QUICKSORT

Estudos de Casos: Variações de Pivô

Algoritmo e Estrutura de Dados I

Álvaro Augusto José Silva
Arthur de Oliveira Mendonça
Arthur Santana de Mesquita
Júlia de Moura Souza
Luiz Fernando dos Santos Queiroz

Docente: Michel Pires da Silva

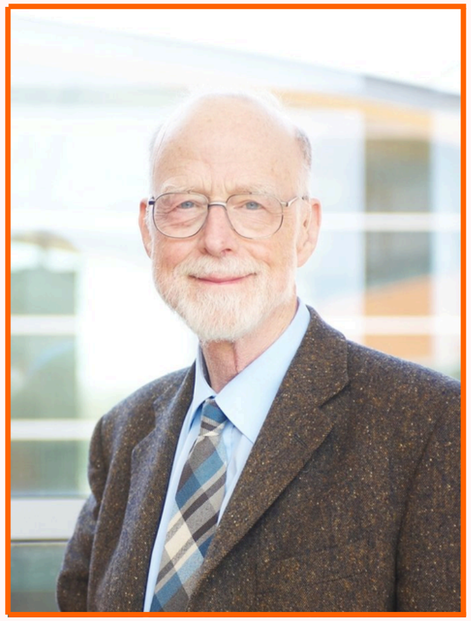
CEFET-MG
Engenharia de Computação

Divinópolis - MG
2025

SUMÁRIO

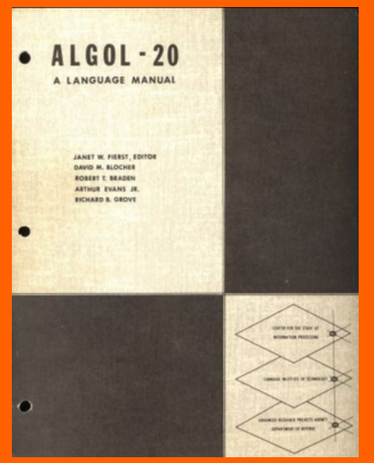
1 ALGORITMO QUICK SORT

1.1 Origem

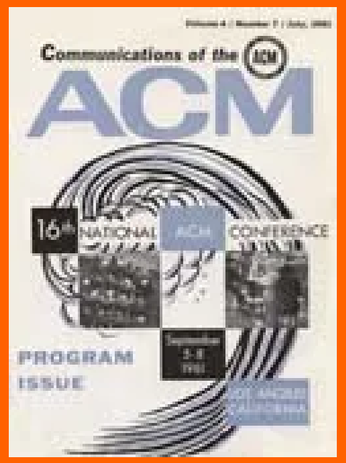


Sir Charles Antony Richard Hoare
(Tony Hoare)

- Rotinas de ordenação para um compilador (Tradutor)
- Eficiência prática (1º algoritimo não era recursivo)



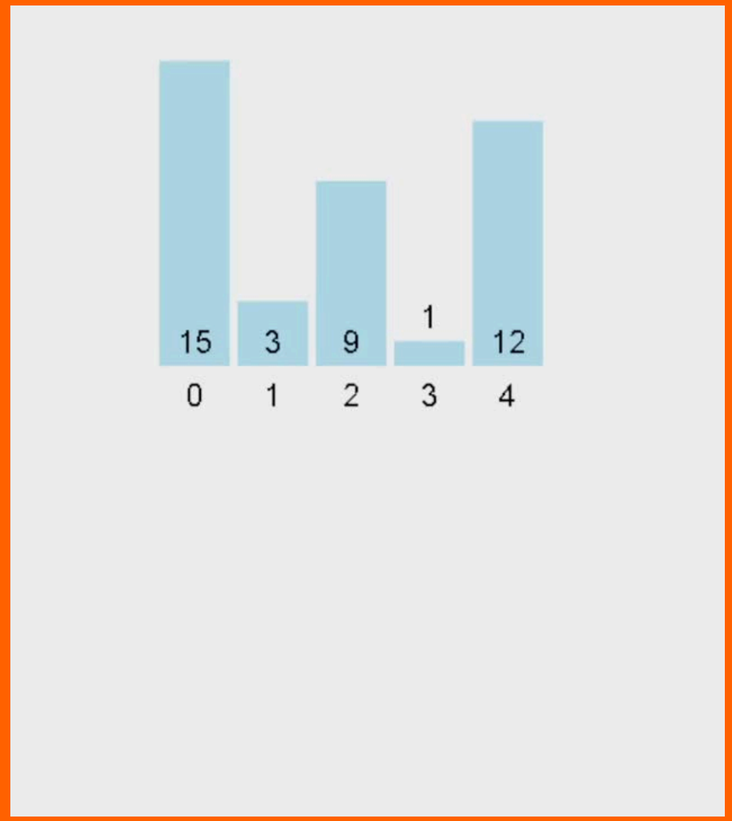
Linguagem Algorítmica
(ALGOL)



Communications of ACM
(ALGOL)

1 ALGORITMO QUICK SORT 1.2 O Algoritmo

- Divide and Conquer (Recursividade)
- Ordenação **In-Place**
- Elemento de referência (Pivô)



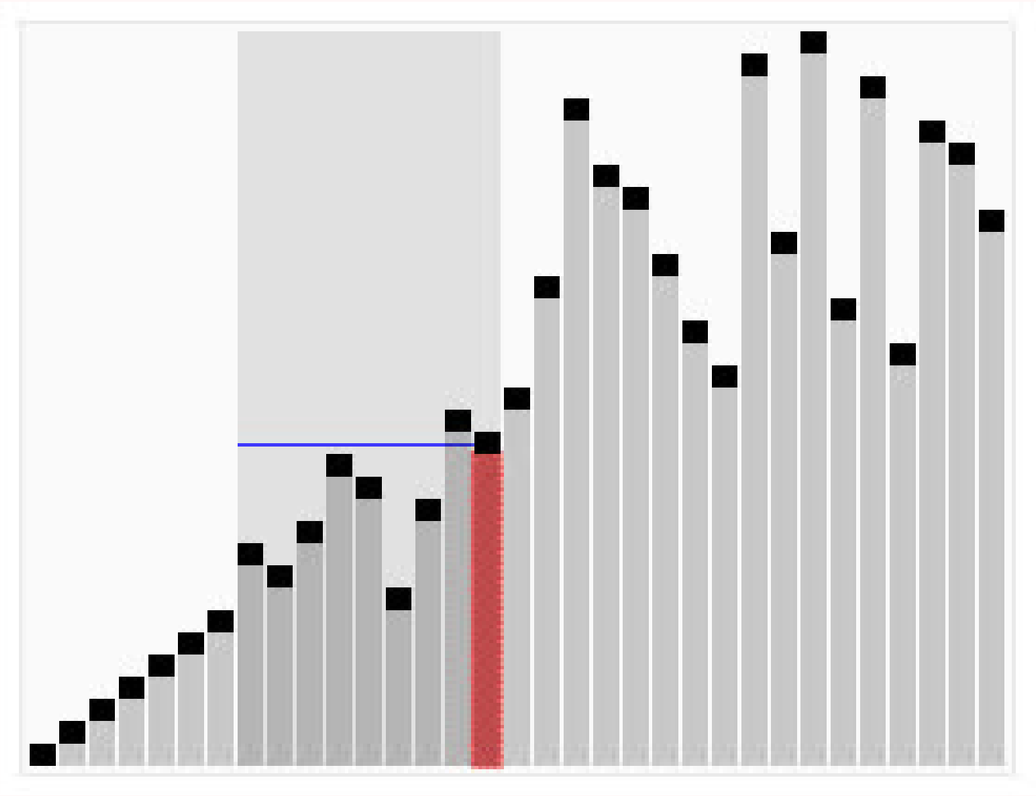
2 MANIPULAÇÃO

2.1 Último termo

```
1:  algoritmo Quicksort(V, início, fim)
2:  if início ¡ fim then
3:      p ← Particiona(V, início, fim)
4:      Quicksort(V, início, p - 1)
5:      Quicksort(V, p + 1, fim)
6:  end if

7:  função Particiona(V, início, fim)
8:  pivo ← V[fim]
9:  i ← início - 1
10: for j ← início to fim - 1 do
11:     if V[j] ≤ pivo then
12:         i ← i + 1
13:         Trocar(V[i], V[j])
14:     end if
15: end for
16: Trocar(V[i + 1], V[fim])
17: retorna i + 1

18: procedimento Trocar(ref a, ref b)
19: temp ← a
20: a ← b
21: b ← temp
```



2 MANIPULAÇÃO

2.2 Mediana de Três

```
1:  algoritmo QuickSort_MedianaDeTres(vetor, inicio, fim)
2:  if inicio < fim then
3:      pivô ← MedianaDeTres(vetor, inicio, fim)
4:      pos_pivô ← Particionar(vetor, inicio, fim, pivô)
5:      QuickSort_MedianaDeTres(vetor, inicio, pos_pivô - 1)
6:      QuickSort_MedianaDeTres(vetor, pos_pivô + 1, fim)
7:  end if
```

```
8:  função MedianaDeTres(vetor, inicio, fim)
9:  meio ← ⌊(inicio + fim)/2⌋
10: {Ordena os três elementos: inicio, meio, fim}
11: if vetor[inicio] > vetor[meio] then
12:     Trocar(vetor[inicio], vetor[meio])
13: end if
14: if vetor[meio] > vetor[fim] then
15:     Trocar(vetor[meio], vetor[fim])
16: end if
17: if vetor[inicio] > vetor[meio] then
18:     Trocar(vetor[inicio], vetor[meio])
19: end if
20: {A mediana está agora em vetor[meio]}
21: retorna vetor[meio]
```

```
22: função Particionar(vetor, inicio, fim, pivô)
23: i ← inicio
24: j ← fim
25: while i ≤ j do
26:     while vetor[i] < pivô do
27:         i ← i + 1
28:     end while
29:     while vetor[j] > pivô do
30:         j ← j − 1
31:     end while
32:     if i ≤ j then
33:         Trocar(vetor[i], vetor[j])
34:         i ← i + 1
35:         j ← j − 1
36:     end if
37: end while
38: retorna i
```

```
39: procedimento Trocar(ref a, ref b)
40: temp ← a
41: a ← b
42: b ← temp
```

2 MANIPULAÇÃO

2.3 Custo Computacional

Custo de Armazenamento: O(n)

- Pior Caso (Pivô Extremo): $O(n^2)$
- Médio Caso (Comum): $O(n \cdot \log(n))$
- Melhor Caso (Pivô Médio): $O(n \cdot \log(n))$

3 APLICAÇÕES 3.1 Vantagens e Desvantagens

VANTAGENS

- *In-Place*
- Complexidade de Tempo Consistente
- Implementação
- Paralelização

DESVANTAGENS

- Recursividade
- Instabilidade
- Sensível à escolha do pivô

3 APLICAÇÕES

3.2 Exemplos de Aplicações

COMPILADORES

- Durante a ordenação de identificadores

BANCO DE DADOS

- Em bancos de dados que executam múltiplas tarefas simultaneamente

SISTEMAS EMBARCADOS

- Ideal para ambientes com RAM restrita, como microprocessadores

BIBLIOTECAS DE DIFERENTES LINGUAGENS

- Oferece alta eficiência prática na ordenação de arrays e listas em memória.

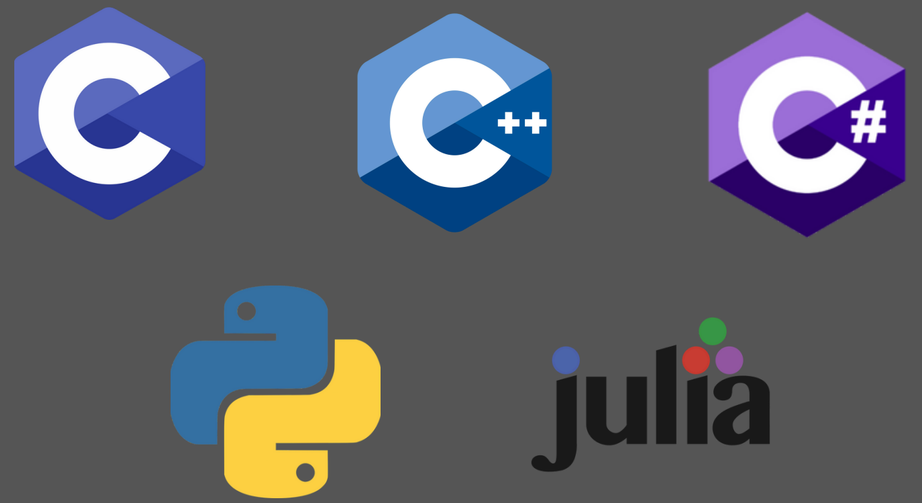
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

- 4.1 Ratings x Timestamp
- 4.2 Lista Estática
- 4.3 Lista Dinâmica
- 4.4 Pilha
- 4.5 Fila

BASE DE DADOS ORDENADA:

MovieLens 25M (ratings.csv)
Notas de Filme entre 1995-2019

LINGUAGENS UTILIZADAS:



4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

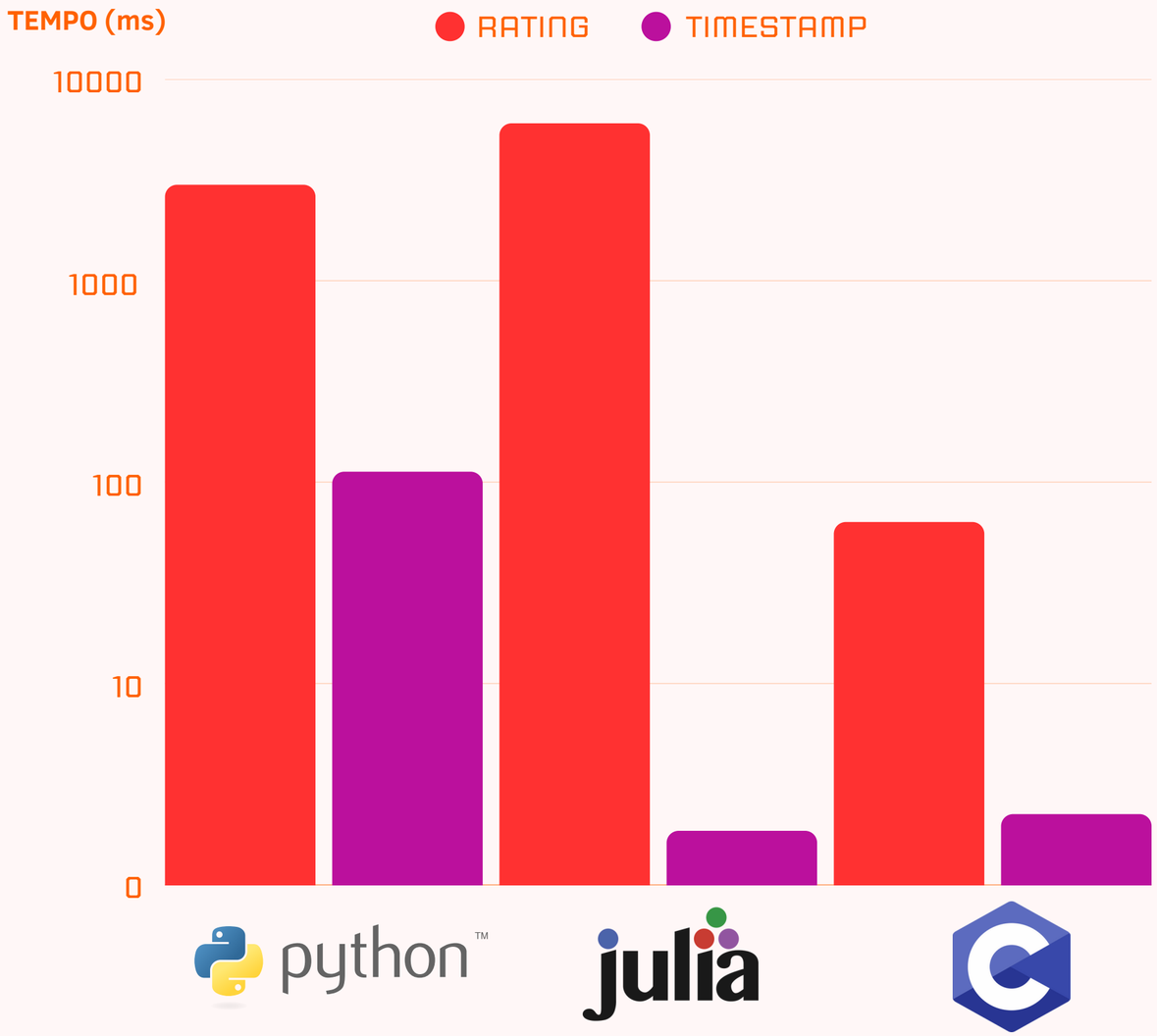
4.1 Ratings x Timestamp
4.2 Lista Estática
4.3 Lista Dinâmica
4.4 Pilha Estática e Dinâmica
4.5 Fila Estática e Dinâmica
4.6 Uso de Memória

CONFIGURAÇÕES DE TESTE:

- Processador: Intel®Core™ i7-8550U (4c/8t)
- Memória RAM: 16.0GiB DDR4 3200 MHz
- Sistema Operacional: Ubuntu 24.04 LTS
- Armazenamento: SSD M2 512GiB NVME

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.1 RATING X TIMESTAMP (10.000 elementos)



4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.1 RATING X TIMESTAMP

- Apenas 10 valores possíveis para cada linha
- Python possuiu a menor diferença percentual, ainda alta
- Alto custo movendo termos idênticos para uma das partições
- Coluna rating especialmente detrimental para Julia
- Testes subsequentes utilizaram a coluna TIMESTAMP

userID	movieID	rating	timestamp
1	296	5.0	1147880044
1	306	3.5	1147868828
...	...	...	...
162541	63876	5.0	1240952515

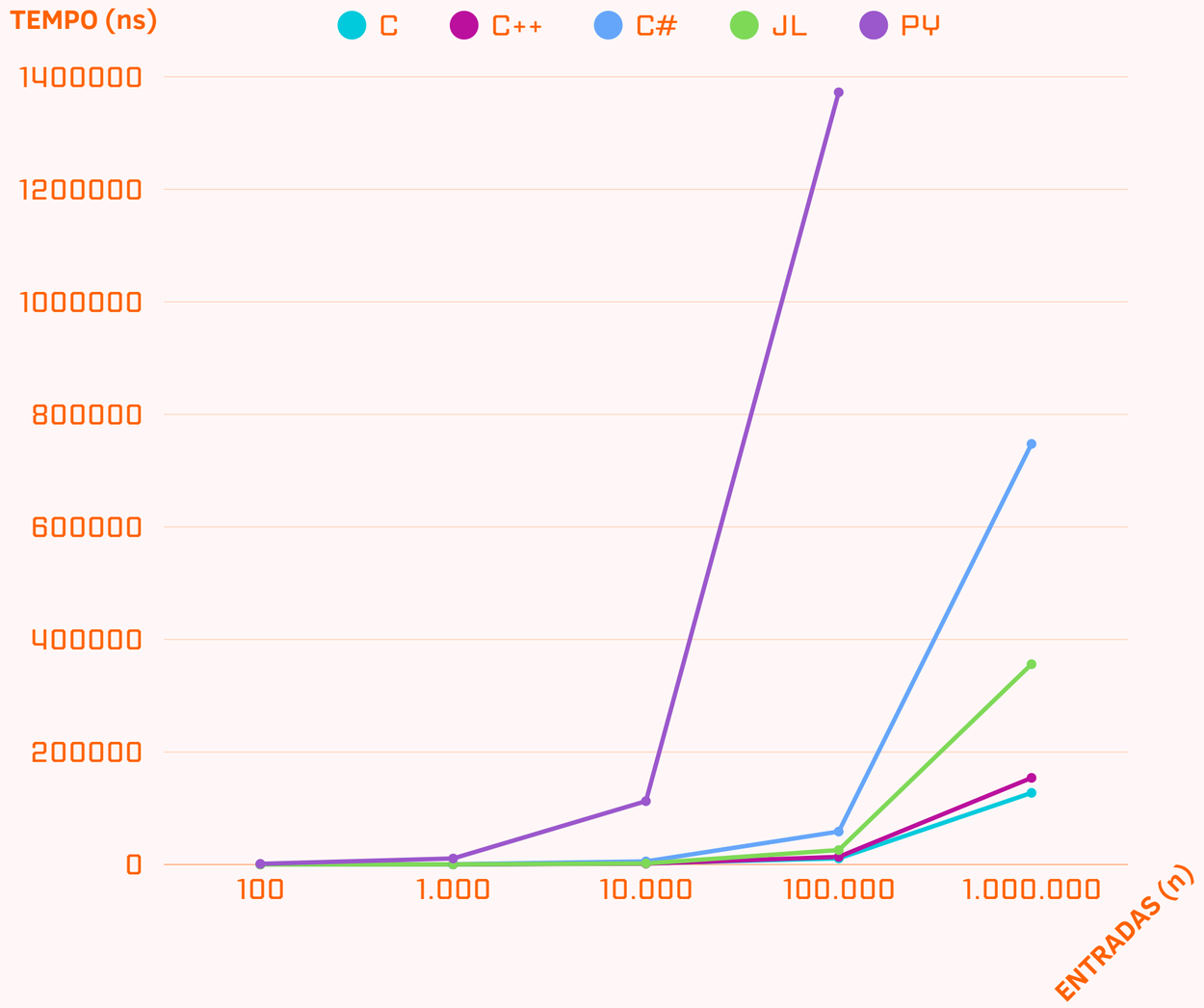
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.2 LISTA ESTÁTICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,001200	0,0000882	0,000039	0,000045	0,000063
1.000	0,010700	0,0002041	0,000387	0,000100	0,000237
10.000	0,112600	0,0018548	0,005492	0,002246	0,001479
100.000	1,372500	0,0256452	0,058507	0,010848	0,013609
1.000.000	15,691050	0,3560414	0,747585	0,127346	0,153992

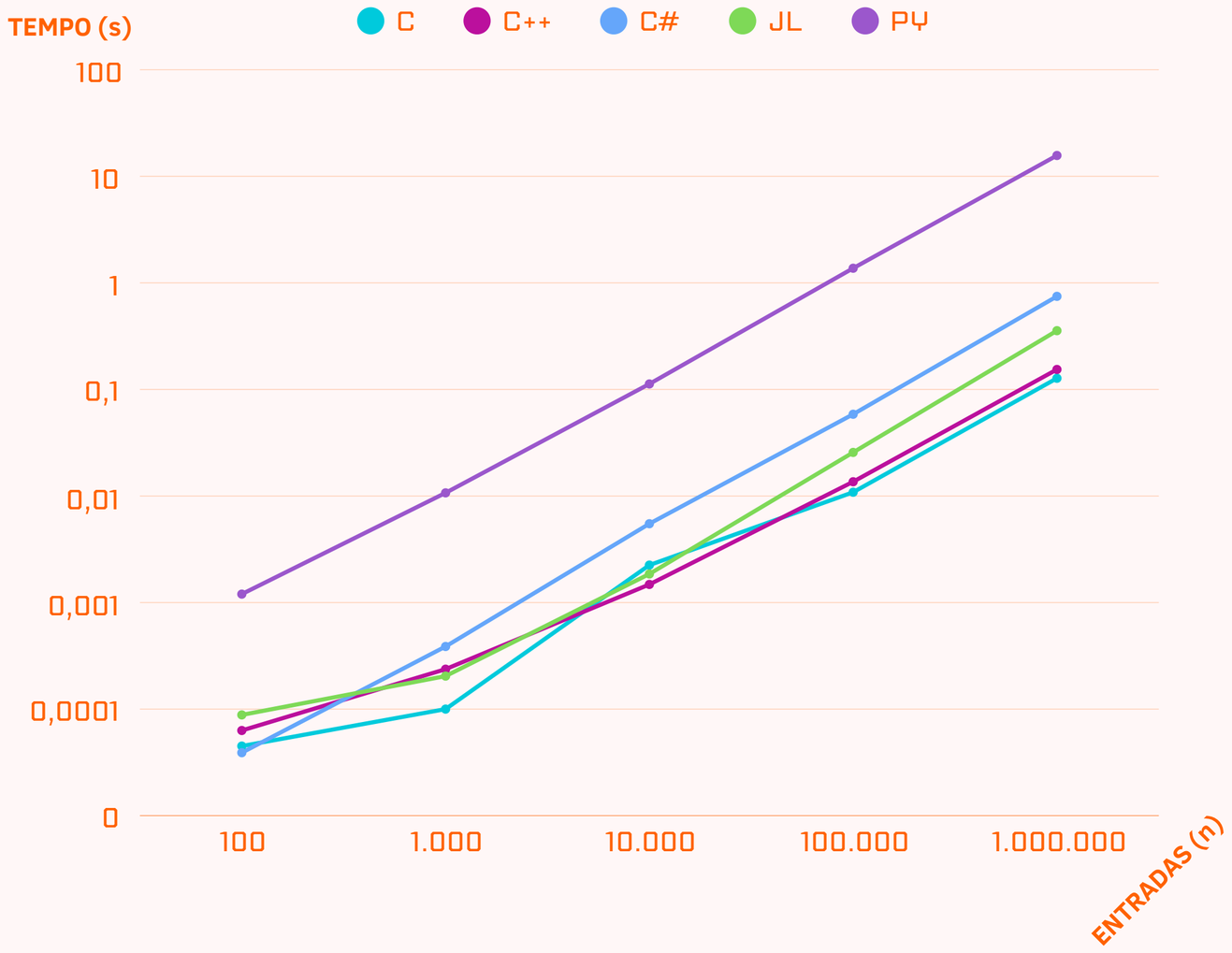
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.2 LISTA ESTÁTICA



4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.2 LISTA ESTÁTICA (ESCALA LOGARÍTMICA)



4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE LINGUAGENS

- **Linguagens Interpretadas mais lentas que compiladas**
  - **Julia 60-130% mais lento que C++**

- **Python mais lento que outras interpretadas (JIT)**
  - **2000% mais lento que C#**
  - **Julia e C# possuem JIT**
  - **Python é completamente dinamicamente tipada**

- **Python 100 vezes mais lento que C++**

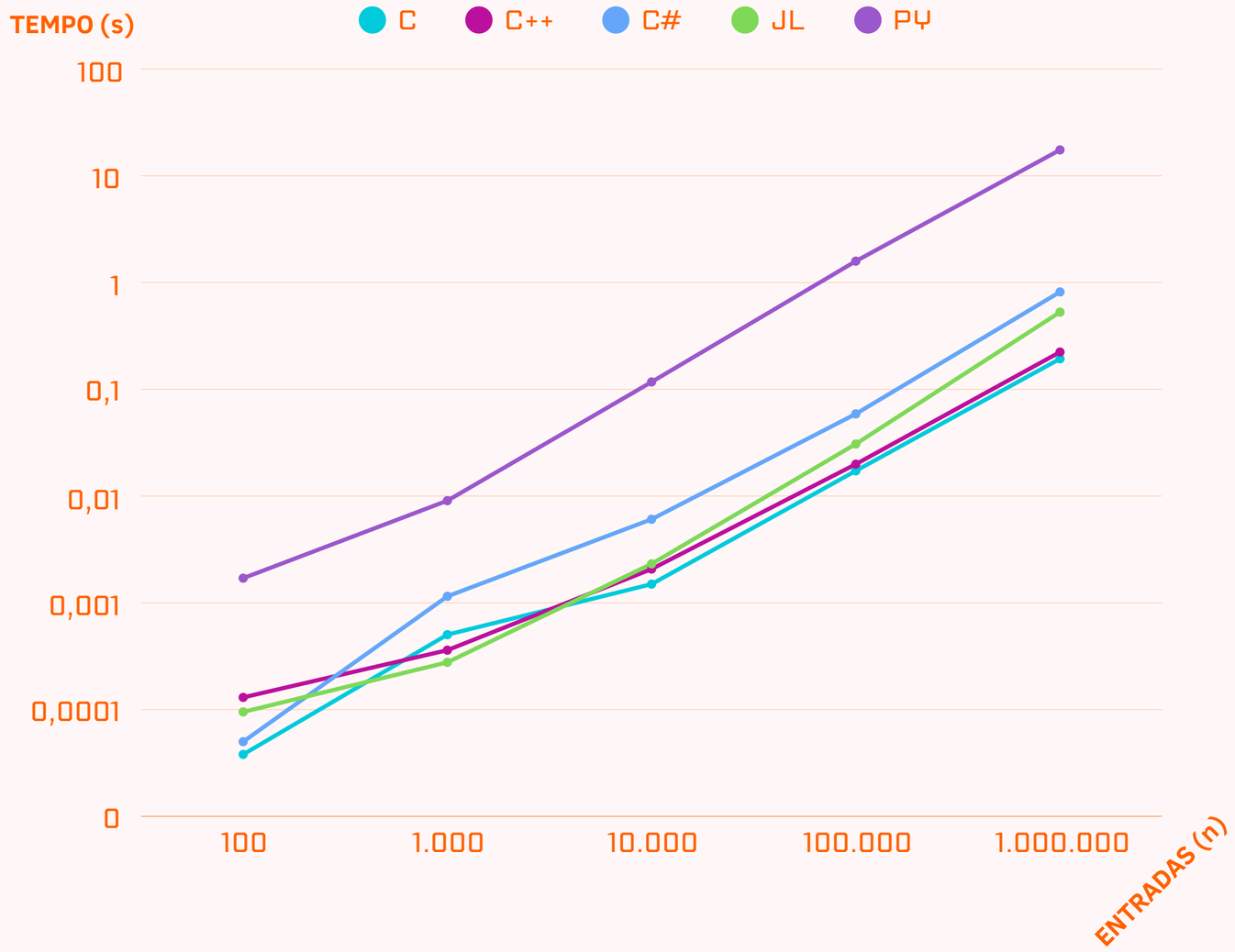
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.3 LISTA DINÂMICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,00170	0,000095	0,00005	0,000038	0,00013
1.000	0,00905	0,000277	0,00115	0,000503	0,00036
10.000	0,11710	0,002316	0,00606	0,001496	0,00207
100.000	1,58545	0,030721	0,05881	0,017228	0,01989
1.000.000	17,47410	0,528310	0,81629	0,192995	0,22331

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.3 LISTA DINÂMICA



4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE LINGUAGENS

- Estrutura Estática melhor que a Dinâmica
- Julia sofreu o maior aumento percentual entre as estruturas (57%)
- C e C++ também tiveram grande aumento (30% e 40%)
- Python e C# foram pouco afetados (15% e 3%)

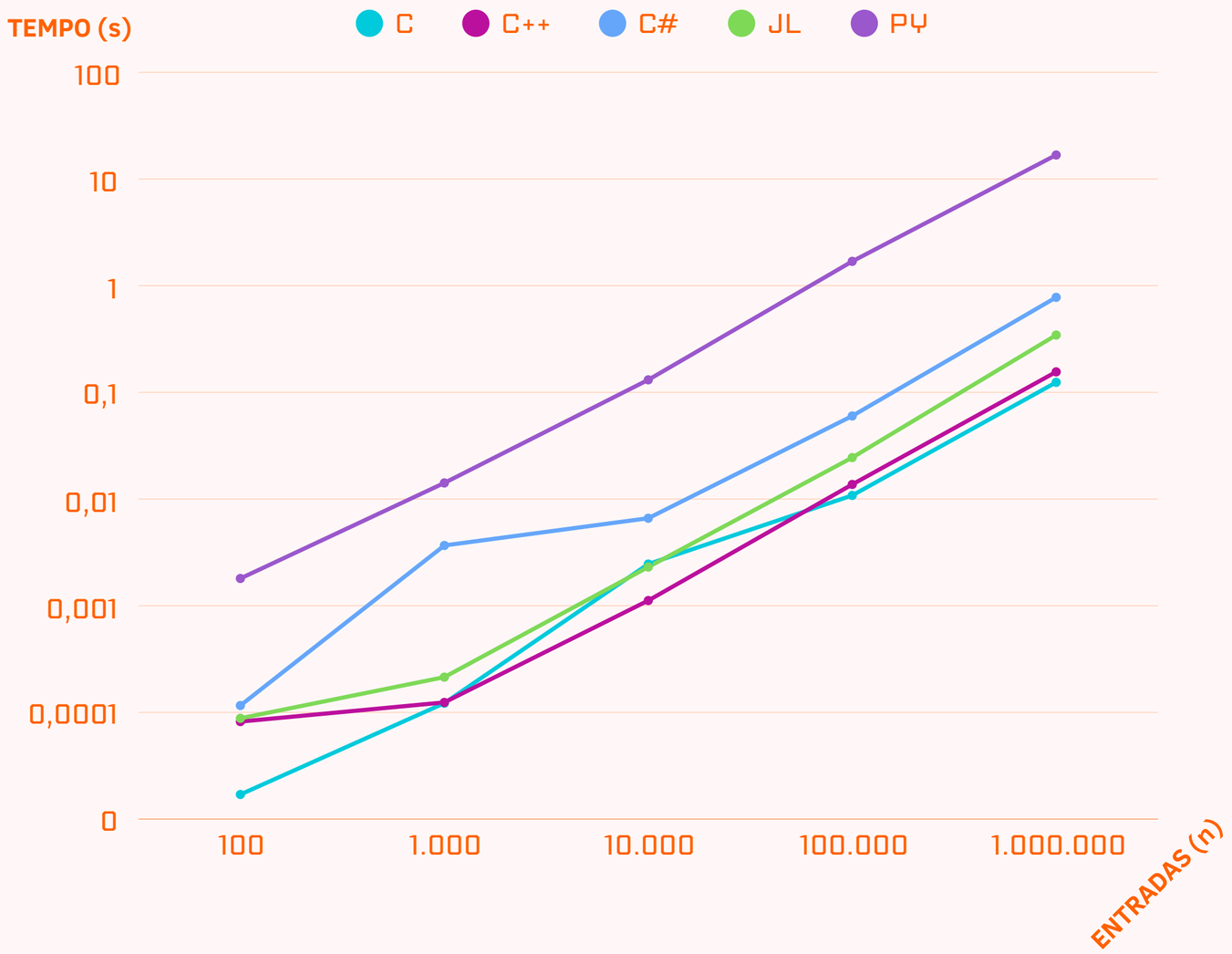
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.4 PILHA ESTÁTICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,001800	0,000088	0,000116	0,000017	0,000082
1.000	0,014150	0,000214	0,003671	0,000122	0,000124
10.000	0,131000	0,002305	0,006607	0,002457	0,001118
100.000	1,689400	0,024462	0,060055	0,010808	0,013696
1.000.000	16,785150	0,344365	0,777399	0,124157	0,155643

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.4 PILHA ESTÁTICA



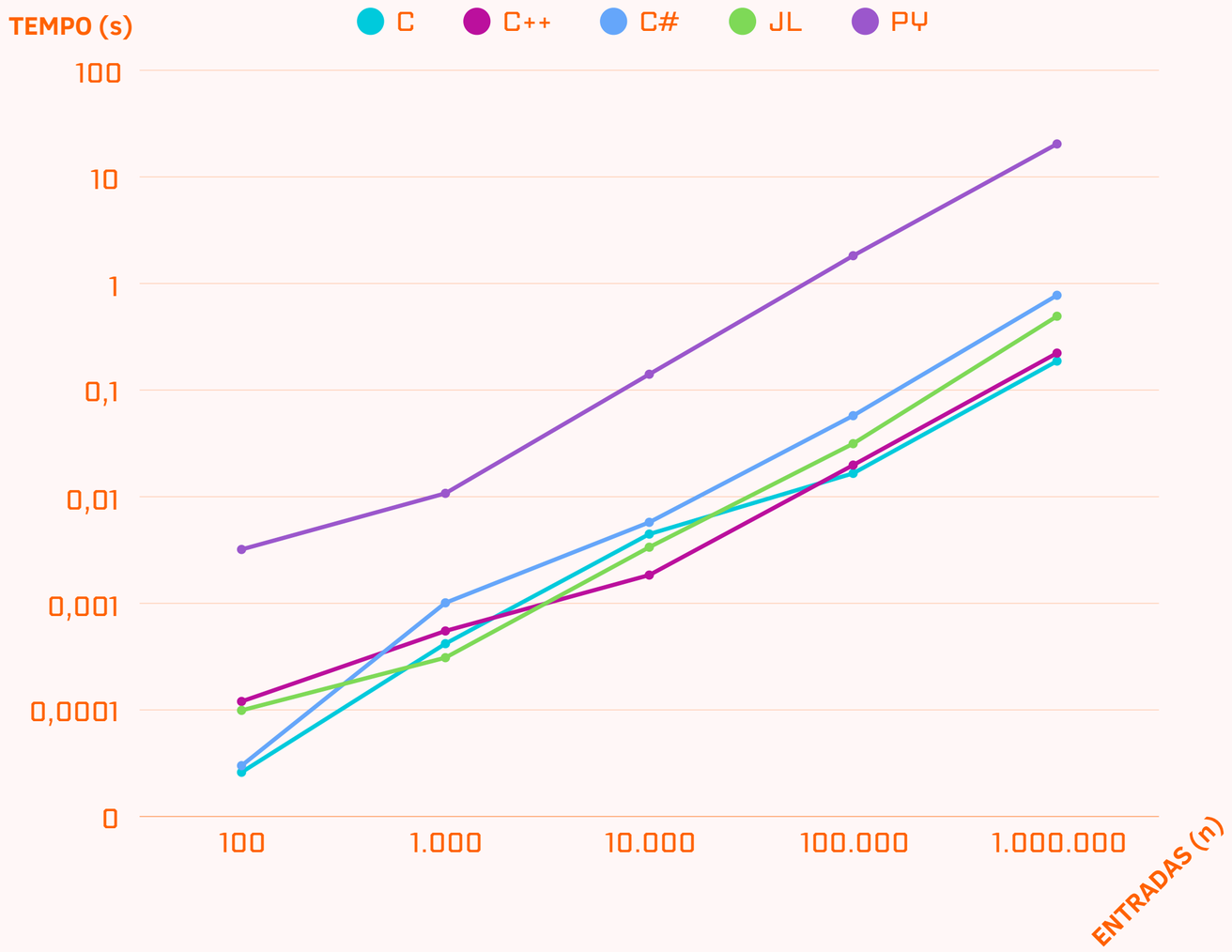
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.4 PILHA DINÂMICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,00320	0,000099	0,00003	0,000026	0,00012
1.000	0,01075	0,000309	0,00101	0,000418	0,00055
10.000	0,14085	0,003359	0,00575	0,004460	0,00184
100.000	1,82170	0,031429	0,05753	0,016554	0,01978
1.000.000	20,36265	0,493027	0,77498	0,187110	0,22237

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.4 PILHA DINÂMICA



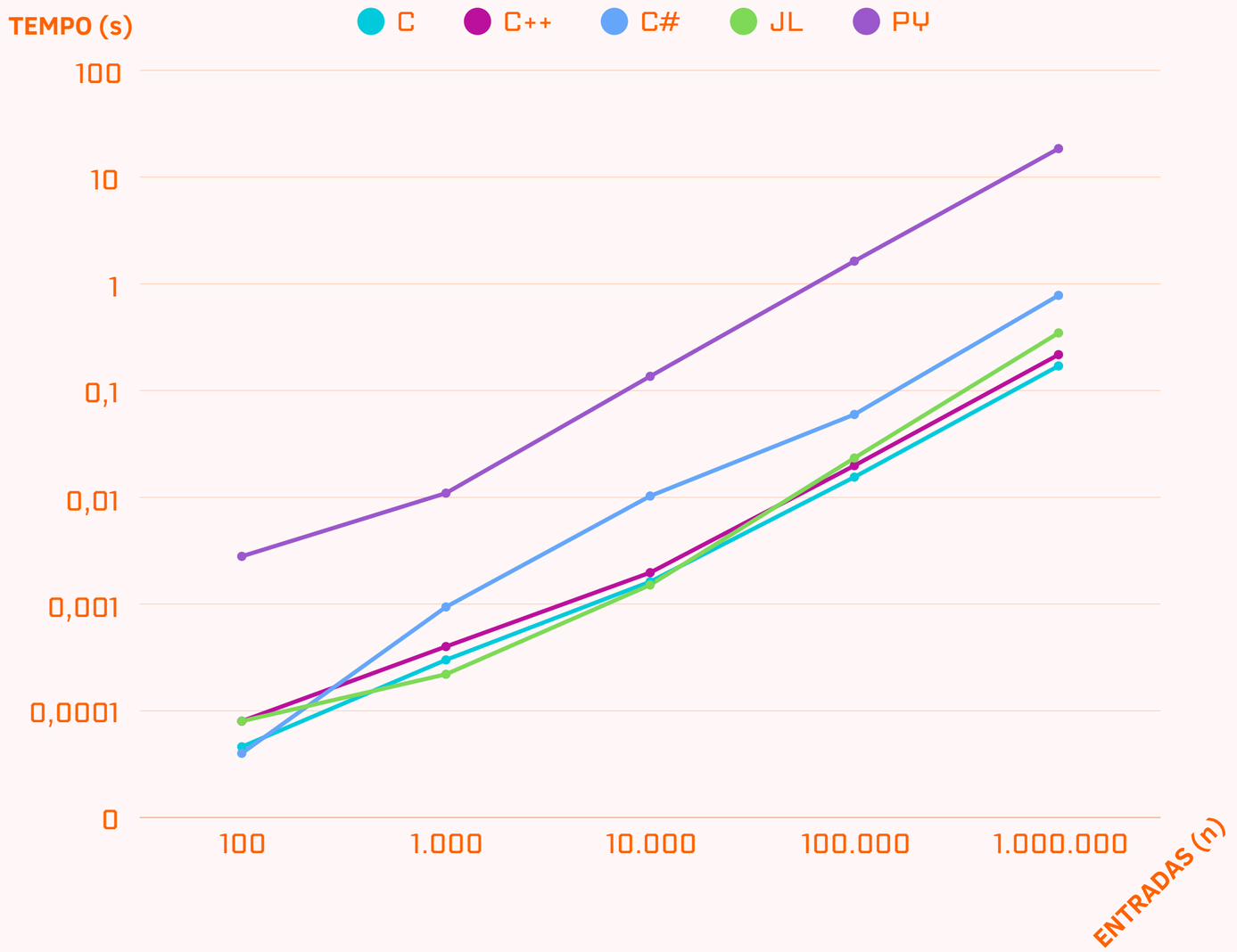
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.5 FILA ESTÁTICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,00280	0,00008	0,00004	0,000046	0,00008
1.000	0,01095	0,00022	0,00094	0,00030	0,00040
10.000	0,13615	0,00151	0,01029	0,00162	0,00197
100.000	1,63270	0,02336	0,05975	0,01547	0,01982
1.000.000	18,49560	0,34703	0,78017	0,17034	0,21705

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.5 FILA ESTÁTICA



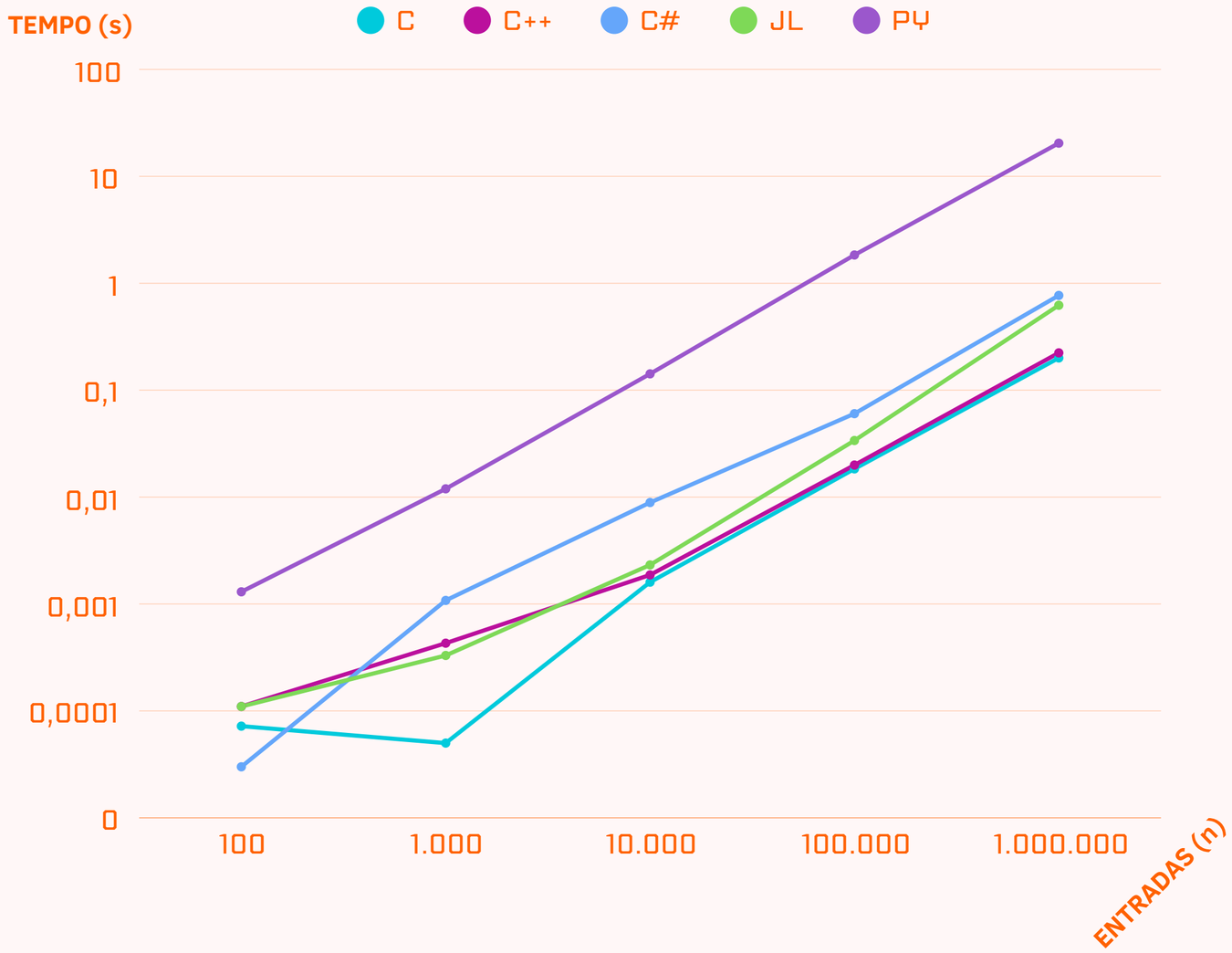
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.5 FILA DINÂMICA

Tamanho	Python (s)	Julia (s)	C# (s)	C (s)	C++ (s)
100	0,00170	0,000095	0,00005	0,000038	0,00013
1.000	0,00905	0,000277	0,00115	0,000503	0,00036
10.000	0,11710	0,002316	0,00606	0,001496	0,00207
100.000	1,58545	0,030721	0,05881	0,017228	0,01989
1.000.000	17,47410	0,528310	0,81629	0,192995	0,22331

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.5 FILA DINÂMICA



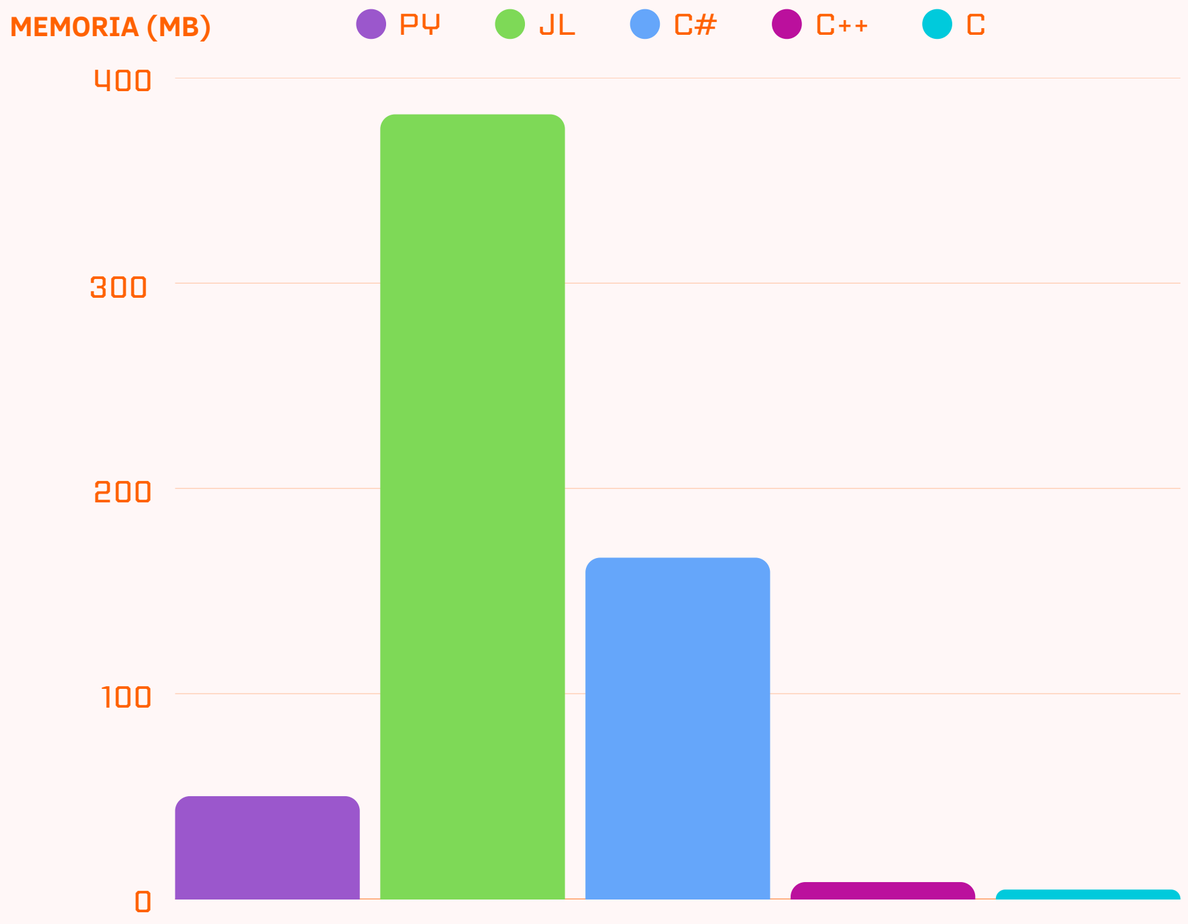
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.4 & 4.5 COMPARAÇÃO ENTRE LINGUAGENS

- **Lista possui o melhor desempenho, Fila possui o pior**
- **Fila é 37% mais lenta que a Pilha**
- **Linguagens de Baixo Nível foram menos afetadas pela troca de estrutura**

4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.6 USO DE MEMÓRIA EM LISTA ESTÁTICA (100.000)



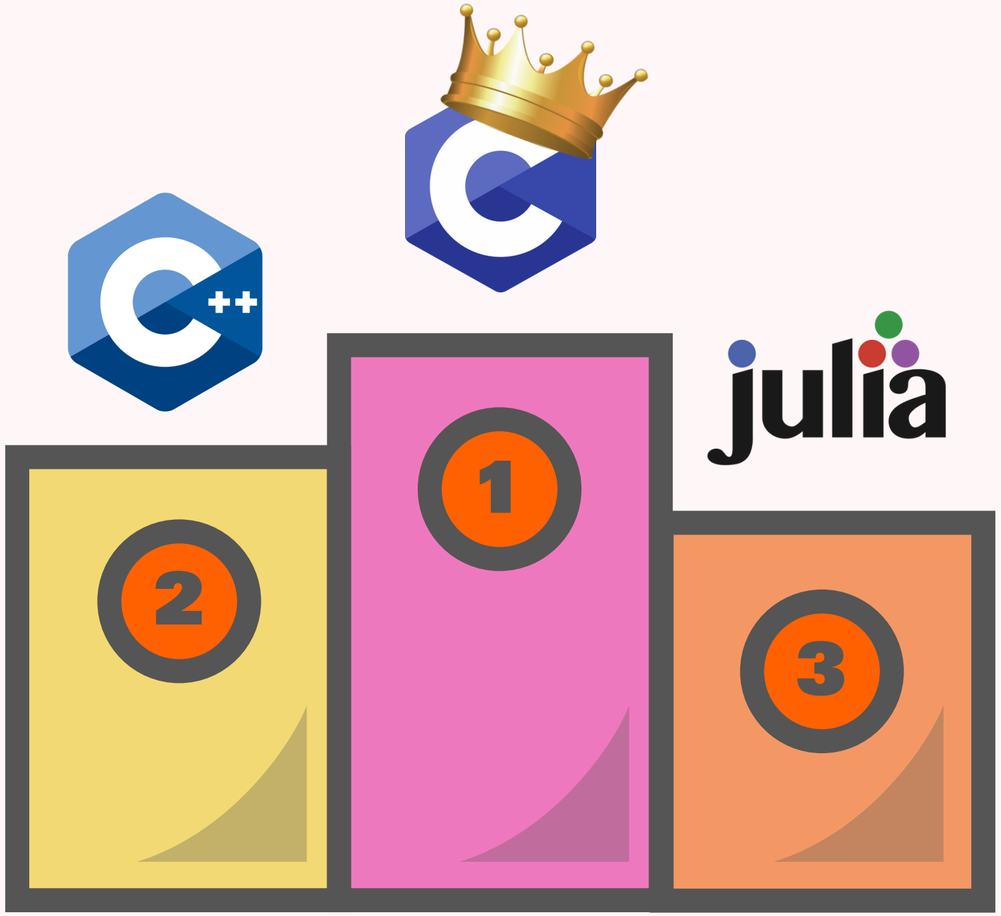
4 ANÁLISE COMPORTAMENTAL

4.6 USO DE MEMÓRIA

- **Linguagens Interpretadas tiveram o maior uso de memória**
  - **Python gastou 6 vezes mais memória que C++**

- **Linguagens com compilação JIT gastaram substancialmente mais memória que Python**
  - **C# gastou 228% mais e Julia 654%**

5 CONCLUSÃO



- Importância da Base de Dados
- Estrutura mais compatível
- Linguagens mais eficientes.
- Futuras melhorias para o desenvolvimento da discussão.

REFERÊNCIAS

- SILVA, A. A. Algoritmo Quick Sort. URL: https : / / github . com /alvaroajs/ordenacaoAEDS.
- HOARE, C. A. R. “Algorithm 64: Quicksort”. Em: Communications of the ACM 4.7 (1961), p. 321.
- CORMEN, T. H. Algoritmos - Teoria e Pratica. MITPress, 1989.
- KNUTH, D. E. The Art of Computer Programming, Volume Sorting and Searching. 2nd. Addison-Wesley Professional, 1998.
- BENTLEY, J. L. and MCILROY, M. D. “Engineering a Sort Function”. Em: Software: Practice and Experience 23.11 (1993), pp. 1249–1265.
- MUSSER, D. R. “Introspective Sorting and Selection Algorithms”. Em: Software: Practice and Experience 27.8 (1997), pp. 983–993.
- SO/IEC. C Standard. https://en.cppreference.com/w/c.
- The Julia Language. Julia Documentation. https://docs. julialang.org/.
- Python Software Foundation. Python Documentation. https://docs.python.org/3/.
- Microsoft Corporation. C Language Specification. https://learn.microsoft.com/en- us/dotnet/csharp/language-reference/specification
- SO/IEC. C++ Standard. https://en.cppreference.com/w/cpp.
- TORVALDS, L. Linux Kernel - lib/sort.c. Codigo-fonte do Linux Kernel, implementado com Heapsort. 2024. URL: https://github.com/torvalds/linux/blob/master/lib/sort.c.

Obrigado !!!

Dúvidas ?