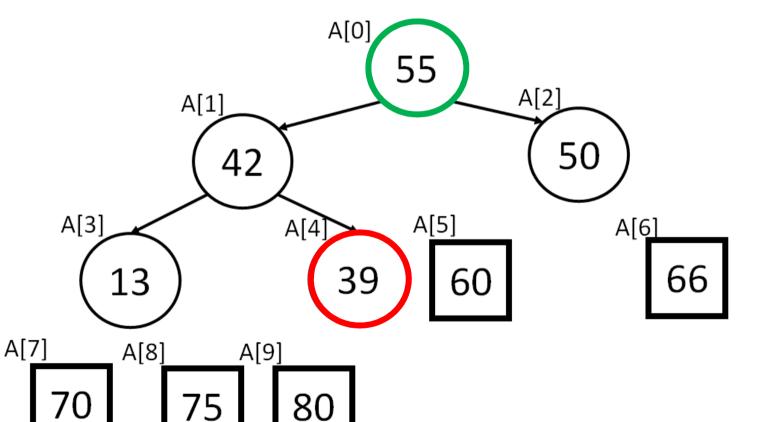






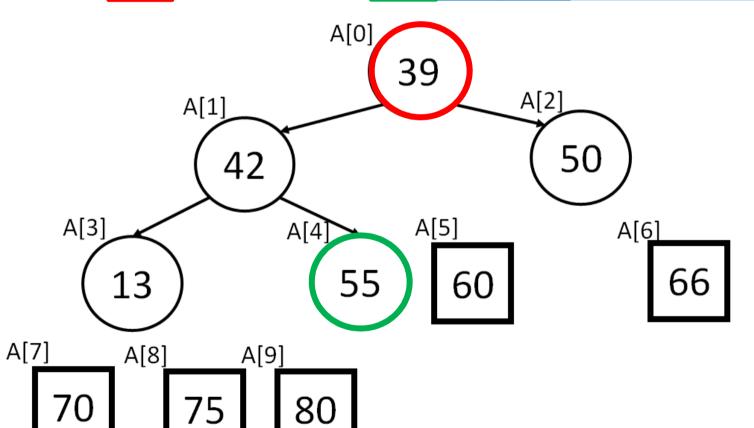




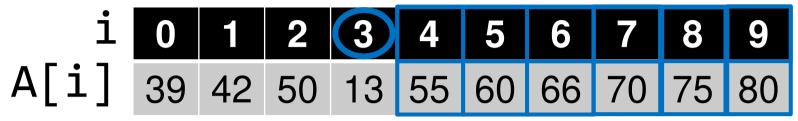


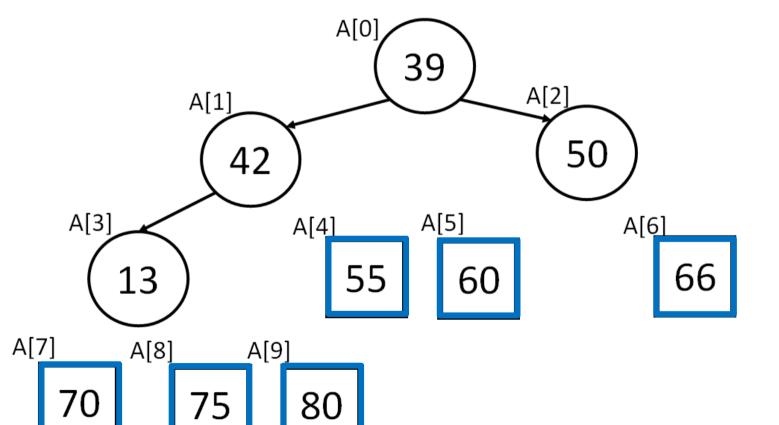




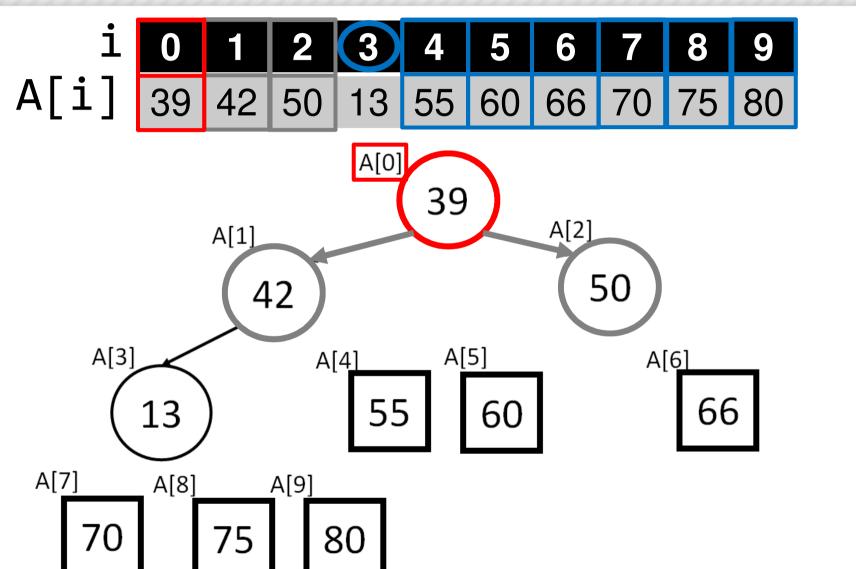




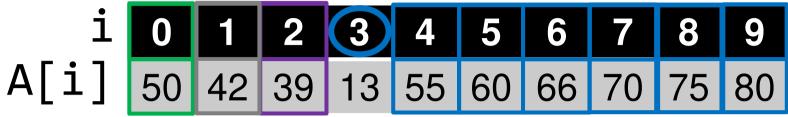


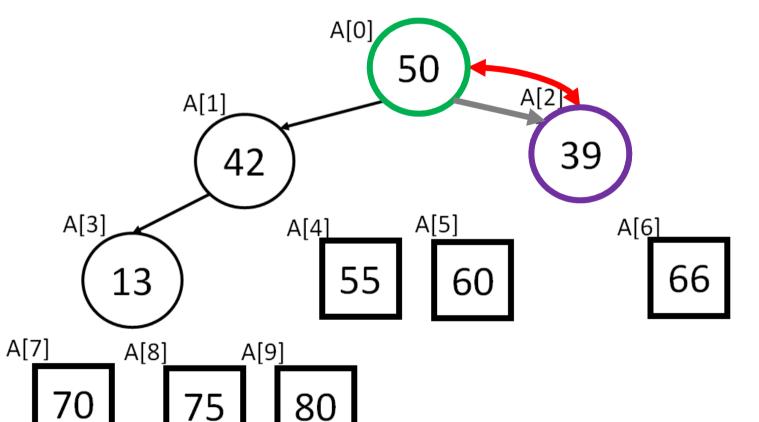






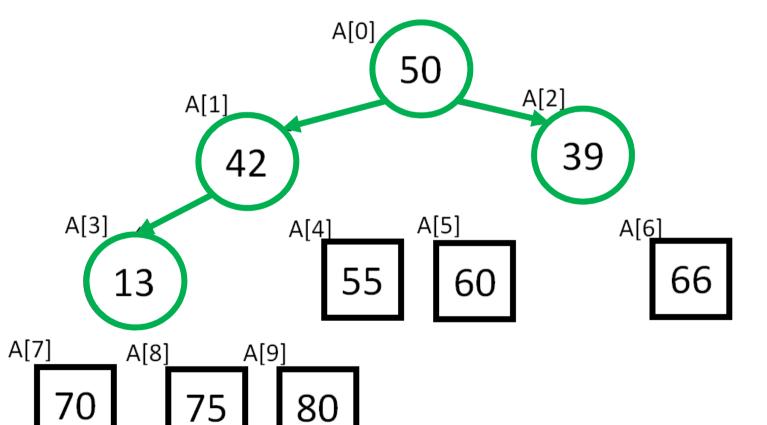




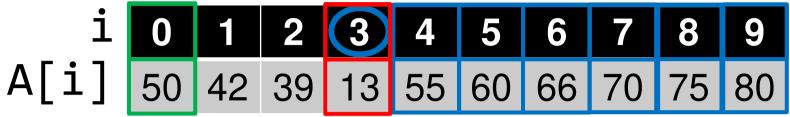


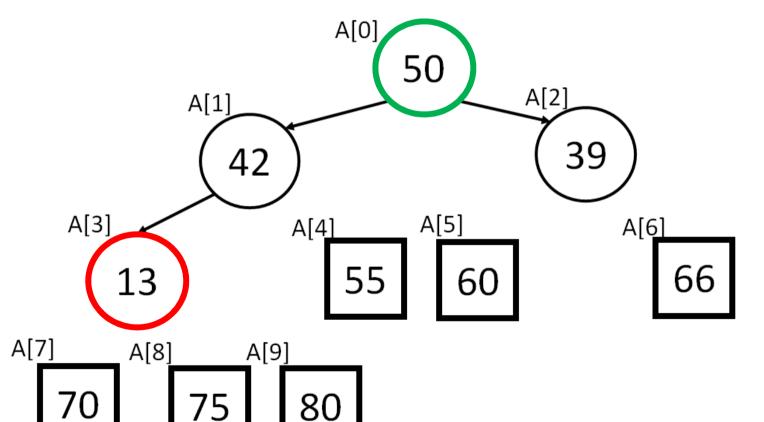






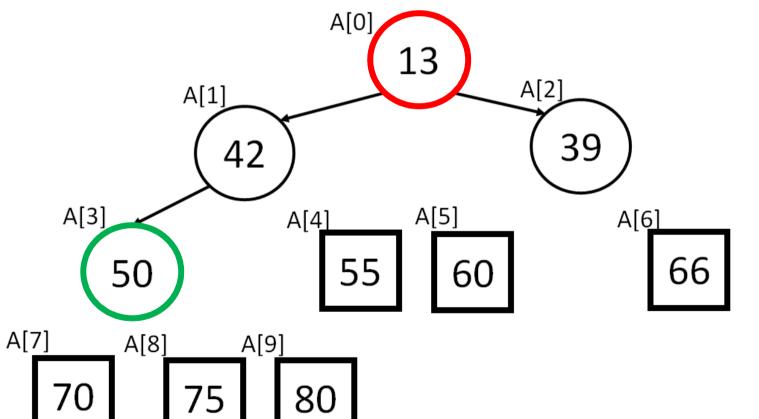






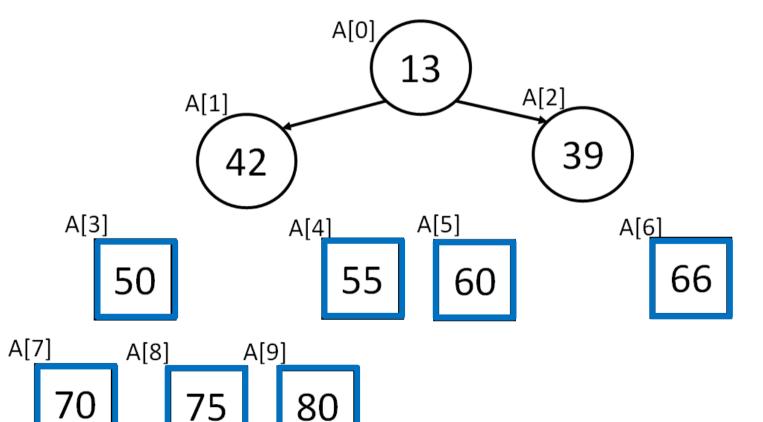




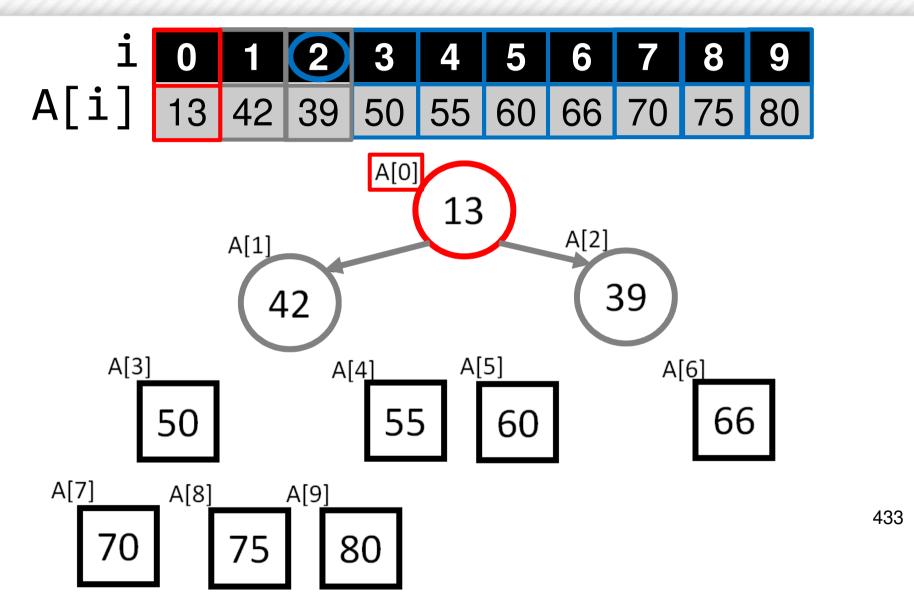






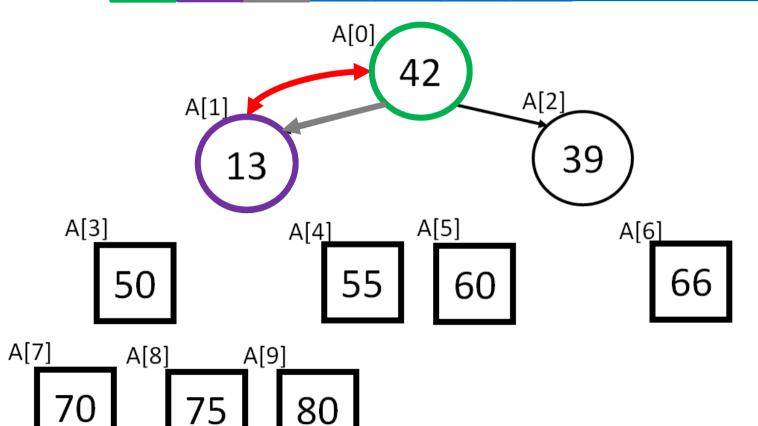




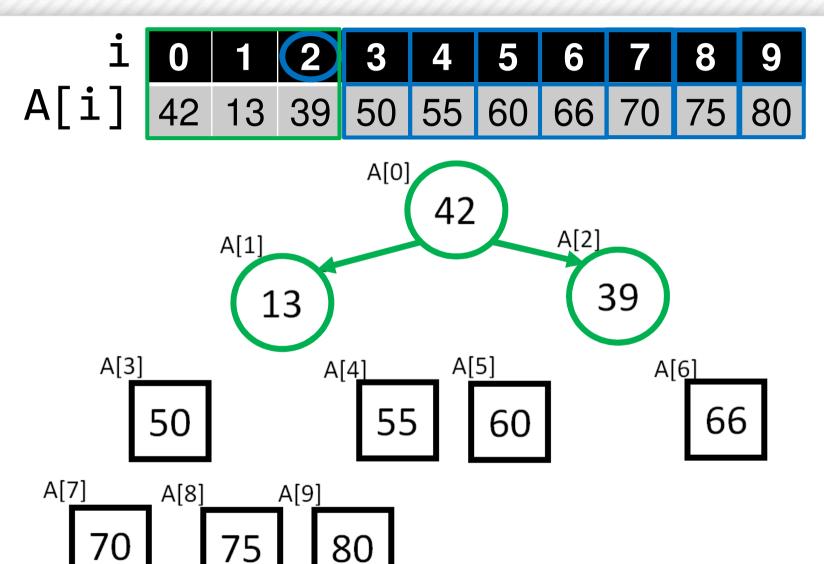




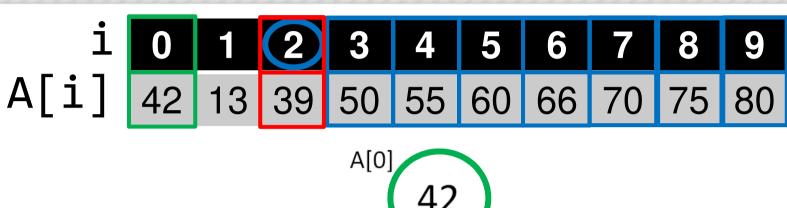


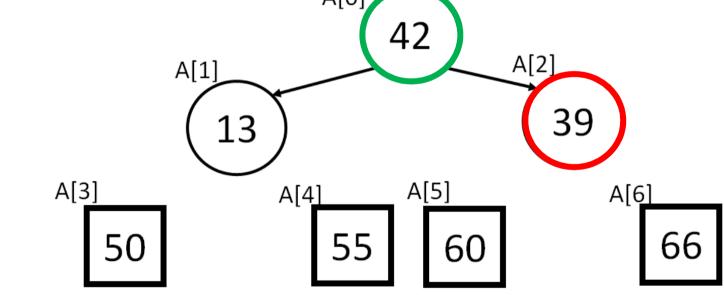


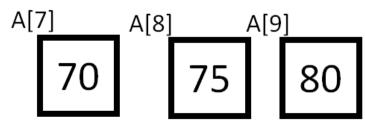




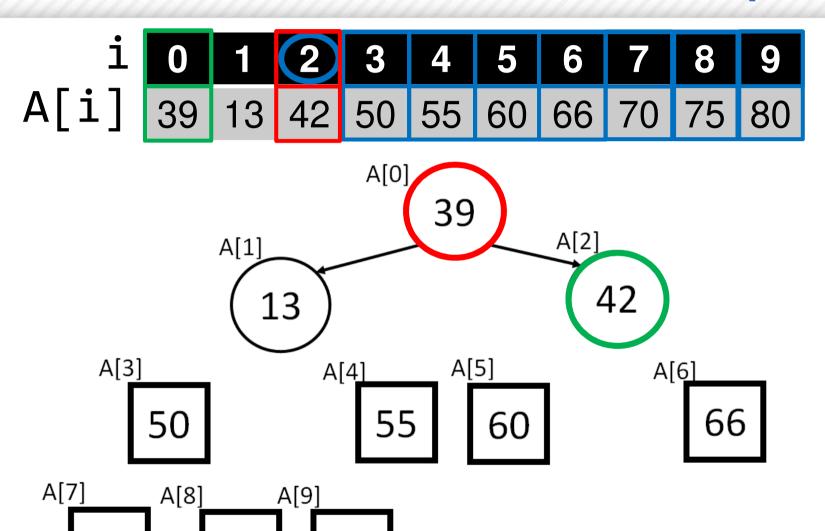




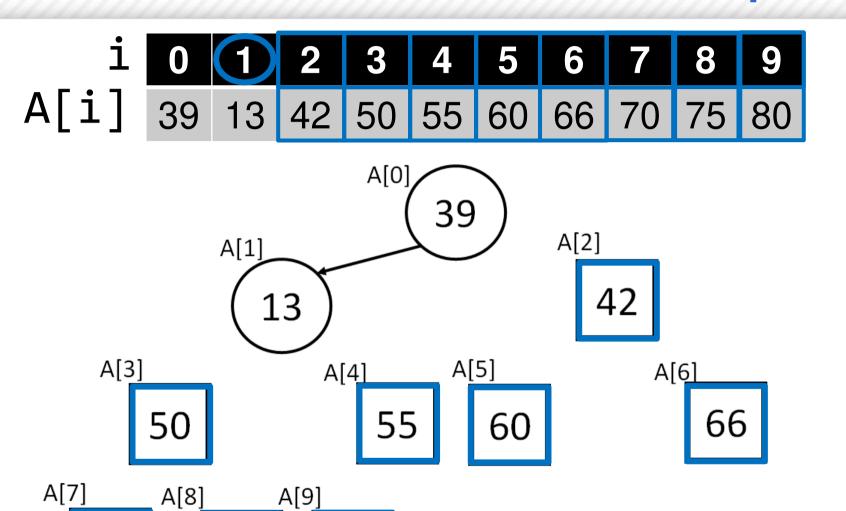




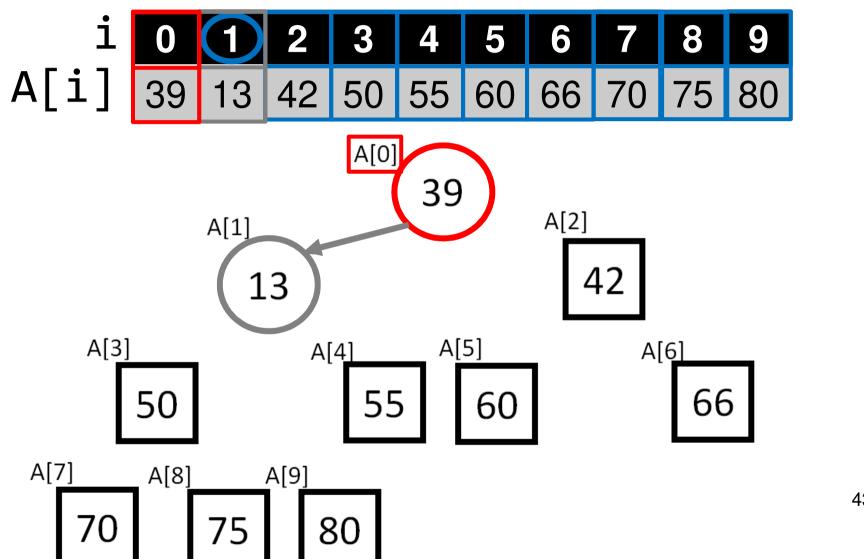




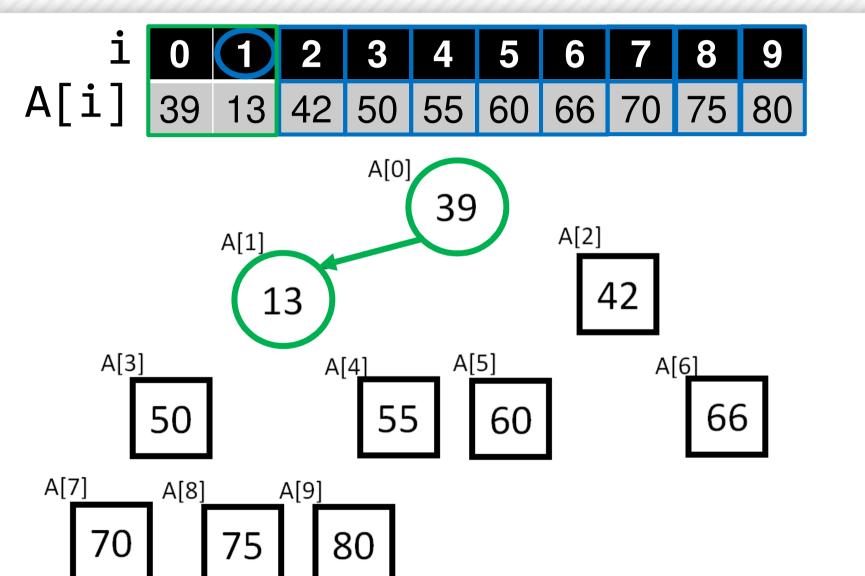




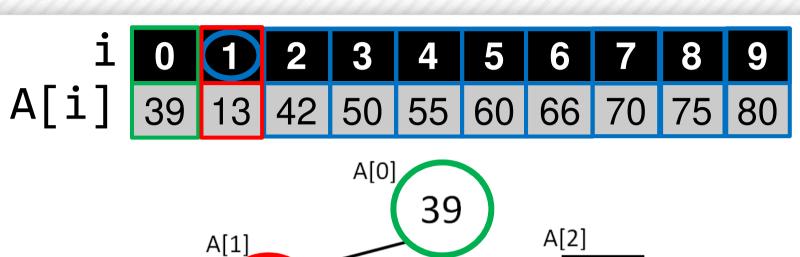


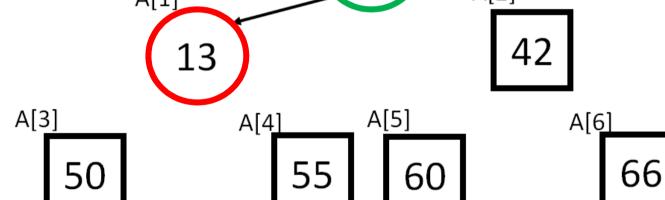


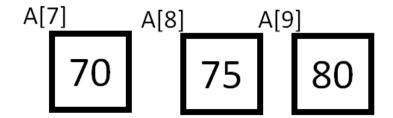




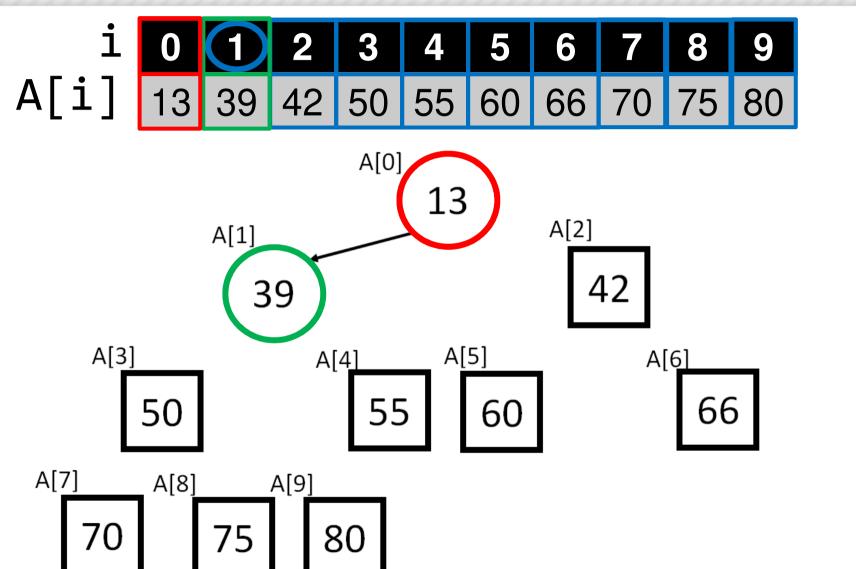




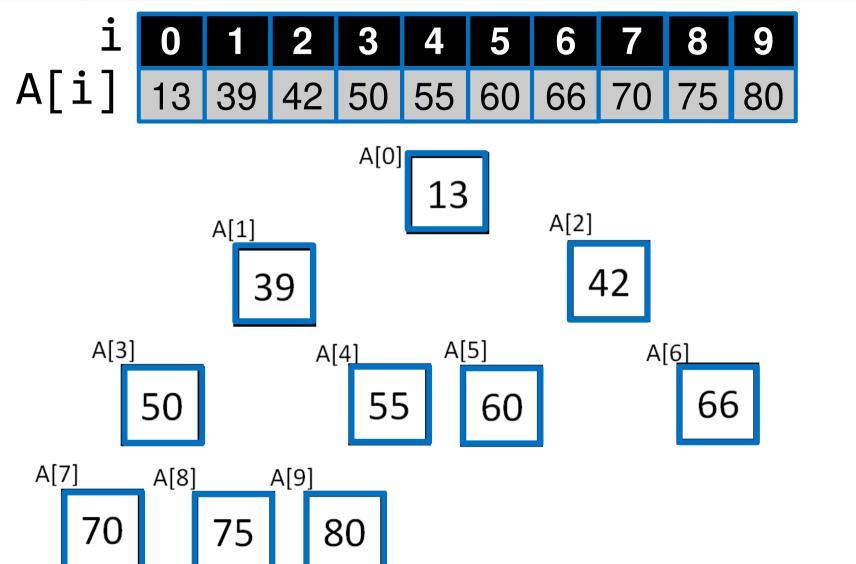














#### Estrutura de Dados II

Prof. Me. Pietro M. de Oliveira