

# Fundamentos de Sistemas Operacionais

## Trabalho 02

### Processos & Threads

Jonathan Henrique Maia de Moraes - 12/0122553  
< *AUTHOR – IAGO* > - < *ID – IAGO* >

Universidade de Brasília - Faculdade UnB Gama  
11/09/2016

# 1 Alarme de Relógio

## 1.1 Ambiente de Desenvolvimento

- Sistema Operacional:  $\langle IAGO - OS \rangle$
- Editor de Texto:  $\langle IAGO - TE \rangle$
- Compilador:  $\langle IAGO - COMPILER \rangle$
- *Flags* do Compilador:  $\langle IAGO - FLAGS \rangle$

## 1.2 Instruções

- Diretório: question\_01
- Comandos do Makefile:
  - **make**: compila o código, gerando o executável de nome q01
  - **make clean**: remove o executável de nome q01
- Comando de Execução: ./q01
- Operações:  $\langle IAGO - OPERATIONS \rangle$

## 2 Máximo de uma Sequência

### 2.1 Ambiente de Desenvolvimento

- Sistema Operacional:  $\langle IAGO - OS \rangle$
- Editor de Texto:  $\langle IAGO - TE \rangle$
- Compilador:  $\langle IAGO - COMPILER \rangle$
- *Flags* do Compilador:  $\langle IAGO - FLAGS \rangle$

### 2.2 Instruções

- Diretório: question\_02
- Comandos do Makefile:
  - **make**: compila o código, gerando o executável de nome q02
  - **make clean**: remove o executável de nome q02
- Comando de Execução: ./q02
- Operações:  $\langle IAGO - OPERATIONS \rangle$

## 3 Multiplicação de Matrizes

### 3.1 Ambiente de Desenvolvimento

- **Sistema Operacional:** Debian Jessie (8.5)
- **Editor de Texto:** Atom 1.0.19
- **Compilador:** gcc 4.9.2
- **Flags do Compilador:** -O2 -Wall -lpthread

### 3.2 Instruções

- **Diretório:** question\_03
- **Comandos do Makefile:**
  - **make:** compila o código q03a.c, gerando o executável de nome q03
  - **make a:** compila o código q03a.c, gerando o executável de nome q03
  - **make b:** compila o código q03b.c, gerando o executável de nome q03
  - **make c:** compila o código q03c.c, gerando o executável de nome q03
  - **make tc1:** executa o q03 com a entrada tc1.in, que consiste em uma matriz  $A_{(2,3)}$  e outra matriz  $B_{(3,2)}$ . O valor esperado de saída é uma matriz  $R_{(2,2)}$ , além do tempo utilizado para realizar a operação (em nanossegundos - ns). A operação pode ser vista a seguir:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 10 & 20 & 30 \\ 40 & 50 & 60 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 10 & 20 \\ 30 & 40 \\ 50 & 60 \end{bmatrix} \\ R = A \times B &= \begin{bmatrix} 2200 & 2800 \\ 4900 & 6400 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{1}$$

- **make tc2:** executa o q03 com a entrada **tc2.in**, que consiste em uma matriz  $A_{(5,2)}$  e outra matriz  $B_{(2,3)}$ . O valor esperado de saída é uma matriz  $R_{(5,3)}$ , além do tempo utilizado para realizar a operação (em nanossegundos - ns). A operação pode ser vista a seguir:

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \\ 4 & 8 \\ 8 & 16 \\ 16 & 32 \end{bmatrix} \\
 B &= \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 2 & 6 & 9 \end{bmatrix} \\
 R = A \times B &= \begin{bmatrix} 5 & 15 & 24 \\ 10 & 30 & 48 \\ 20 & 60 & 96 \\ 40 & 120 & 192 \\ 80 & 240 & 384 \end{bmatrix} \tag{2}
 \end{aligned}$$

- **make tc3:** executa o q03 com a entrada **tc3.in**, que consiste em uma matriz  $A_{(10,5)}$  e outra matriz  $B_{(5,8)}$ . O valor esperado de saída é uma matriz  $R_{(10,8)}$ , além do tempo utilizado para realizar a operação (em nanossegundos - ns). A operação pode ser vista a

seguir:

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 9 & 8 & 7 & 6 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 9 & 8 & 7 & 6 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 9 & 2 & 8 \\ 3 & 7 & 4 & 6 & 5 \end{bmatrix} \\
 B &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 8 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 8 & 1 & 7 & 2 & 6 & 3 & 5 & 4 \\ 8 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{bmatrix} \\
 R &= A \times B \\
 &= \begin{bmatrix} 78 & 57 & 75 & 60 & 72 & 63 & 69 & 66 \\ 198 & 132 & 170 & 120 & 142 & 108 & 114 & 96 \\ 78 & 57 & 75 & 60 & 72 & 63 & 69 & 66 \\ 198 & 132 & 170 & 120 & 142 & 108 & 114 & 96 \\ 198 & 132 & 170 & 120 & 142 & 108 & 114 & 96 \\ 78 & 57 & 75 & 60 & 72 & 63 & 69 & 66 \\ 198 & 132 & 170 & 120 & 142 & 108 & 114 & 96 \\ 78 & 57 & 75 & 60 & 72 & 63 & 69 & 66 \\ 104 & 46 & 105 & 65 & 106 & 84 & 107 & 103 \\ 144 & 111 & 130 & 105 & 116 & 99 & 102 & 93 \end{bmatrix} \tag{3}
 \end{aligned}$$

– **make clean:** remove o executável de nome q03

- **Comando de Execução:** ./q03

- **Operações:**

- **Entrada de duas Matrizes:** Existente nas três versões de código, a entrada é recebida da seguinte forma:

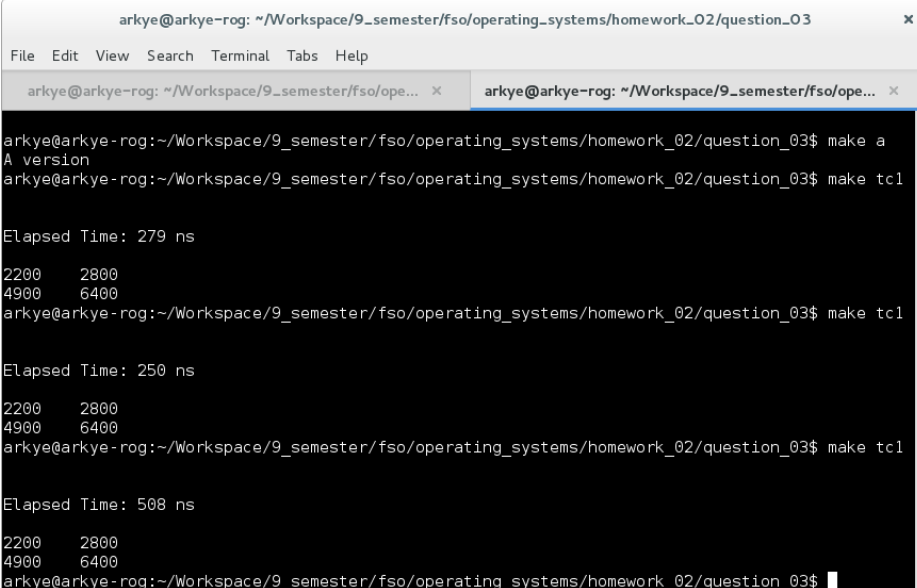
1. Dois números inteiros devem ser fornecidos. Tais números são utilizados para definir o tamanho da primeira matriz,  $A_{(n,m)}$ .

- O primeiro valor é a quantidade de linhas ( $n$ ) e o segundo valor é a quantidade de colunas ( $m$ ) da matriz  $A$ ;
2. Com o tamanho da matriz  $A$  definido, devem ser fornecidos  $n \times m$  números inteiros. Tais números são os valores contidos na matriz  $A$ ;
  3. Com a matriz  $A$  definida, dois outros números inteiros devem ser fornecidos. Tais números são utilizados para definir o tamanho da segunda matriz,  $B_{(p,q)}$ . O primeiro valor é a quantidade de linhas ( $p$ ) e o segundo valor é a quantidade de colunas ( $q$ ) da matriz  $B$ ;
  4. Com o tamanho da matriz  $B$  definido, devem ser fornecidos  $p \times q$  números inteiros. Tais números são os valores contidos na matriz  $B$ .
- **Cálculo do Tempo Utilizado para Executar o Algoritmo de Multiplicação de Matrizes:** Existente nas três versões de código. É registrado o tempo inicial logo antes do primeiro cálculo da célula da matriz resultante. Após o término do cálculo da última matriz resultante, é registrado a diferença do tempo atual pelo tempo inicial.
  - **Multiplicação de Matrizes com Algoritmo Sequencial:** Existente na versão q03a, o algoritmo de multiplicação é realizado sequencialmente, utilizando apenas de estruturas de repetição para calcular cada célula da matriz resultante.
  - **Multiplicação de Matrizes com Algoritmo Concorrente, Sem Restrição do Número Total de *threads*:** Existente na versão q03b, o algoritmo de multiplicação é realizado concorrentemente, utilizando de um número total de *threads* equivalente ao número total de células da matriz resultante.
  - **Multiplicação de Matrizes com Algoritmo Concorrente, Com Restrição do Número Total de *threads*:** Existente na versão q03c, o algoritmo de multiplicação é realizado concorrentemente, utilizando de quantidades necessárias de lotes de *threads*, cada lote possui um número máximo de *threads* equivalente ao número total de processadores no sistema computacional em execução.
  - **Informação de Resultados:** Existente nas três versões de có-

digo. É informado o tempo utilizado para executar o algoritmo de multiplicação de matrizes em nanossegundos e a matriz resultante. Será informado `Invalid Input`. caso a quantidade de colunas da primeira matriz seja diferente da quantidade de linhas da segunda matriz. Entradas de valores inesperados provocarão erros.

### 3.3 Resposta da Questão de Análise

A versão `q03a` (sequencial) possui o tempo mais curto de execução dos cálculos da célula da matriz resultante, com tempos na ordem de grandeza de  $10^2$  ns para os casos de teste fornecidos. Em seguida, a versão `q03b` (concorrente, limitado pela quantidade de processadores no sistema computacional) apresenta tempos na ordem de grandeza de  $10^4$   $10^6$  ns. Por fim, a versão `q03c` (concorrente, não limitado) apresenta tempos na mesma ordem de grandeza que a versão `q03b`, de  $10^4$   $10^6$  ns, porém, seus valores apresentados são, em média, 14% maiores que a versão `q03b` quando o número total de células da matriz resultante é superior ao número total de processadores no sistema computacional. As figuras a seguir descrevem os resultados de três execuções de cada versão de código em cada o caso de teste fornecido pelo Makefile.



```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make a
A version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 279 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 250 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 508 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 1: Resultados da versão `q03a` com o caso de teste `tc1`.



```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make b
B version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 59136 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 90780 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 58945 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 2: Resultados da versão q03b com o caso de teste tc1.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make c
C version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 69385 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 128218 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc1

Elapsed Time: 63875 ns

2200    2800
4900    6400
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 3: Resultados da versão q03c com o caso de teste tc1.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/oper... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make a
A version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 469 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 265 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 277 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 4: Resultados da versão q03a com o caso de teste tc2.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make b
B version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 182746 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 279204 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 244249 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 5: Resultados da versão q03b com o caso de teste tc2.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make c
C version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 174083 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 190179 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc2

Elapsed Time: 191866 ns
5      15      24
10     30     48
20     60     96
40     120    192
80     240    384
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 6: Resultados da versão q03c com o caso de teste tc2.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/oper... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make a
A version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 2625 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 747 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 825 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 7: Resultados da versão q03a com o caso de teste tc3.

```
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/oper... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make b
B version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 1430079 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 1048595 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 1076000 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$
```

Figura 8: Resultados da versão q03b com o caso de teste tc3.

```

arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03
File Edit View Search Terminal Tabs Help
arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x arkye@arkye-rog: ~/Workspace/9_semester/fso/ope... x
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make c
C version
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 780586 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 2702005 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$ make tc3

Elapsed Time: 899898 ns

78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
198     132     170     120     142     108     114     96
78      57      75      60      72      63      69      66
104     46     105     65     106     84     107     103
144     111     130     105     116     99     102     93
arkye@arkye-rog:~/Workspace/9_semester/fso/operating_systems/homework_02/question_03$

```

Figura 9: Resultados da versão q03c com o caso de teste tc3.