Um estudo do Modelo de Atores aplicado à concorrência de recursos

Fellipe Souto Sampaio
Orientadora: Prof. Dra. Ana Cristina Vieira de Melo

MAC0499 - Trabalho de Formatura Supervisionada
Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo

16 de Novembro de 2016

Motivação

- A programação concorrente está intimamente ligada com a histórica da ciência da computação
- Muitos problemas tem natureza concorrente ou são melhor modelados dessa forma
- Criar aplicações concorrentes não é uma tarefa trivial, as interações entre as diferentes partes de um programa são suscetíveis a uma série de falhas
- A atual tendência do mercado de computadores é o aumento de unidades de processamento em um único chip
- Para tirar vantagem desse poder computacional e resolver os problemas de concorrência de forma mais natural as ferramentas certas precisam ser utilizadas

Objetivos

- **Aprender** os fundamentos do modelo de atores
- **Entender** a concorrência de recursos através do problema do Jantar dos Filósofos
- **Modelar** o problema dos Filósofos e **implementar** três soluções diferentes utilizando a biblioteca Akka e a linguagem de programação Scala
- **Simular** o problema e **avaliar** o desempenho dos algoritmos a partir de diferentes métricas

O Modelo de Atores

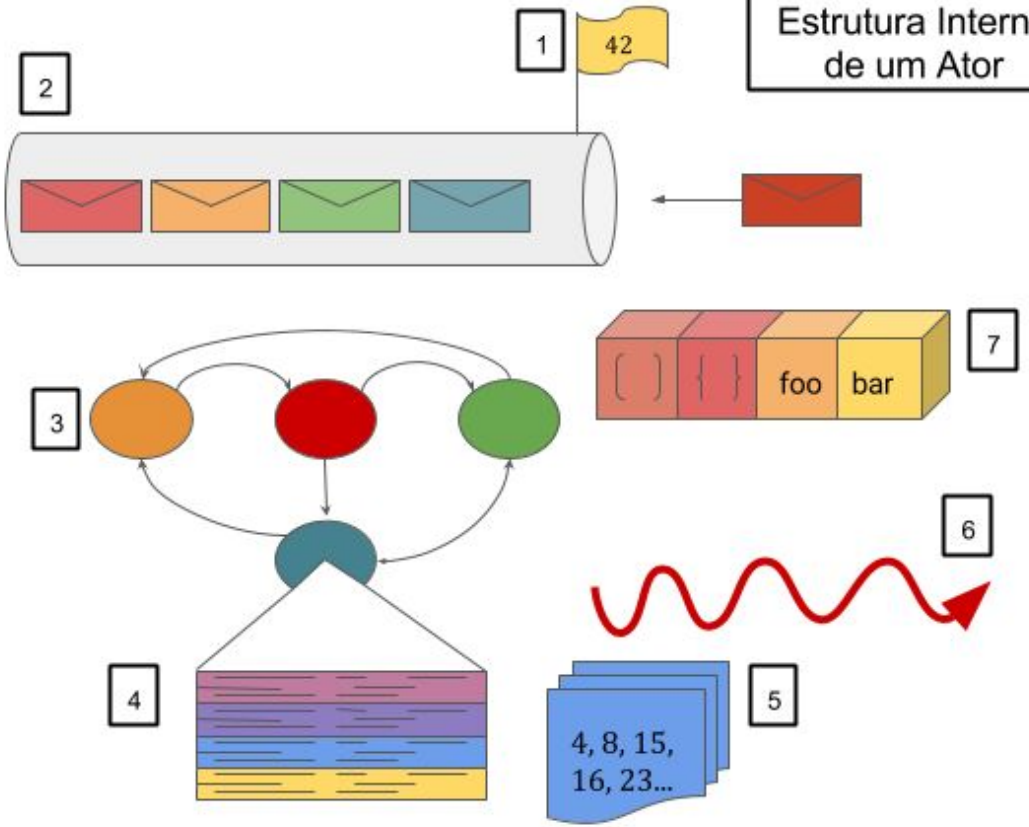
- Um modelo matemático para descrever a **computação concorrente**
- Um método alternativo para lidar com **recursos compartilhados**
- Uma forma alternativa de modelar problemas clássicos de concorrência e suas soluções, como o **Jantar dos filósofos**
- A base para a biblioteca **Akka**, que permite criar sistemas concorrentes baseados em atores que sejam: **assíncronos**, **imutáveis** e **orientados a mensagens**

O Modelo de Atores

Foi idealizado por Carl Hewitt em 1973 **[1]**. Atores são unidades funcionais com processamento, armazenamento e comunicação e que podem **[2]**:

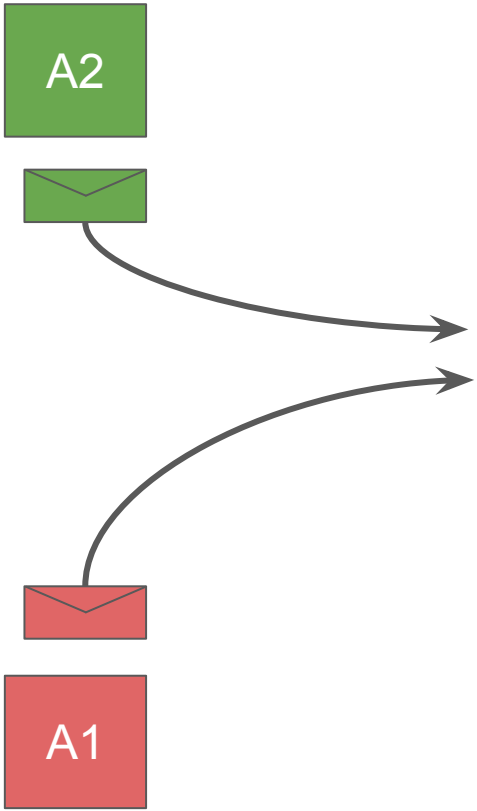
- Tomar decisões locais e alterar variáveis internas
- Mandar mensagens para si, ou para outros atores
- Criar novos atores
- Mudar seu comportamento interno

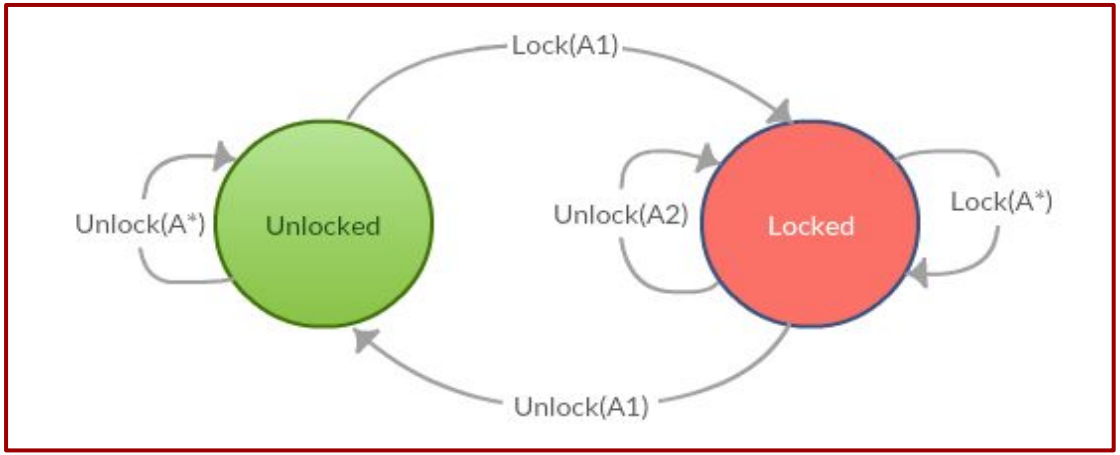
Estrutura Interna de um Ator



Legenda

1. Endereço
2. Caixa de mensagens
3. Estados internos
4. Comportamentos
5. Lista de endereços
6. Thread de execução
7. Valores internos

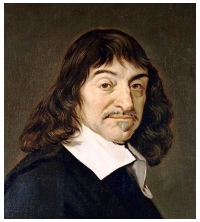

A2
A1

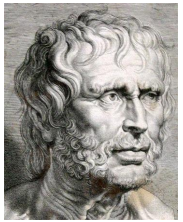

Lock(A1)
Unlock(A*)
Unlocked
Unlock(A2)
Locked
Lock(A*)
Unlock(A1)

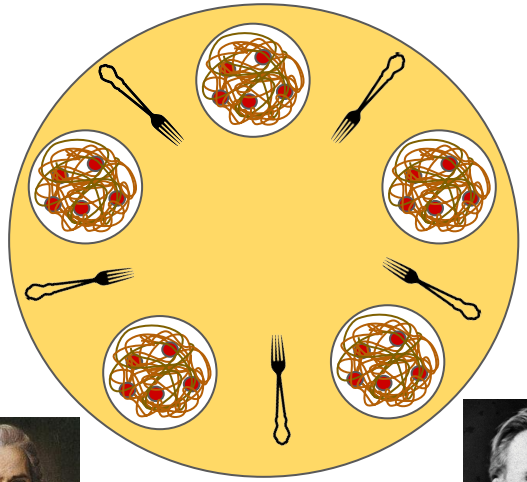
O Jantar dos Filósofos

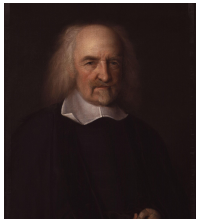
O problema pode ser descrito como:

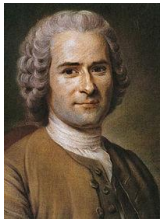
- Cinco filósofos estão dispostos em uma mesa circular, com um prato de espaguete na frente de cada um
- Os filósofos alternam entre pensar e comer
- Para comer um filósofo precisa de dois garfos ao mesmo tempo
- Existe apenas um garfo entre cada prato
- Filósofos adjacentes não podem comer ao mesmo tempo

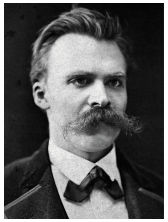


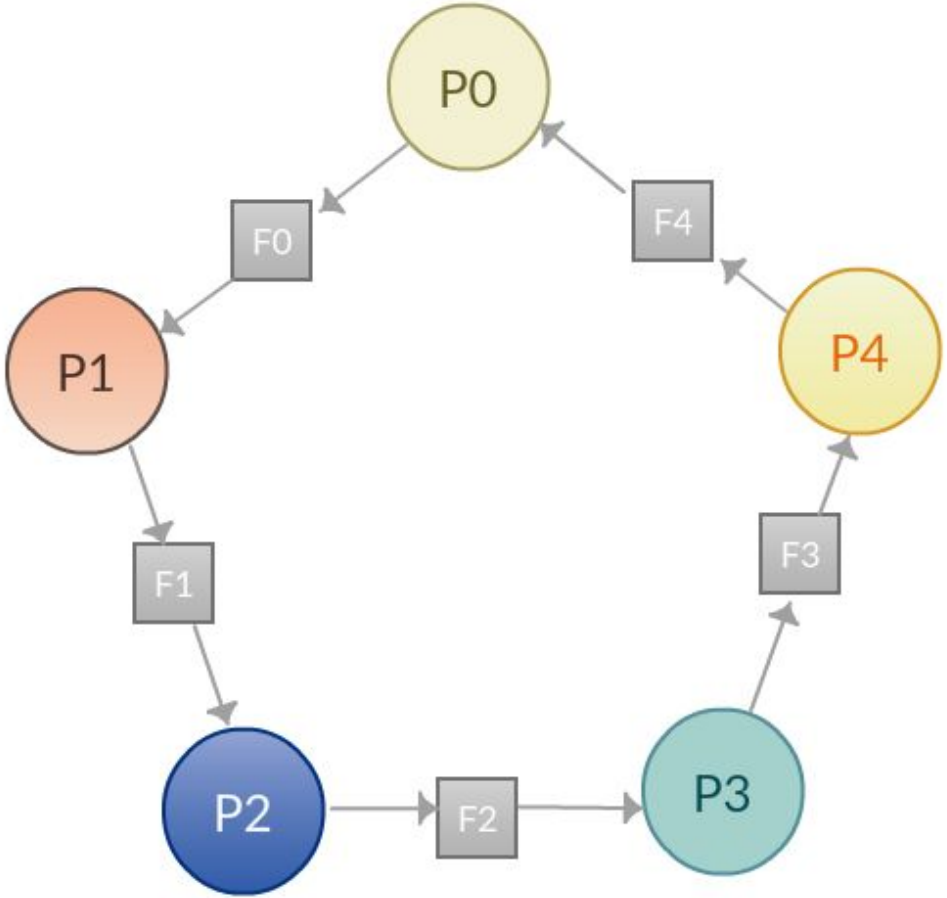











P0
F0
P1
F1
P2
F2
P3
F3
P4
F4

O Jantar dos Filósofos

Uma solução válida para o problema deve verificar as seguintes propriedades:

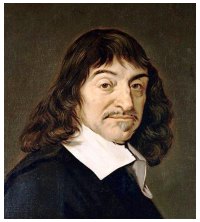
- Fornecer um comportamento para os filósofos
- Possibilitar que todos os filósofos consigam comer
- Evitar que os filósofos morram de fome
- Coordenar o acesso aos recursos compartilhados
- Ser justa, de forma que todos comam em média o mesmo e esperem uma quantidade equivalente de tempo

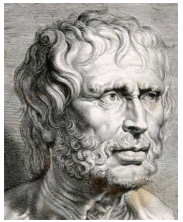
Os algoritmos Hierarquia de Recursos **[3]** **[4]**, Waiter **[5]** e Chandy-Misra **[6]** verificam as propriedades apresentadas.

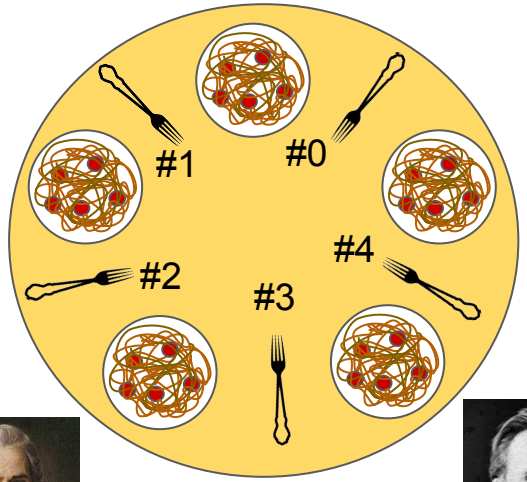
Algoritmos

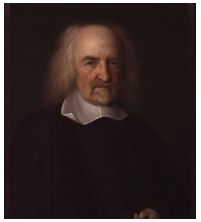
Hierarquia de Recursos

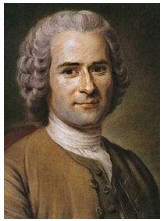
1. Pense por uma quantidade fixa de tempo então sinta fome
2. Ao sentir fome tente pegar o garfo de menor índice que estiver ao seu alcance, caso consiga prossiga para o próximo passo, caso contrário volte para o passo 1
3. Tente pegar o garfo restante, caso consiga prossiga para o próximo passo, caso contrário solte o garfo que tem em mãos e volte para o passo 1
4. Comece a comer por uma quantidade fixa de tempo
5. Largue o garfo de menor índice
6. Largue o garfo restante
7. Volte para o passo 1

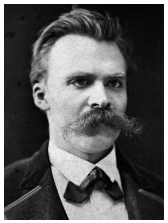


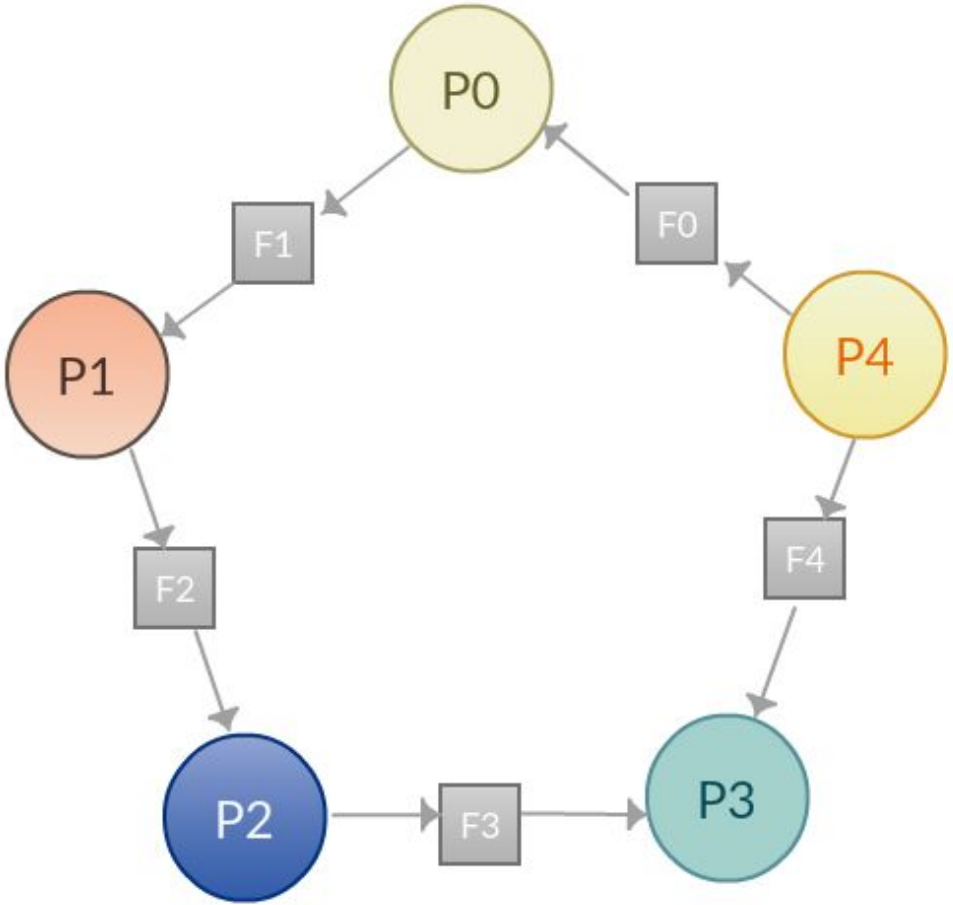


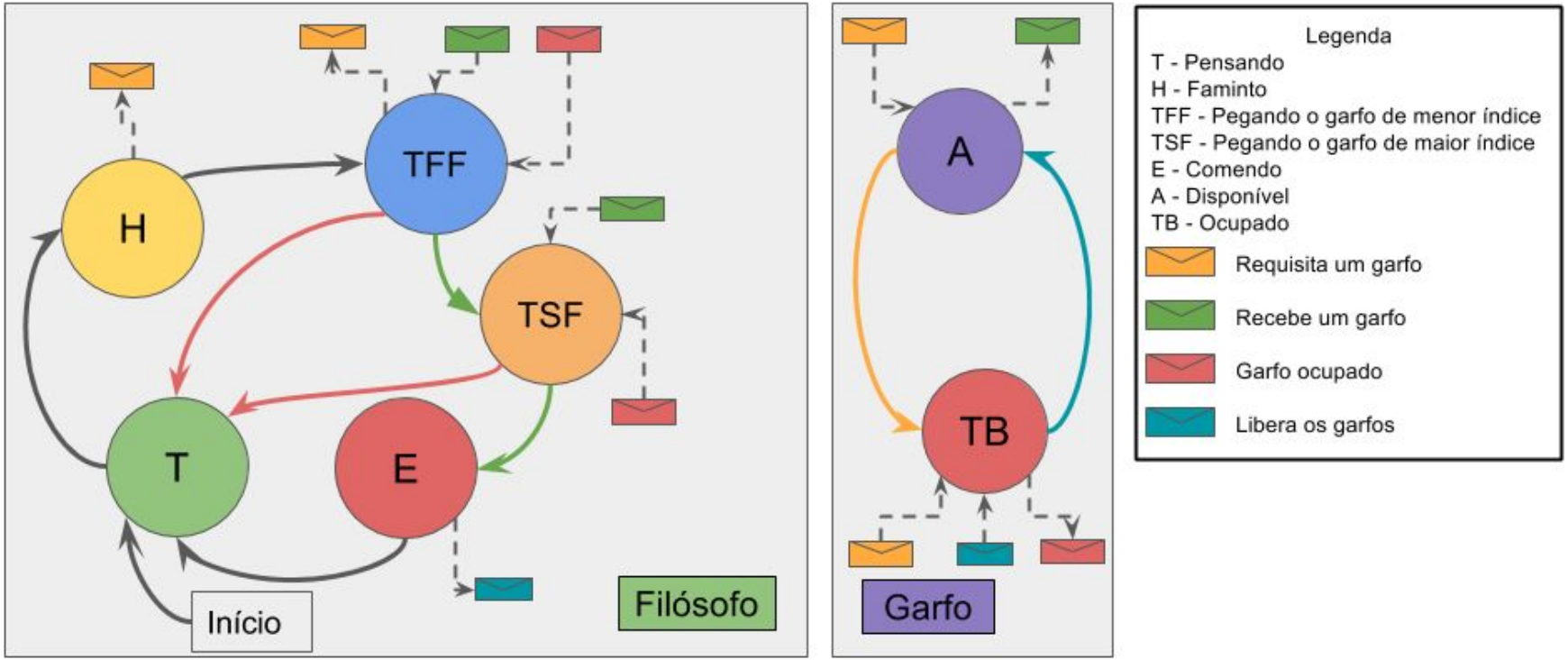

#0
#1
#2
#3
#4








P0
F1
F0
P1
P4
F2
F4
P2
F3
P3


TFF
H
TSF
T
E
Início
Filósofo
A
TB
Garfo
Legenda
T - Pensando
H - Faminto
TFF - Pegando o garfo de menor índice
TSF - Pegando o garfo de maior índice
E - Comendo
A - Disponível
TB - Ocupado
Requisita um garfo
Recebe um garfo
Garfo ocupado
Libera os garfos

Waiter

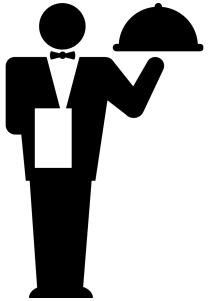
Comportamento do garçom

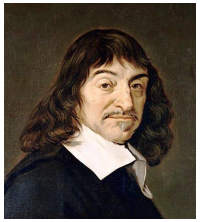
1. Espere até receber uma nova mensagem de um filósofo Pi
2. Ao receber uma nova mensagem verifique o tipo dela
3. Se for do tipo ’requisição’:
    a. Verifique se os garfos de Pi estão livres
    b. Em caso positivo autorize Pi a comer, casos contrário impeça que Pi coma
    c. Volte para o passo 1
4. Se for do tipo ’liberação’:
    a. Libere os garfos de Pi
    b. Volte para o passo 1

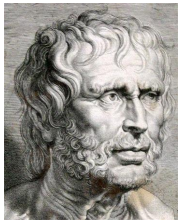
Waiter

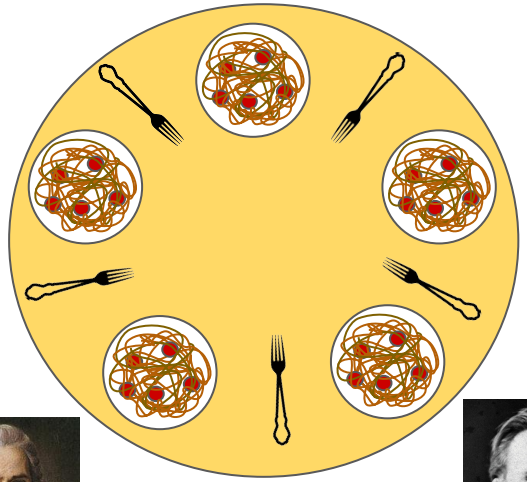
Comportamento dos filósofos

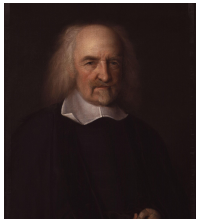
1. Pense por uma quantidade fixa de tempo então sinta fome
2. Ao sentir fome mande uma mensagem do tipo ’requisição’ para o garçom e aguarde sua resposta por um período de tempo máximo, caso este tempo se esgote volte para o passo 1
3. Se for autorizado pelo garçom vá para o próximo passo, caso seja impedido volte para o passo 1
4. Comece a comer por uma quantidade fixa de tempo
5. Mande uma mensagem do tipo ’liberação’ para o garçom
6. Volte para o passo 1

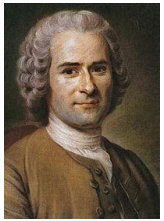


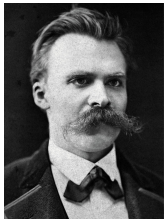


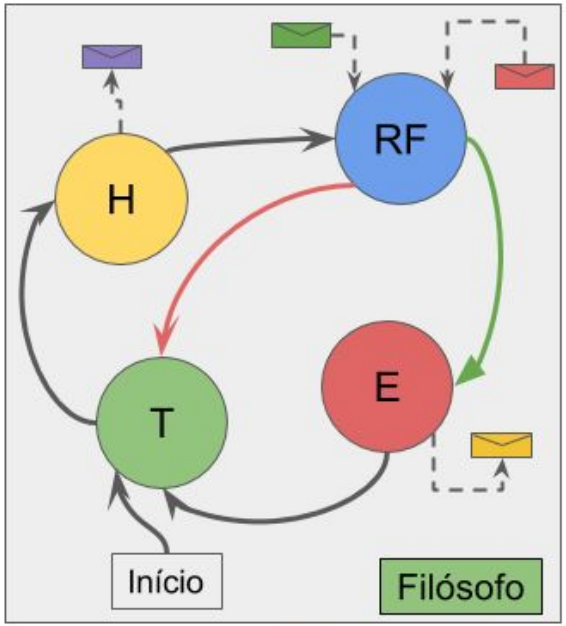


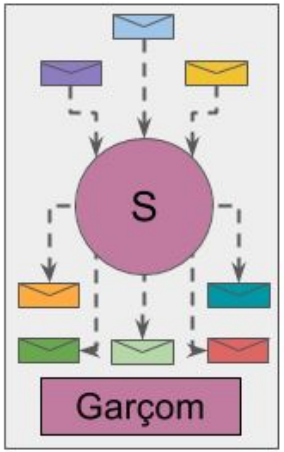












Legenda

T - Pensando
H - Faminto
RF - Requisitando o par de garfos
E - Comendo
S - Servindo
A - Disponível
TB - Ocupado

Requisita o par de garfos

Recebe o par de garfos

Garfos ocupados

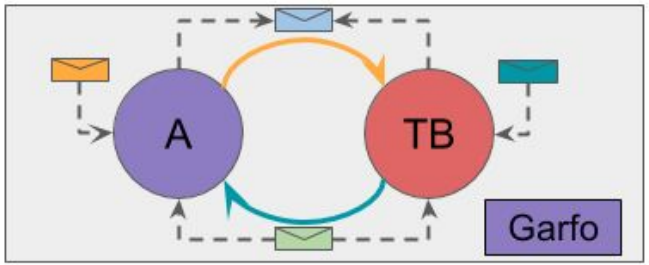
Libera o par de garfos

Pergunta estado do garfo

Recebe estado do garfo

Requisita o garfo

Libera o garfo



Chandy-Misra

O algoritmo funciona a partir de:

- Um conjunto de variáveis booleanas
- Um conjunto de regras definidas
- Um grafo de precedência H
- Um conjunto de condições iniciais

$fork_u(f_i)$: O filósofo u detem o garfo f_i

$reqf_u(f_i)$: O filósofo u detem um *request token* para o garfo f_i

$dirty_u(f_i)$: O garfo f_i está em posse do filósofo u e está sujo

$thinking_u/hungry_u/eating_u$: O filósofo u está pensando/faminto/comendo

- Filósofo u requisita o garfo f_i:

  $hungry_u$, $reqf_u(f_i)$, $\neg fork_u(f_i) \Rightarrow$
  Mande o *request token* para o filósofo que detem f_i;
  $reqf_u(f_i) := false$

- Filósofo u libera o garfo f_i:

  $\neg eating_u$, $reqf_u(f_i)$, $dirty_u(f_i) \Rightarrow$
  Mande o garfo para o filósofo que enviou o *request token* de f_i;
  $dirty_u(f_i) := false$;
  $fork_u(f_i) := false$

- Filósofo u recebe um *request token* para o garfo f_i:

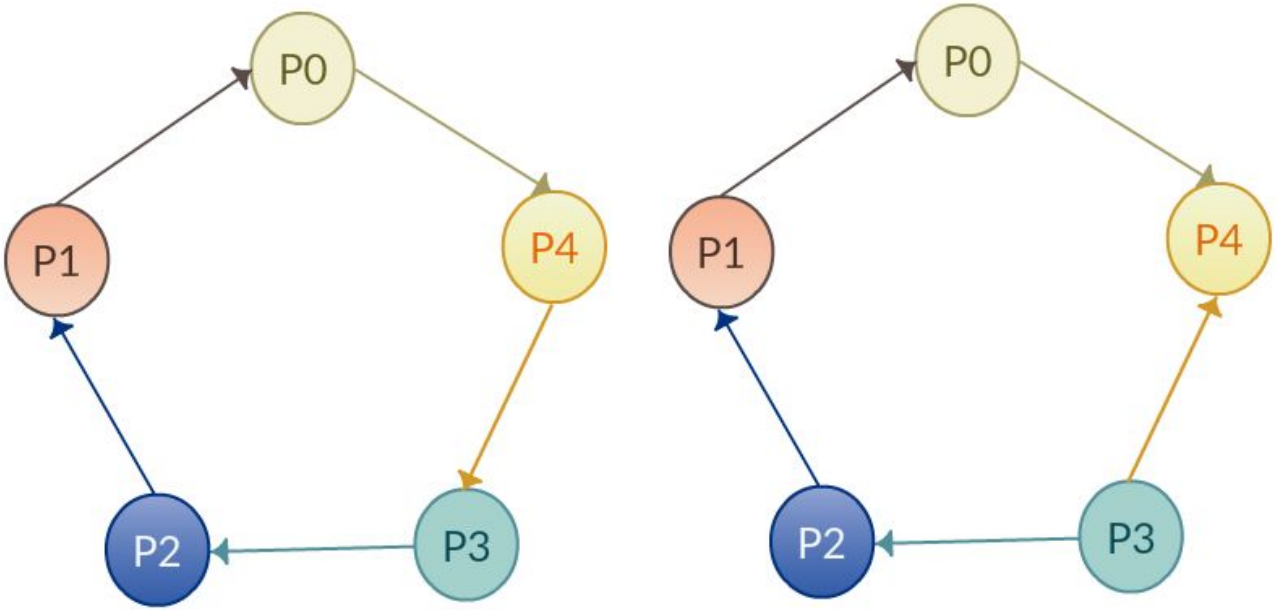
  Ao receber um *request token* para o garfo $f_i \Rightarrow$
  Mande o garfo para o filósofo que enviou o *request token* de f_i;
  $reqf_u(f_i) := true$

- Filósofo u recebe o garfo f_i:

  Ao receber o garfo $f_i \Rightarrow$
  $fork_u(f_i) := true$;
  $\neg dirty_u(f_i)$

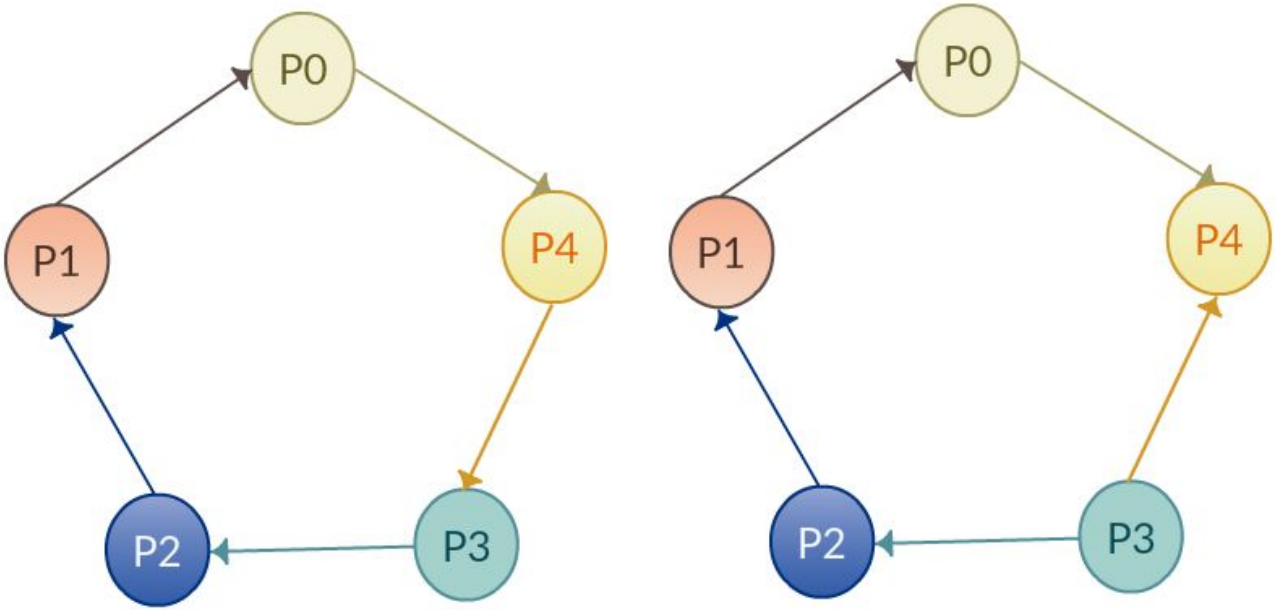
- Filósofo u está usando o garfo f_i:

  $eating_u$, $fork_u(f_i) \Rightarrow$
  $dirty_u(f_i) := true$

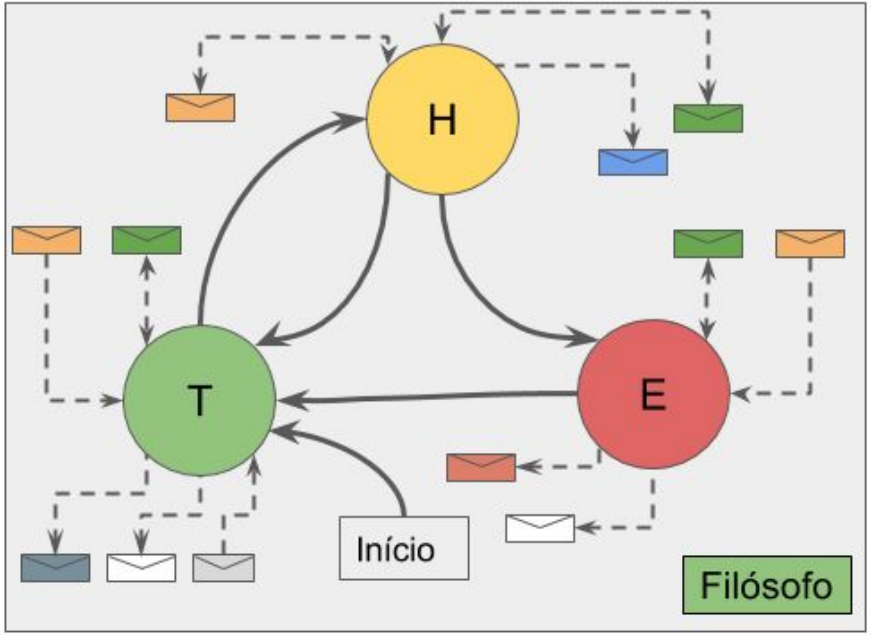


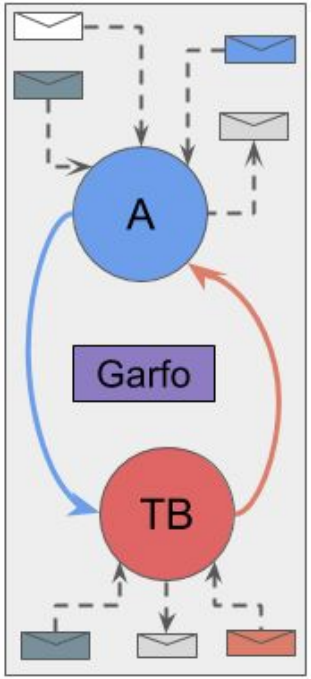
Pu→Pv sse:

- Pu detêm a posse do garfo compartilhado entre ele e Pv, ou
- Pv detêm o garfo, e o garfo está sujo, ou
- O garfo está indo de Pv para Pu



1. Todos os garfos estão inicialmente sujos
2. Para cada garfo Fi que é dividido entre dois filósofos um deles segurará o request token de Fi e o outro o garfo
3. O grafo de precedência H é acíclico





Legenda

T - Pensando
H - Faminto
E - Comendo
A - Disponível
TB - Ocupado

Recebe/Envia o token de um garfo

Recebe/Envia a resposta de um token

Pergunta se o garfo está sujo

Limpa o garfo

Diz se o garfo está sujo

Requisita um garfo

Libera um garfo

Simulação e Resultados

Especificações do computador:

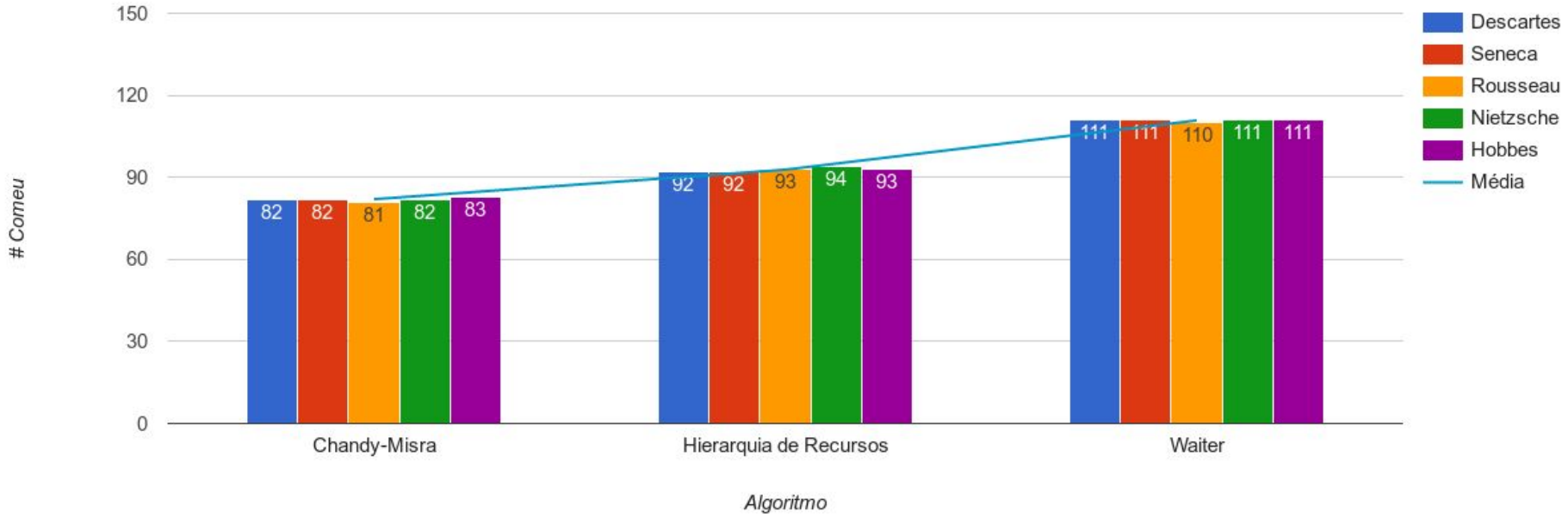
- Lenovo Thinkpad T420
- Intel(R) Core(TM) i5-2520M CPU @ 2.50GHz com 4 núcleos
- 8gb RAM
- SSD 250gb Kingston UV400
- Ubuntu 16.04 LTS Mate
- Kernel Linux 4.4.0-47-generic (x86_64)

Especificação dos softwares:

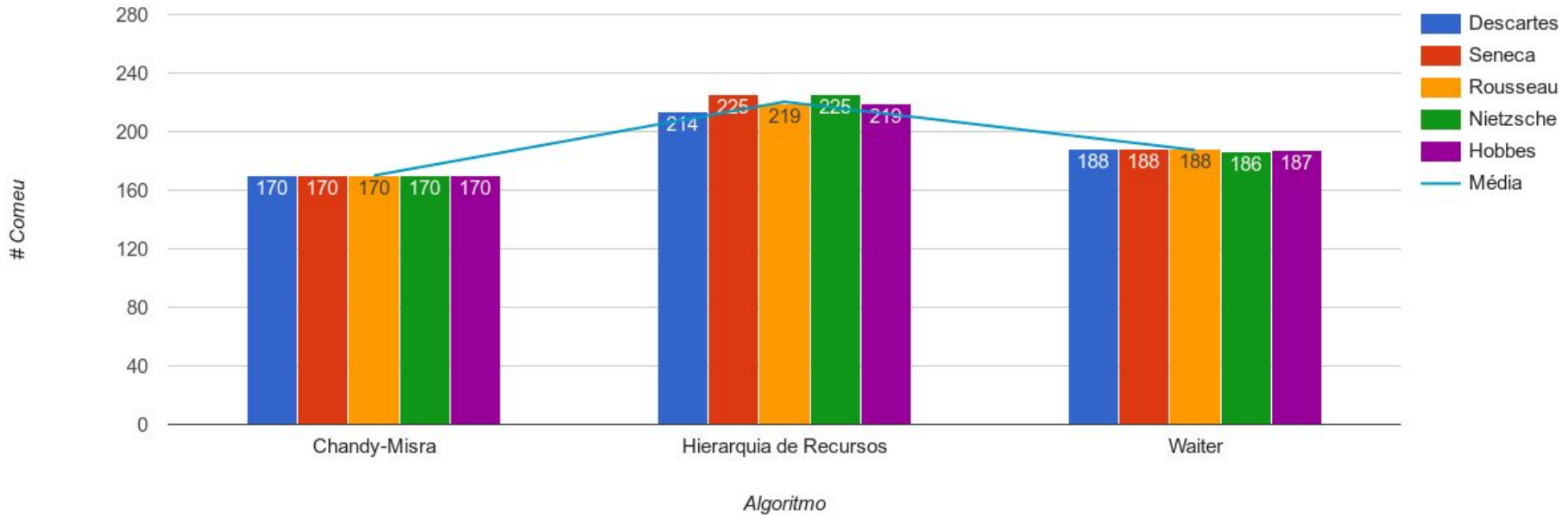
- Scala version 2.11.8
- Java version 1.8.0_101
- Akka version 2.4.8
- Sbt version 0.13.12

Quantidade de vezes que os filósofos comeram

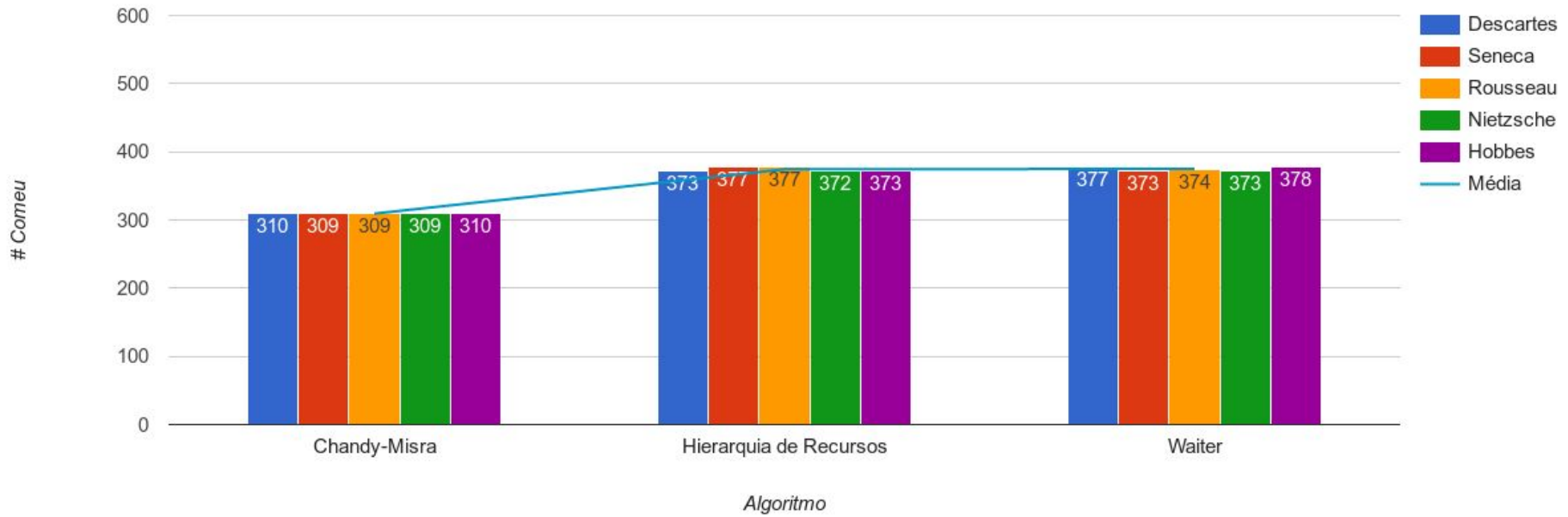
30 minutos de simulação



1 hora de simulação

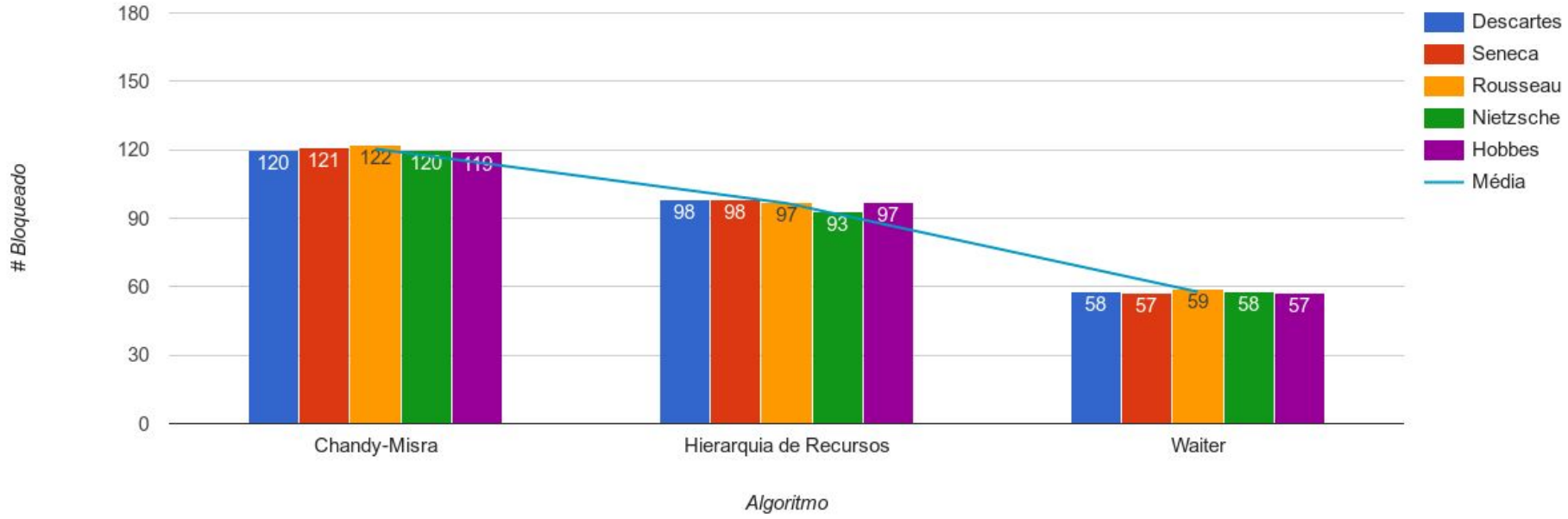


2 horas de simulação

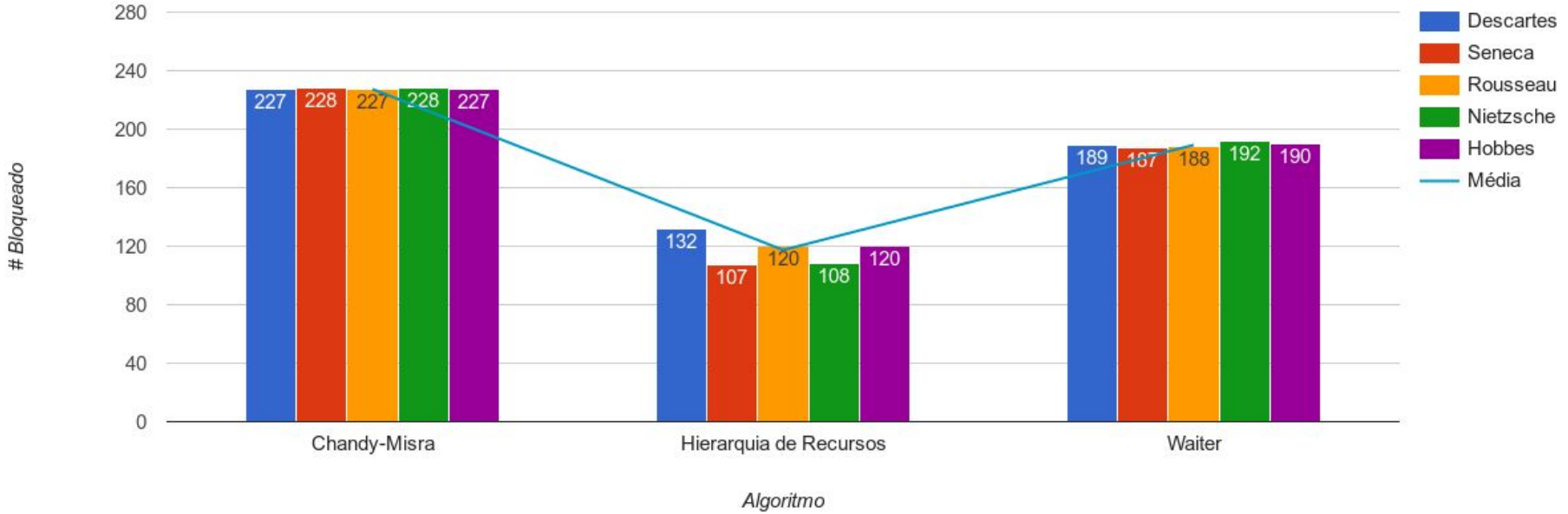


Quantidade de vezes que os filósofos foram bloqueados de comer

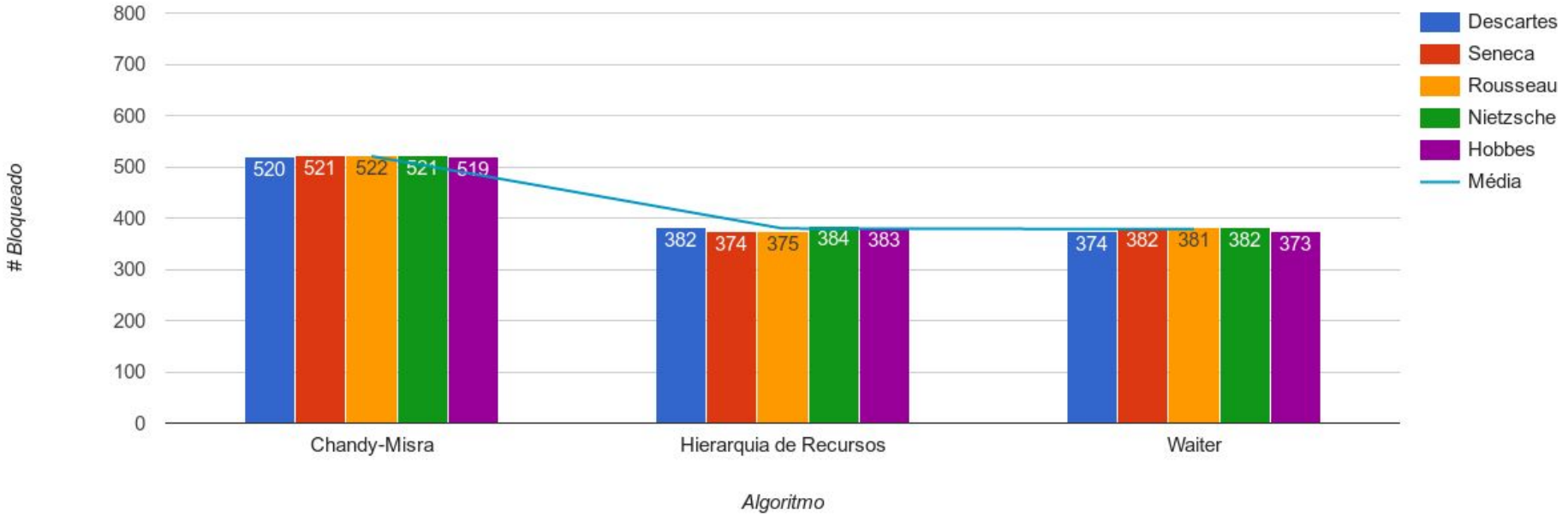
30 minutos de simulação



1 hora de simulação

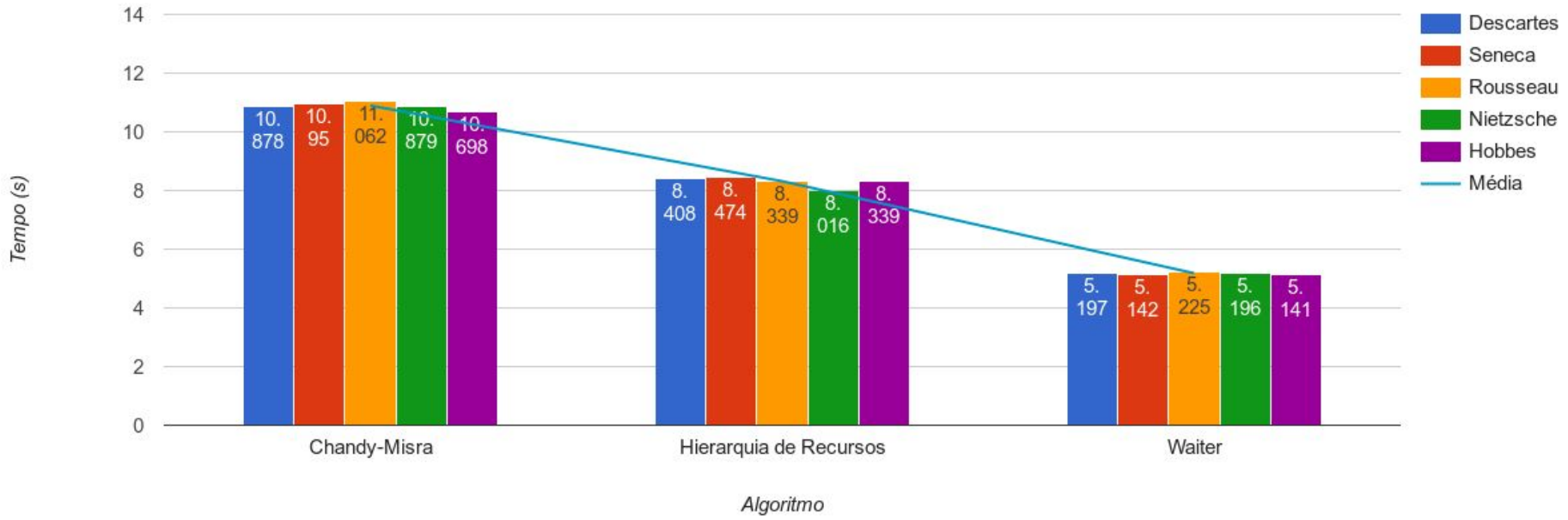


2 horas de simulação

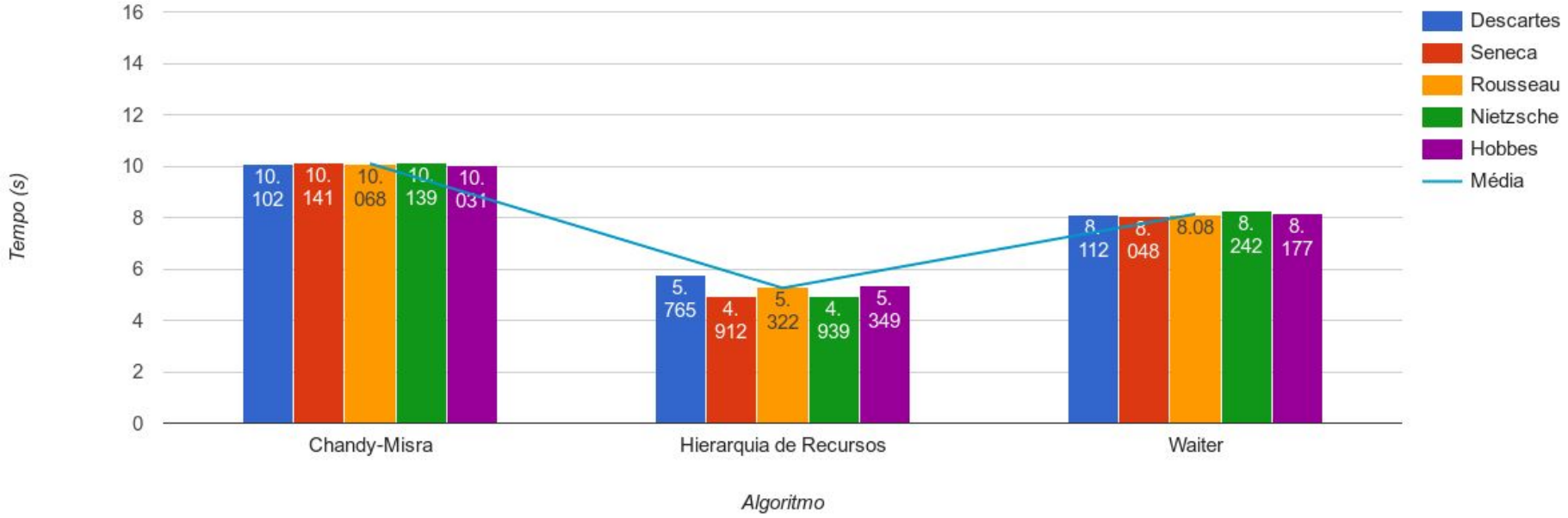


Tempo médio que um filósofo precisa esperar para comer

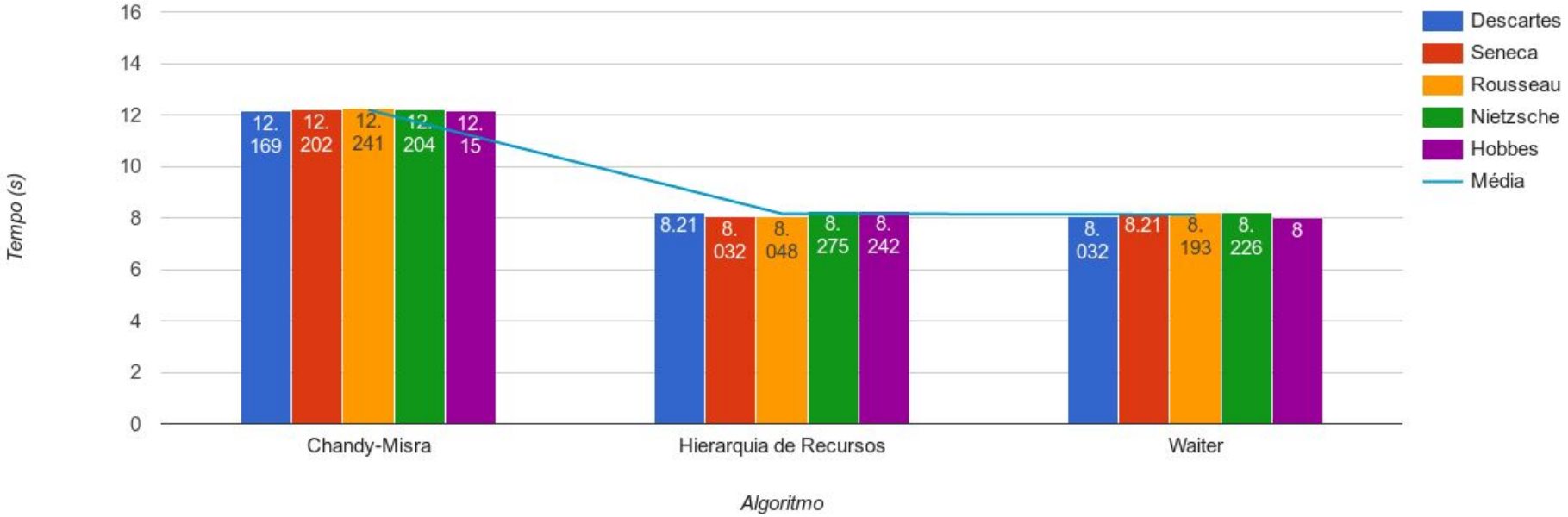
30 minutos de simulação



1 hora de simulação



2 horas de simulação



Conclusão

Através da modelagem do problema e das simulações podemos concluir que:

- Cada filósofo, garfo e garçom é um ator, e seu comportamento é definido como um máquina de estados
- Cada um dos algoritmo define um comportamento para os filósofos
- Todos os filósofos se alimentaram, isso evidencia a ausência de impasses, como deadlocks e livelocks
- Um tempo de espera quase uniforme indica que nenhum filósofo morreu de fome
- A ausência de impasses indica que o acesso ao recurso foi coordenado de forma correta e simétrica entre os filósofos
- Cada algoritmo coordena o acesso aos recursos compartilhados de formas diferentes

Referências

[1] Carl Hewitt et al. A universal modular actor formalism for artificial intelligence. IJCAI'73, 1973, pp. 235–245.

[2] Gul A. Agha. Actors: a Model of Concurrent Computation in Distributed Systems. MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1985, pp. 12-31.

[3] Edsger W. Dijkstra. Hierarchical ordening of sequential processes. EWD310, p. 7

[4] Edsger W. Dijkstra. Two starvation-free solutions of a general exclusion problem. EWD625

[5] C.A.R Hoare. Communication Sequential Process. Prentice Hall; 1 edition, 1985., pp. 57-61.

[6] K.M. Chandy et al. The drinking pilosopher problem. ACM Transactions on Programming Languages and Systems, Vol. 6, No. 4, 1984, pp. 632–646

Para mais informações sobre o trabalho, consulte:
https://github.com/fllsouto/mac0499
ou envie um email para fllsouto@gmail.com

Obrigado!

Um estudo do Modelo de Atores aplicado à concorrência de recursos

Fellipe Souto Sampaio
Orientadora: Prof. Dra. Ana Cristina Vieira de Melo

MAC0499 - Trabalho de Formatura Supervisionada
Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo

16 de Novembro de 2016