Análise empírica de algoritmos de ordenação
Nome: Matheus Henrique Scabia de Jesus

O objetivo desta análise é comparar resultados obtidos de forma empírica, com os resultados encontrados de forma matemática, e ver se correspondem corretamente.

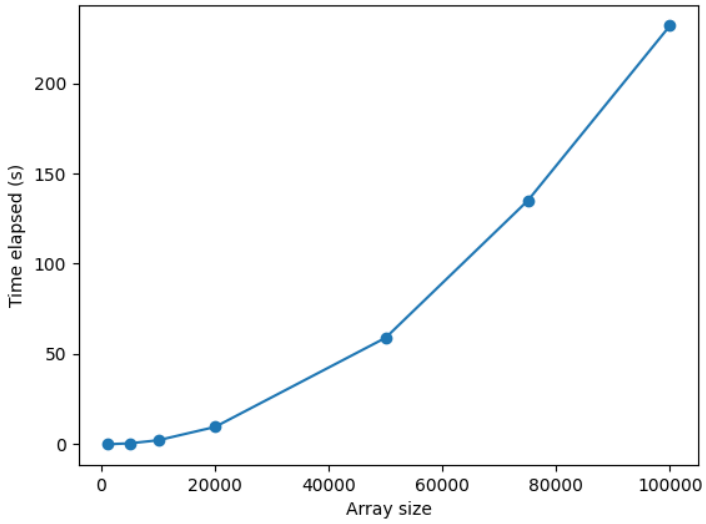
Vamos começar apresentando os algoritmos, tanto na linguagem Python quanto na linguagem C. E junto a eles, um gráfico relacionando o número N (que representa um tamanho de vetor), com o tempo para executar esta ordenação com determinado tamanho.

Linguagem Python

Algoritmo Insertion Sort:

```
import random
import matplotlib.pyplot as plt
import time

def insertSort(arr):
    for i in range(1, len(arr)):
        key = arr[i]
        j = i-1
        while j >= 0 and key < arr[j]:
            arr[j+1] = arr[j]
            j = j-1
        arr[j+1] = key

# Generate random arrays of integers
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
    start_time = time.time()
    insertSort(data)
    end_time = time.time()

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 3), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
```

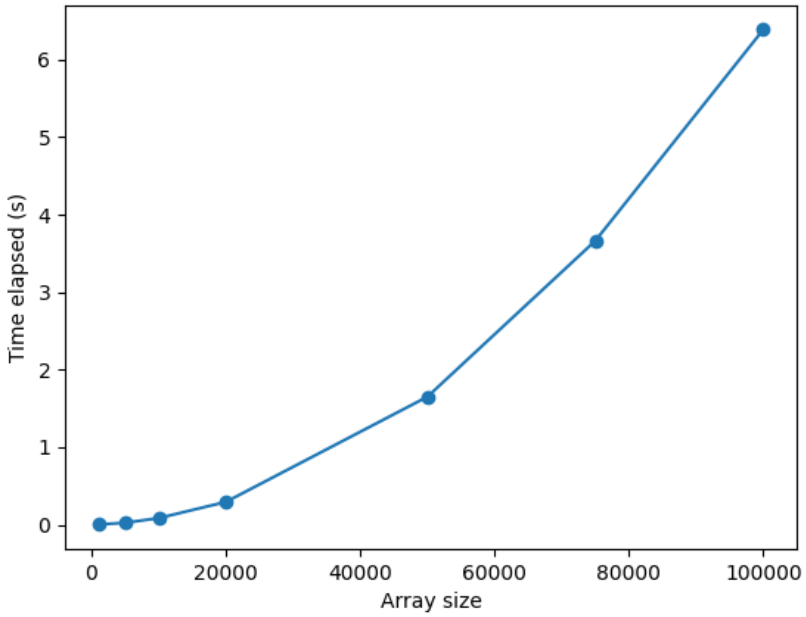
```
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```



Algoritmo QuickSort

```
import random
import time
import matplotlib.pyplot as plt

# function to partition the array on the basis of pivot element
def partition(array, low, high):
    i = (low - 1)
    pivot = array[high]
    for j in range(low, high):
        if array[j] <= pivot:
            i = i + 1

            # Swapping element at i with element at j
            (array[i], array[j]) = (array[j], array[i])

    # Swap the pivot element with the greater element specified by i
    (array[i + 1], array[high]) = (array[high], array[i + 1])

    # Return the position from where partition is done
    return i + 1

# function to perform quicksort
def quickSort(array):
    # Create an empty stack
    stack = []
```

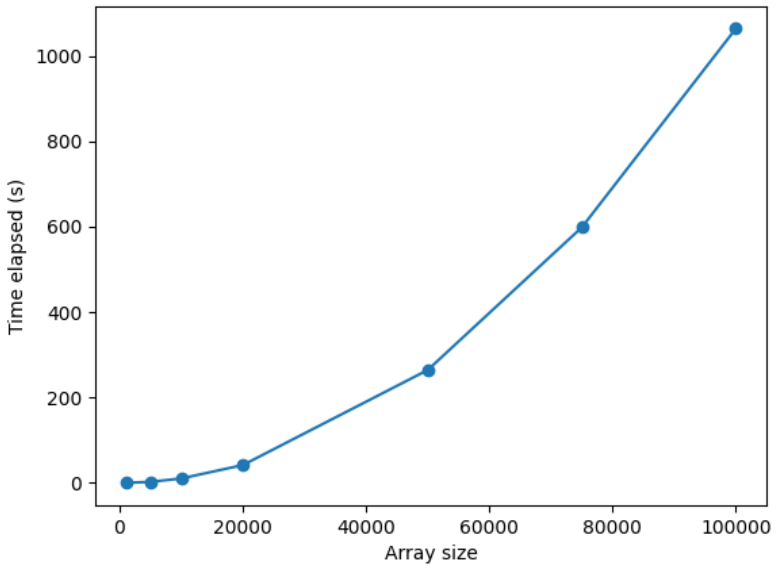
```
    # Push initial values of low and high to stack
    stack.append((0, len(array) - 1))

    # Loop until stack is empty
    while stack:

        # Pop low and high from stack
        low, high = stack.pop()

        # Set pivot element at its correct position in sorted array
        pi = partition(array, low, high)

        # If there are elements on left side of pivot,
        # then push left side to stack
        if pi - 1 > low:
            stack.append((low, pi - 1))

        # If there are elements on right side of pivot,
        # then push right side to stack
        if pi + 1 < high:
            stack.append((pi + 1, high))

# Generate random arrays of integers
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
    start_time = time.time()
    quickSort(data)
    end_time = time.time()

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 3), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```



Algoritmo BubbleSort:

```python
import random
import matplotlib.pyplot as plt
import time

def bubbleSort(arr):
    for i in range(len(arr)):
        for j in range(len(arr) - 1):
            if arr[j] > arr[j+1]:
                arr[j], arr[j+1] = arr[j+1], arr[j]

# Generate random arrays of integers
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
    start_time = time.time()
    bubbleSort(data)
    end_time = time.time()

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
```

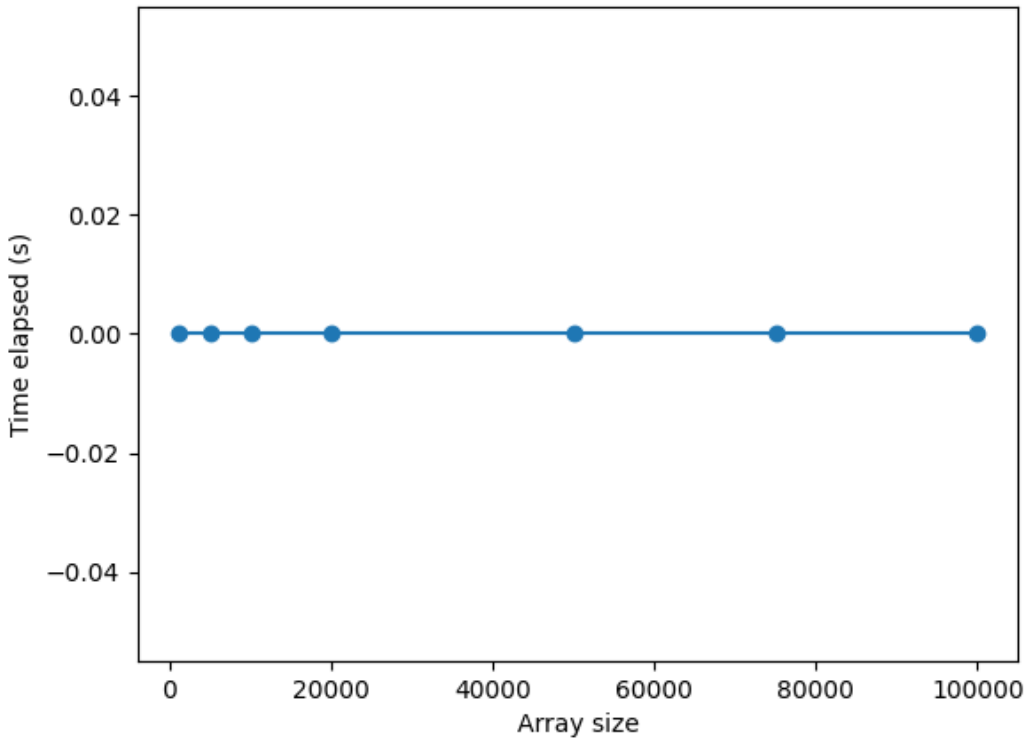
```
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 3), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```



Algoritmo de Busca sequencial:

```
import random
import re
import matplotlib.pyplot as plt
import time

def busca_sequencial(lista, item):
    for i in range(len(lista)):
        if lista[i] == item:
            return i
    return None


# Generate random arrays of integers
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
```

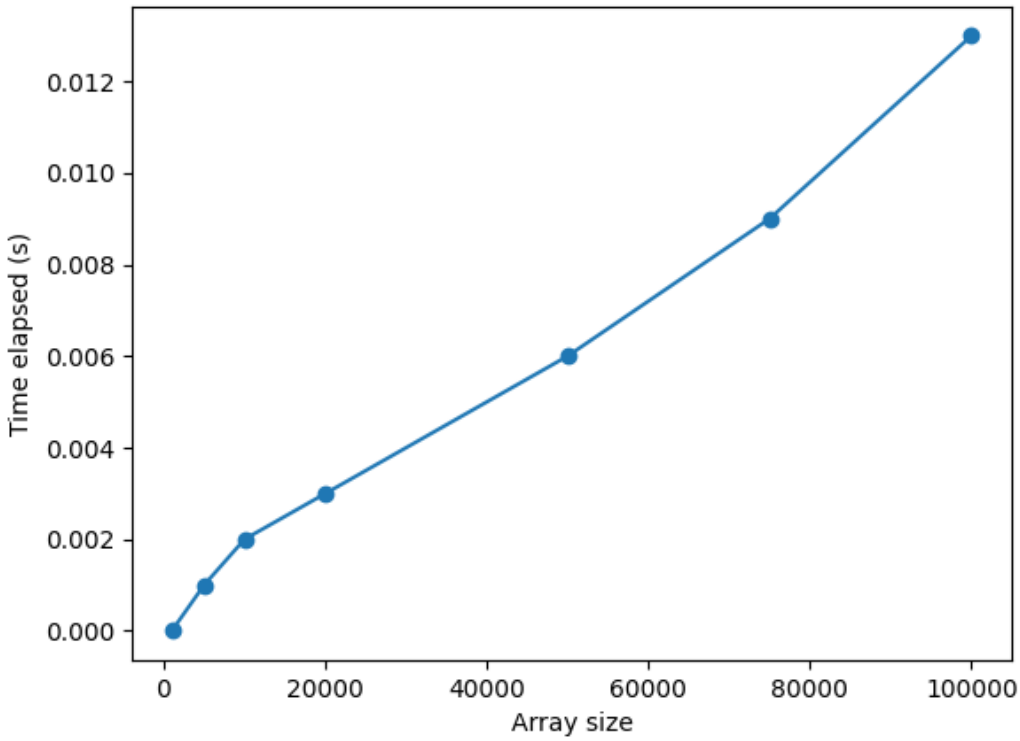
```
    start_time = time.time()
    retorno = busca_sequencial(data, 53)
    end_time = time.time()
    print(retorno)

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 6), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```



Algoritmo de Busca binária não recursiva:

```
import random
import time
import matplotlib.pyplot as plt

def pesquisaBinariaNaoRecursiva(lista, item):
    lista_ordenada = sorted(lista)
    primeiro = 0
```

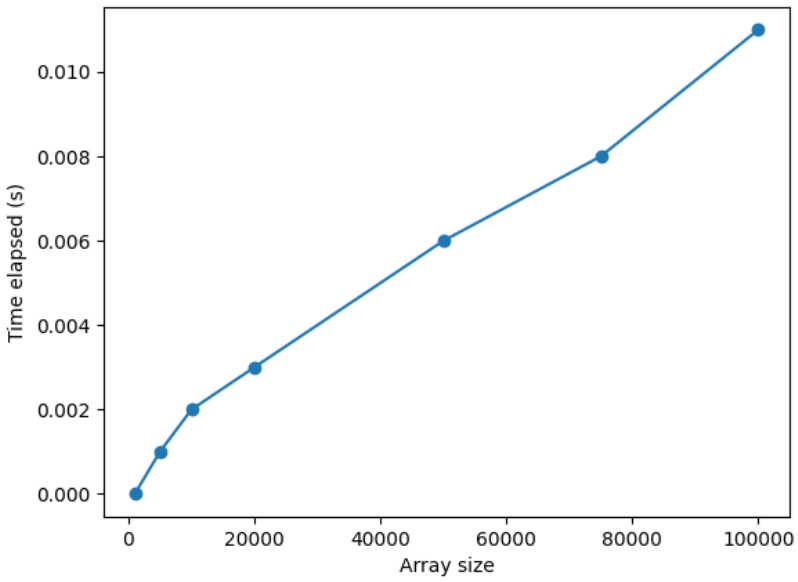
```
    ultimo = len(lista_ordenada) - 1
    while primeiro <= ultimo:
        meio = (primeiro + ultimo) // 2
        if lista_ordenada[meio] == item:
            return meio
        else:
            if item < lista_ordenada[meio]:
                ultimo = meio - 1
            else:
                primeiro = meio + 1
    return None

# Generate random arrays of integers
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
    start_time = time.time()
    retorno = pesquisaBinariaNaoRecursiva(data, 50)
    end_time = time.time()
    print(retorno)

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 3), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```



Algoritmo de Busca Binaria Recursiva:

```
import random
import time
import matplotlib.pyplot as plt


def pesquisaBinariaRecursiva(lista, item):
    lista_ordenada = sorted(lista)
    if len(lista_ordenada) == 0:
        return False
    else:
        meio = len(lista_ordenada) // 2
        if lista_ordenada[meio] == item:
            return True
        else:
            if item < lista_ordenada[meio]:
                return pesquisaBinariaRecursiva(lista_ordenada[:meio],
item)
            else:
                return pesquisaBinariaRecursiva(lista_ordenada[meio +
1:], item)

# Generate random arrays of integers
```

```
sizes = [1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000]
times = []
for size in sizes:
    data = [random.randint(0, 100) for _ in range(size)]

    # Sort the array and measure the elapsed time
    start_time = time.time()
    retorno = pesquisaBinariaRecursiva(data, 50)
    end_time = time.time()
    print(retorno)

    # Append the elapsed time to the list of times
    times.append(end_time - start_time)
    print("Tempo decorrido no tamanho",size,":", round(end_time -
start_time, 3), "segundos")

# Plot the graph
plt.plot(sizes, times, 'o-')
plt.xlabel('Array size')
plt.ylabel('Time elapsed (s)')
plt.show()
```

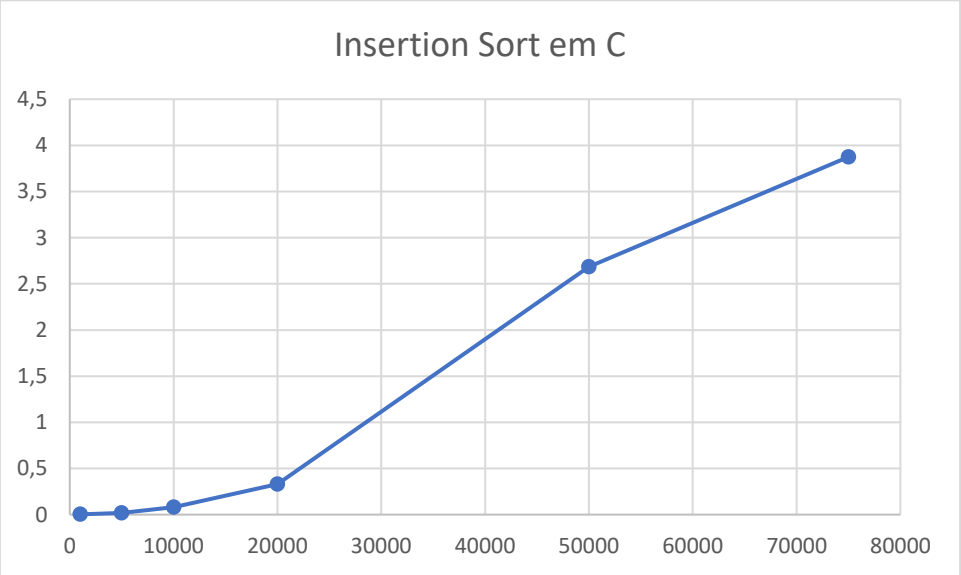


Linguagem C

Algoritmo de Insert Sort:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

void insertionSort(int arr[], int n) {
    int i, key, j;
    for (i = 1; i < n; i++) {
        key = arr[i];
        j = i - 1;

        /* Move os elementos do arr[0..i-1], que são maiores que a chave, para uma posição à frente de sua posição atual */
        while (j >= 0 && arr[j] > key) {
            arr[j + 1] = arr[j];
            j = j - 1;
        }
        arr[j + 1] = key;
    }
}

int main() {
    int sizes[] = {1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000}; /* Tamanhos dos arrays a serem ordenados */
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com o tempo atual */

    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 101; /* Gera um número aleatório entre 0 e 100 */
        }

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da ordenação */
        insertionSort(arr, n);
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da ordenação */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /* Calcula o tempo de execução em segundos */
```

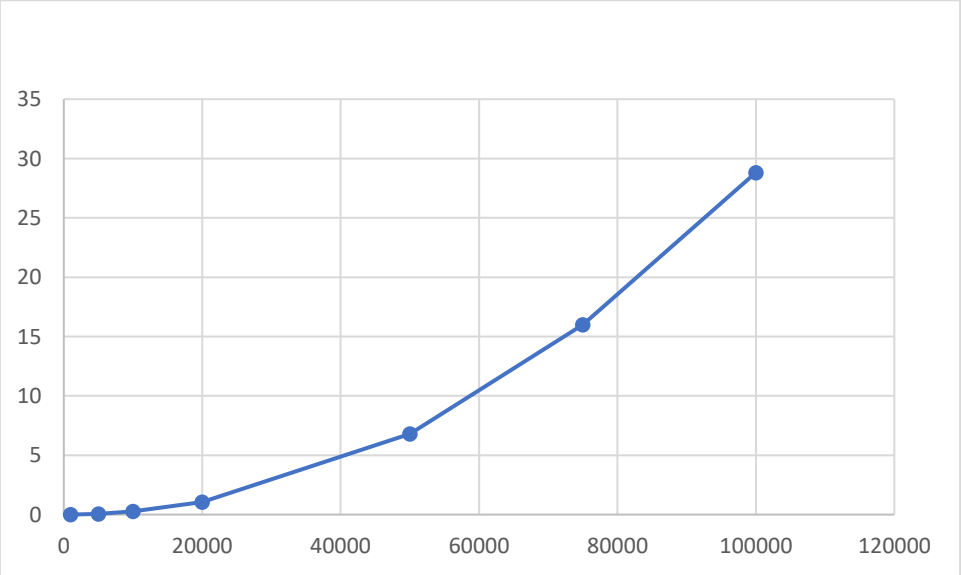
```
        printf("Tempo de execucao para tamanho %d foi: %.4f segundos\n",
n, tempo);
    }

    return 0;
}
```



Algoritmo de bublesort:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

void bubbleSort(int arr[], int n) {
    int i, j, temp;
    for (i = 0; i < n - 1; i++) {
        for (j = 0; j < n - i - 1; j++) {
            if (arr[j] > arr[j + 1]) {
                /* Troca os elementos adjacentes se o primeiro for maior
que o segundo */
                temp = arr[j];
                arr[j] = arr[j + 1];
                arr[j + 1] = temp;
            }
        }
    }
}

int main() {
    int sizes[] = {1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000}; /*
Tamanhos dos arrays a serem ordenados */
```

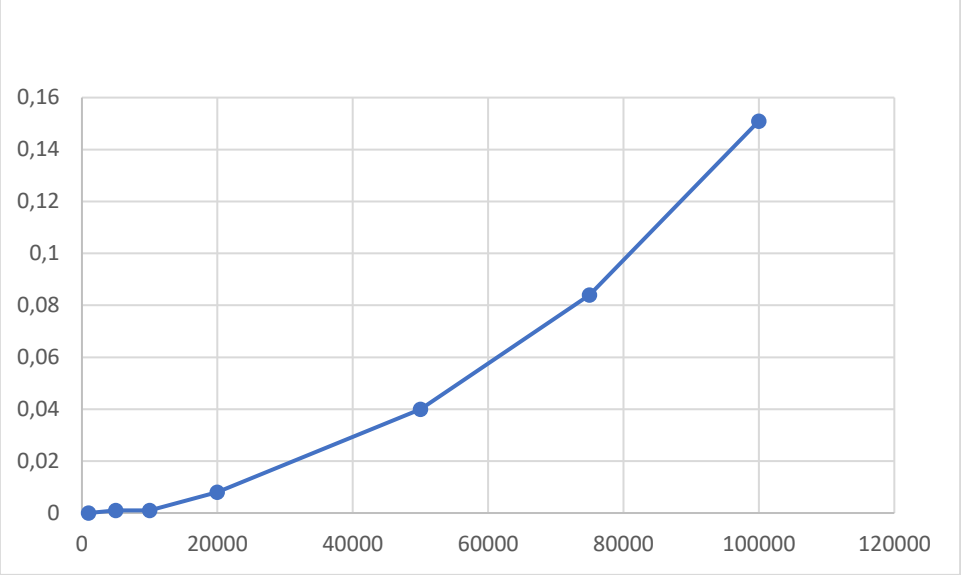
```c
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de
tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com
o tempo atual */

    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 101; /* Gera um número aleatório entre 0 e
100 */
        }

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da ordenação
*/
        bubbleSort(arr, n);
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da ordenação */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /*
Calcula o tempo de execução em segundos */
        printf("Tempo de execucao do tamanho %d foi: %.4f segundos\n", n,
tempo);
    }

    return 0;
}
```



Algoritmo de QuickSort:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

void swap(int* a, int* b) {
    int t = *a;
    *a = *b;
    *b = t;
}

int partition(int arr[], int low, int high) {
    int pivot = arr[high];
    int i = (low - 1);

    for (int j = low; j <= high - 1; j++) {
        if (arr[j] < pivot) {
            i++;
            swap(&arr[i], &arr[j]);
        }
    }
    swap(&arr[i + 1], &arr[high]);
    return (i + 1);
}

void quickSort(int arr[], int low, int high) {
    if (low < high) {
        int pi = partition(arr, low, high);
        quickSort(arr, low, pi - 1);
        quickSort(arr, pi + 1, high);
    }
}

int main() {
    int sizes[] = {1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000}; /*
Tamanhos dos arrays a serem ordenados */
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de
tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com
o tempo atual */

    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 101; /* Gera um número aleatório entre 0 e
100 */
```

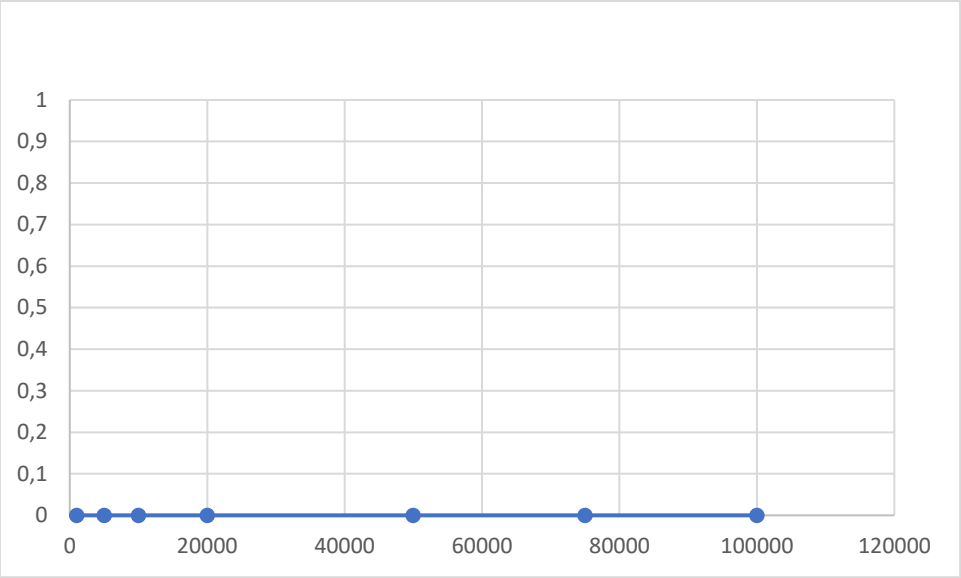
```
        }

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da ordenação
*/
        quickSort(arr, 0, n - 1);
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da ordenação */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /*
Calcula o tempo de execução em segundos */
        printf("Tempo de execucao do tamanho %d foi: %.4f segundos\n", n,
tempo);
    }

    return 0;
}
```



Algoritmo de Pesquisa sequencial:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

int sequentialSearch(int arr[], int n, int x) {
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        if (arr[i] == x) {
            return i;
        }
    }
    return -1;
}
```

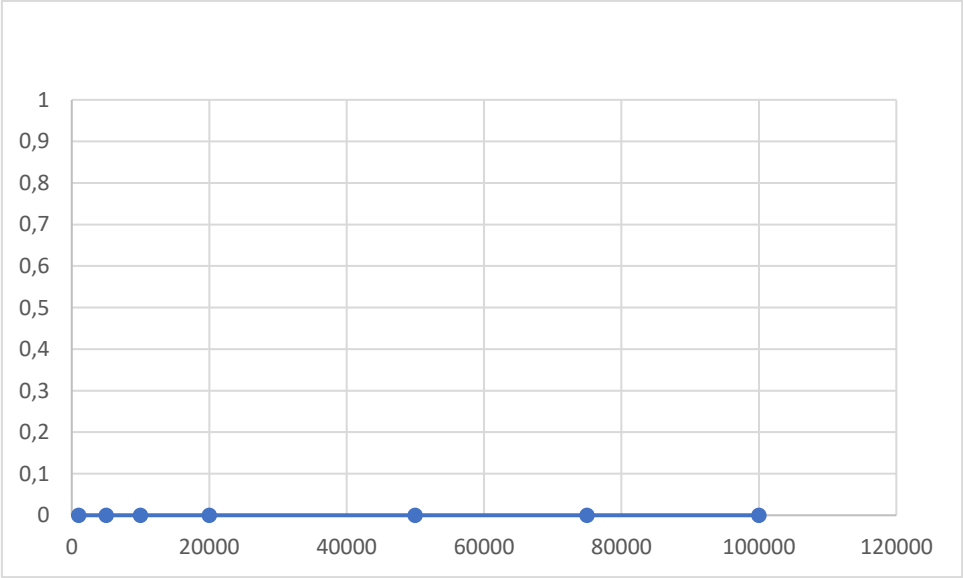
```c
int cmpfunc(const void *a, const void *b) {
    return (*(int *)a - *(int *)b);
}

int main() {
    int sizes[] = {1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000}; /*
Tamanhos dos arrays a serem pesquisados */
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de
tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com
o tempo atual */

    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 101; /* Gera um número aleatório entre 0 e
100 */
        }
        int x = rand() % 101; /* Gera um número aleatório para ser
pesquisado */

        qsort(arr, n, sizeof(int), cmpfunc); /* Ordena o array em ordem
crescente */

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da pesquisa
*/
        int pos = sequentialSearch(arr, n, x);
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da pesquisa */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /*
Calcula o tempo de execução em segundos */
        if (pos == -1) {
            printf("O elemento %d nao foi encontrado no array de tamanho
%d em %.4f segundos\n", x, n, tempo);
        } else {
            printf("O elemento %d foi encontrado na posicao %d do array
de tamanho %d em %.4f segundos\n", x, pos, n, tempo);
        }
    }

    return 0;
}
```



Algoritmo de busca binária não recursivo:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

int binarySearch(int arr[], int n, int x) {
    int left = 0, right = n - 1;
    while (left <= right) {
        int mid = left + (right - left) / 2;
        if (arr[mid] == x) {
            return mid;
        } else if (arr[mid] < x) {
            left = mid + 1;
        } else {
            right = mid - 1;
        }
    }
    return -1;
}

int cmpfunc(const void *a, const void *b) {
    return (*(int *)a - *(int *)b);
}

int main() {
    int sizes[] = {100000}; /* Tamanhos dos arrays a serem pesquisados */
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de
tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com
o tempo atual */
```

```c
    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 1001; /* Gera um número aleatório entre 0 e
100 */
        }
        int x = rand() % 1001; /* Gera um número aleatório para ser
pesquisado */

        qsort(arr, n, sizeof(int), cmpfunc); /* Ordena o array em ordem
crescente */

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da pesquisa
*/
        int pos = binarySearch(arr, n, x);
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da pesquisa */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /*
Calcula o tempo de execução em segundos */
        if (pos == -1) {
            printf("O elemento %d nao foi encontrado no array de tamanho
%d em %.4f segundos\n", x, n, tempo);
        } else {
            printf("O elemento %d foi encontrado na posicao %d do array
de tamanho %d em %.4f segundos\n", x, pos, n, tempo);
        }
    }

    return 0;
}
```



Algoritmo de busca binária recursiva:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

int binarySearchRecursive(int arr[], int left, int right, int x) {
    if (left > right) {
        return -1;
    }
    int mid = left + (right - left) / 2;
    if (arr[mid] == x) {
        return mid;
    } else if (arr[mid] < x) {
        return binarySearchRecursive(arr, mid + 1, right, x);
    } else {
        return binarySearchRecursive(arr, left, mid - 1, x);
    }
}

int cmpfunc(const void *a, const void *b) {
    return (*(int *)a - *(int *)b);
}

int main() {
    int sizes[] = {1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 75000, 100000}; /*
Tamanhos dos arrays a serem pesquisados */
    int num_sizes = sizeof(sizes) / sizeof(sizes[0]); /* Número de
tamanhos */
    srand(time(NULL)); /* Inicializa o gerador de números aleatórios com
o tempo atual */

    for (int i = 0; i < num_sizes; i++) {
        int n = sizes[i];
        int arr[n];
        for (int j = 0; j < n; j++) {
            arr[j] = rand() % 101; /* Gera um número aleatório entre 0 e
100 */
        }
        int x = rand() % 101; /* Gera um número aleatório para ser
pesquisado */

        qsort(arr, n, sizeof(int), cmpfunc); /* Ordena o array em ordem
crescente */

        clock_t inicio = clock(); /* Marca o tempo de início da pesquisa
*/
        int pos = binarySearchRecursive(arr, 0, n - 1, x);
```

```
        clock_t fim = clock(); /* Marca o tempo de fim da pesquisa */

        double tempo = (double)(fim - inicio) / CLOCKS_PER_SEC; /*
Calcula o tempo de execução em segundos */
        if (pos == -1) {
            printf("O elemento %d nao foi encontrado no array de tamanho
%d em %.4f segundos\n", x, n, tempo);
        } else {
            printf("O elemento %d foi encontrado na posicao %d do array
de tamanho %d em %.4f segundos\n", x, pos, n, tempo);
        }
    }

    return 0;
}
```

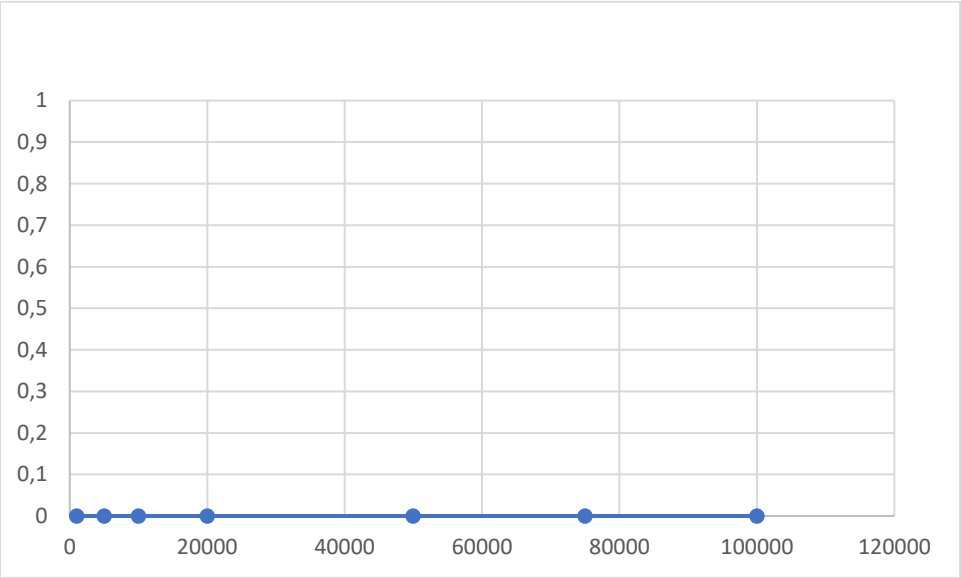
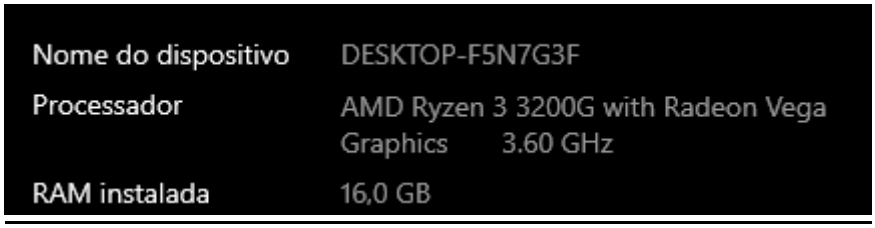
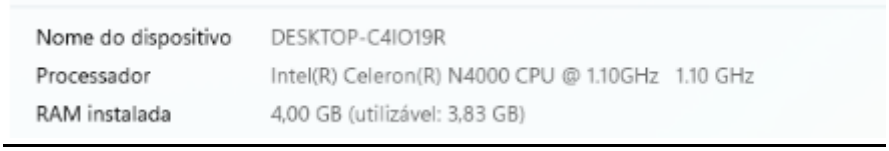


Tabela comparando tempos de 2 diferentes máquinas:

Máquina 1:



Máquina 2:



	Tempo (segundos)				N = 1000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	**Função custo**	**Classificação assintótica**
Insertsort	0,003	0,004	0.025	0,04	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	0,003	0,003	0.096	0,11	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0	0	0.002	0,01	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0,005	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0.001	0,007	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0.001	0,005	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 5000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	0,017	0,032	0.563	0,64	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	0,068	0,132	2.554	3,221	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,001	0,01	0.024	0,7	F(n) = n log n	O(n log n)

Busca sequencial	0	0	0.001	0,003	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0.001	0,003	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0.001	0,002	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 10000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	0,08	0,129	2.258	2,669	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	0,279	0,4512	10.381	12,045	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,001	0,009	0.084	0,102	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0,004	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0.001	0,001	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0,002	0,002	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 20000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	0,329	0,756	9.638	10,978	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	1,056	2,873	41.785	43,67	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,008	0,005	0.293	0,413	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0,002	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0.002	0,005	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0,003	0,007	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 50000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	2,685	4,159	59.014	65,987	F(n) = n^2	O(n^2)

Bubblesort	6,79	8,34	264.47	272,56	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,04	0,103	1.65	1,93	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0.003	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0,008	0,017	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0,006	0,013	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 75000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	3,875	4,472	134.931	150,876	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	15,986	17,82	598.552	621,264	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,084	0,278	3.633	4,2378	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0.004	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0,009	0,13	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0,008	0,019	F(n) = log n	O(log n)

	Tempo (segundos)				N = 100000	
	Linaguagem C Maquina 1	**Linaguagem C Maquina 2**	**Python Maquina 1**	**Python Maquina 2**	Função custo	Classificação assintótica
Insertsort	9,447	11,002	231.817	250,825	F(n) = n^2	O(n^2)
Bubblesort	28,821	31,097	1.064,063	1164,3892	F(n) = n^2	O(n^2)
Quicksort	0,151	0,378	6.387	7,421	F(n) = n log n	O(n log n)
Busca sequencial	0	0	0.001	0.003	F(n) = n	O(n)
Busca binária Não recursiva	0	0	0,011	0,011	F(n) = log n	O(log n)
Busca Binária Recursiva	0	0	0,011	0,011	F(n) = log n	O(log n)

Conclusão

Com base na análise empírica realizada, podemos concluir que os resultados obtidos foram consistentes com as análises matemáticas e esperadas dos algoritmos estudados.

Os algoritmos de ordenação Insertion Sort e Bubble Sort apresentaram um desempenho inferior em relação ao QuickSort, tanto em termos de tempo de execução quanto em relação à função custo. Isso ocorre porque esses algoritmos têm uma classificação assintótica de O(n^2), o que leva a um crescimento quadrático do tempo de execução com o tamanho da lista.

Por outro lado, o algoritmo Quick Sort apresentou um desempenho superior em relação aos outros algoritmos, tanto em termos de tempo de execução quanto em relação à função custo. Isso ocorre porque o Quick Sort tem uma classificação assintótica de O(n log n, o que leva a um crescimento mais suave do tempo de execução com o tamanho da lista.

Além disso, a análise empírica também mostrou que a implementação correta dos algoritmos é fundamental para obter um bom desempenho. Pequenas alterações no código podem ter um grande impacto no tempo de execução e na eficiência do algoritmo. Além também, do fato de duas máquinas diferentes poderem apresentarem resultado diferentes, dependendo da configuração de hardware.

Em resumo, a análise empírica dos algoritmos de ordenação nos permitiu entender melhor o desempenho e a eficiência de cada algoritmo, bem como a importância da implementação correta. Esses conhecimentos são fundamentais para a escolha do algoritmo mais adequado para cada situação e para a otimização do desempenho de sistemas computacionais.