

Modelação da dinâmica do comportamento humano usando filas de espera

João Gama Oliveira

A.-L. Barabási, Z. Dezsö, K.-I. Goh, I. Kondor, A. Vázquez

18 JAN, 2012

Dinâmica do comportamento humano

Comportamento humano tem sido um centro de interesse geral desde sempre.

O aspecto quantitativo do comportamento humano permanece em muitas situações mal compreendido.

Muitos fenómenos (sociais, tecnológicos, económicos, ...) são induzidos por acções individuais humanas.

O desenho de sistemas telefónicos, protocolos de internet, routers, etc., requer uma compreensão quantitativa de padrões de comportamento.

Dinâmica do comportamento humano

Comportamento humano tem sido um centro de interesse geral desde sempre.

O aspecto quantitativo do comportamento humano permanece em muitas situações mal compreendido.

Muitos fenómenos (sociais, tecnológicos, económicos, ...) são induzidos por acções individuais humanas.

O desenho de sistemas telefónicos, protocolos de internet, routers, etc., requer uma compreensão quantitativa de padrões de comportamento.

E.g. a *fórmula de Erlang*, que prevê o número de linhas telefónicas numa instituição, é baseada na hipótese de que o timing de acções humanas segue um processo de Poisson.

$$E(\lambda, C) = \frac{\lambda^C}{C!} \left[\sum_{i=0}^C \frac{\lambda^i}{i!} \right]^{-1}$$

E : fracção de utentes que encontram todas as linhas ocupadas
 C : número de linhas
 λ : número de chamadas por unidade de tempo

Processos de Poisson

Modelos correntes assumem que o timing de acções humanas é bem aproximado por um processo de Poisson

Eventos acontecem aleatoriamente, a uma taxa bem definida λ

τ : intervalo de tempo entre dois eventos consecutivos

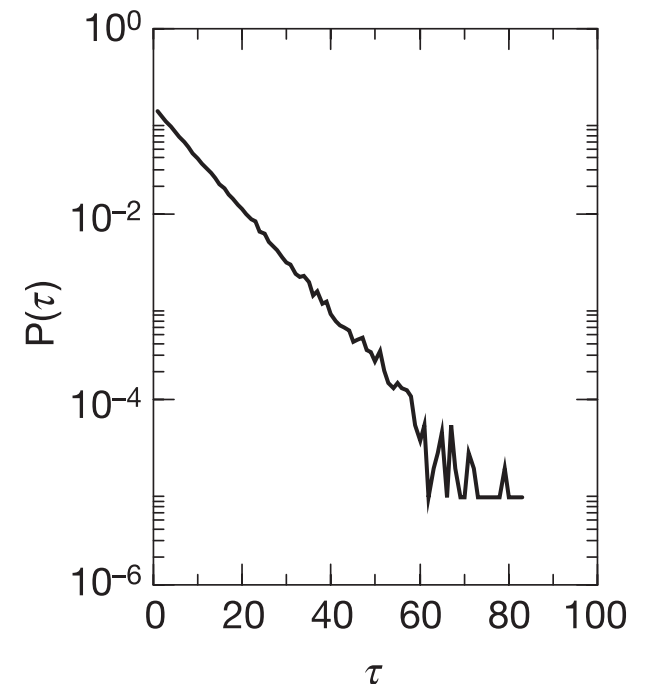
Processos de Poisson

Modelos correntes assumem que o timing de acções humanas é bem aproximado por um processo de Poisson

Eventos acontecem aleatoriamente, a uma taxa bem definida λ

τ : intervalo de tempo entre dois eventos consecutivos

$$P(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau)$$



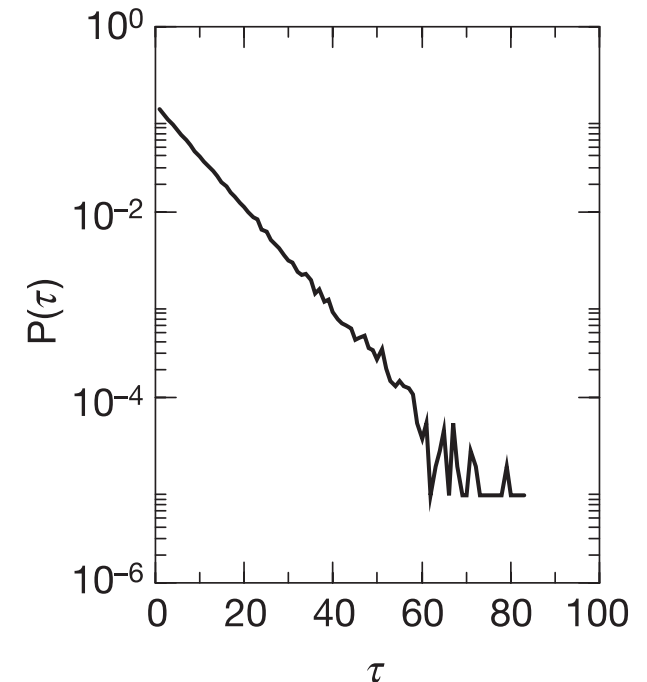
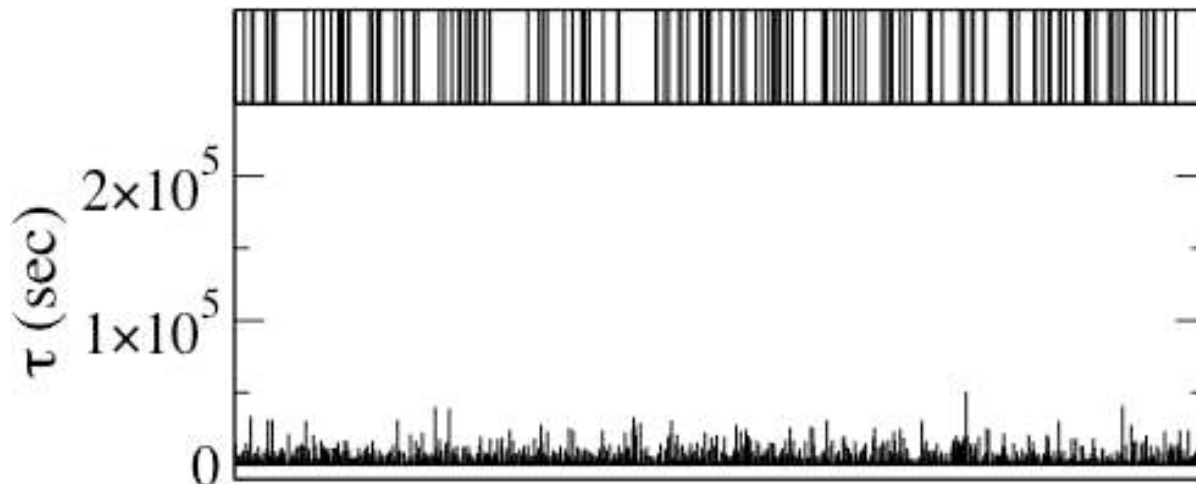
Processos de Poisson

Modelos correntes assumem que o timing de acções humanas é bem aproximado por um processo de Poisson

Eventos acontecem aleatoriamente, a uma taxa bem definida λ

τ : intervalo de tempo entre dois eventos consecutivos

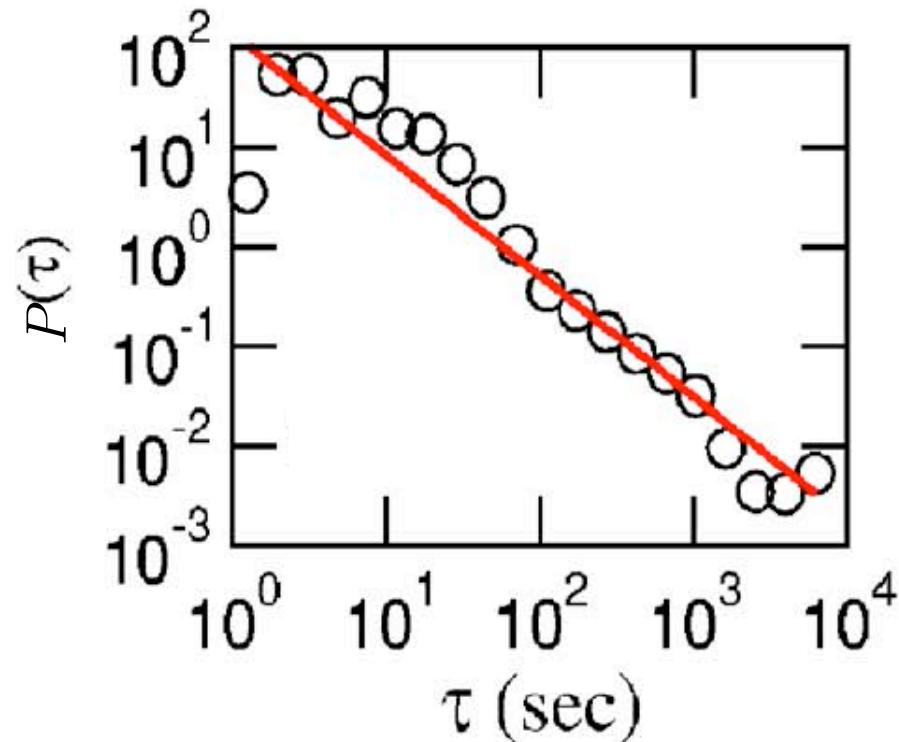
$$P(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau)$$



A dinâmica temporal das actividades humanas é aleatória?

Resultados experimentais

Comunicação por Email

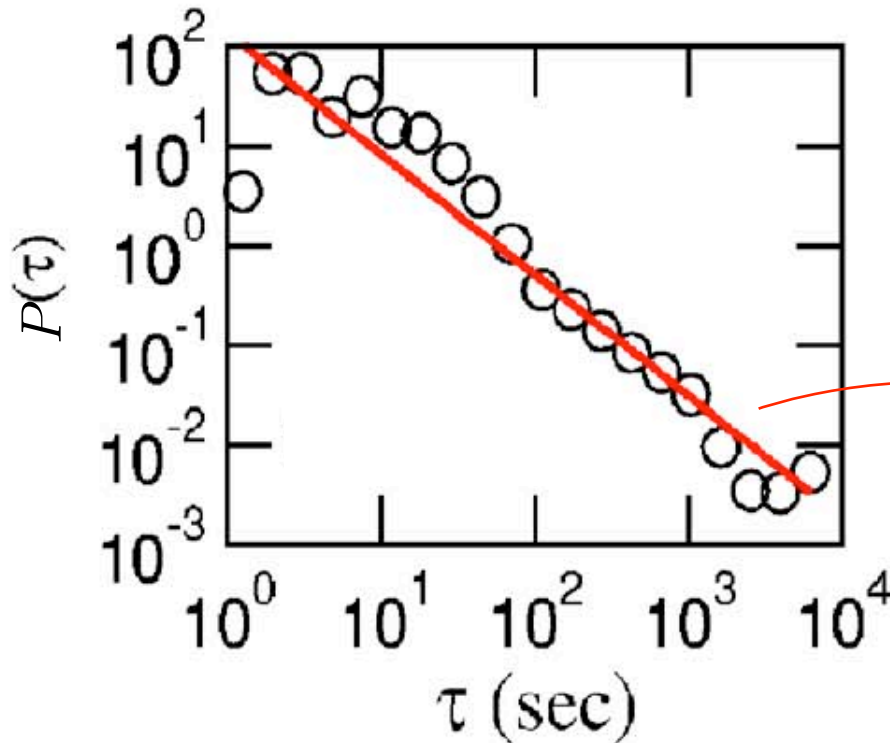


τ : tempo entre dois emails consecutivos enviados por um utente

- Número de utentes: 3180
- Número de eventos: 129 135
- Período temporal: 3 meses
- Resolução temporal: 1 segundo

Resultados experimentais

Comunicação por Email



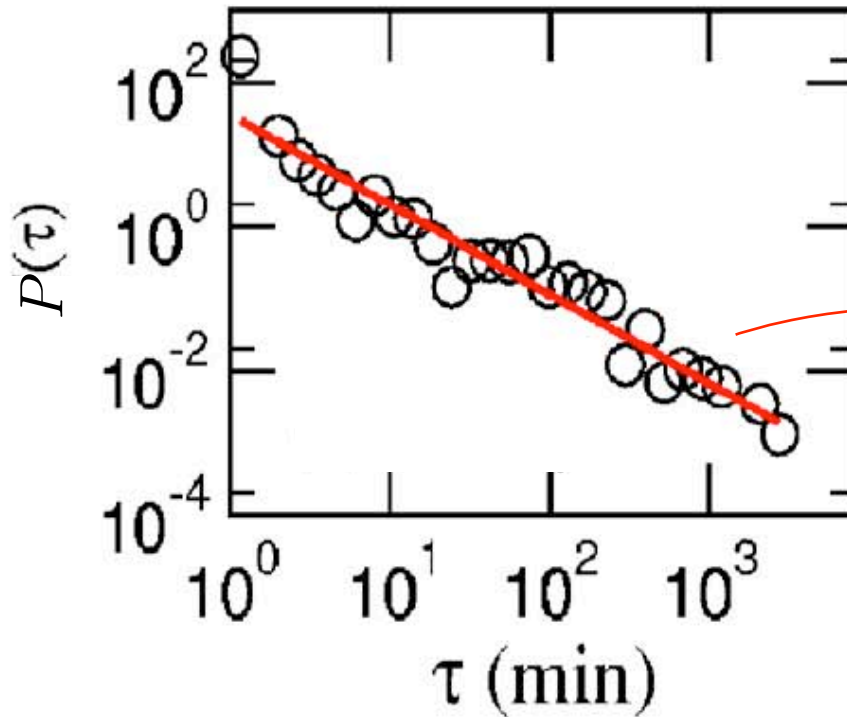
τ : tempo entre dois emails consecutivos enviados por um utente

$$P(\tau) \sim \tau^{-\alpha}$$
$$\alpha = 1$$

- Número de utentes: 3180
- Número de eventos: 129 135
- Período temporal: 3 meses
- Resolução temporal: 1 segundo

Resultados experimentais

Idas à biblioteca



τ : tempo entre dois empréstimos consecutivos a um utente numa biblioteca

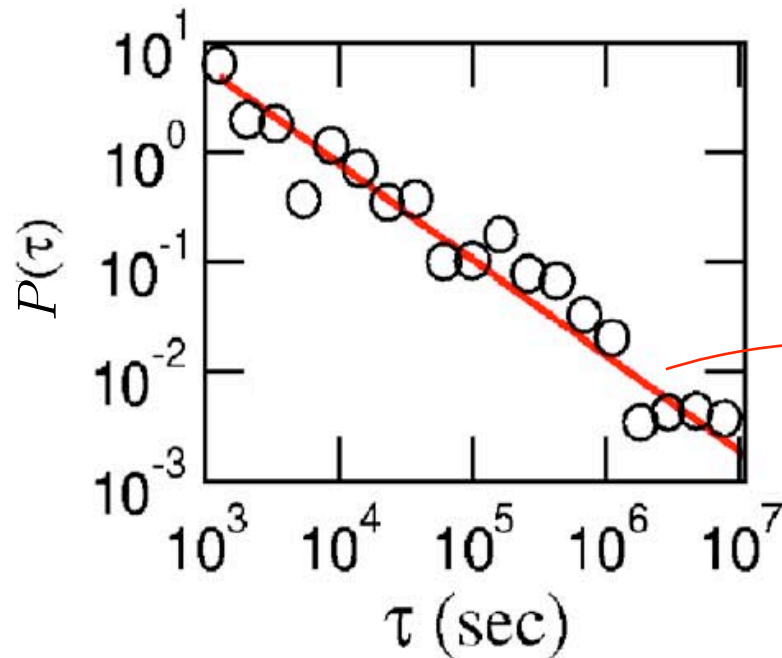
$$P(\tau) \sim \tau^{-\alpha}$$

$$\alpha = 1$$

- Número de utentes: 2247
- Número de eventos: 48 408
- Período temporal: 3 anos
- Resolução temporal: 1 minuto

Resultados experimentais

Navegação na Web



τ : tempo entre duas visitas consecutivas de um utente a um site

$$P(\tau) \sim \tau^{-\alpha}$$

$$\alpha = 1$$

- Número de utentes: 250 000
- Número de eventos: 22 000 000
- Período temporal: 1 mês
- Resolução temporal: 1 segundo

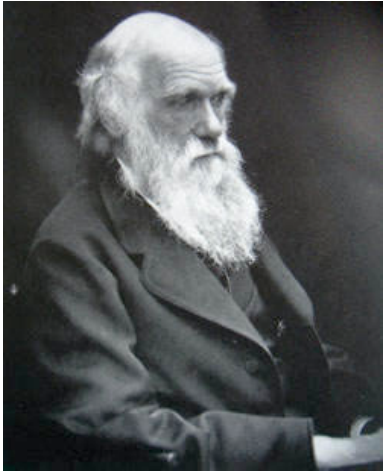
O único expoente observado é $\alpha=1$?

Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein

Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein



1809-82

Enviou:

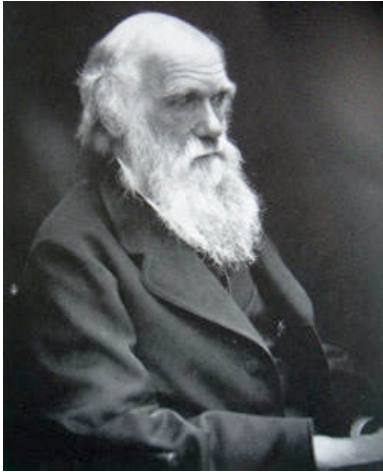
7 591

Recebeu:

6 530

Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein



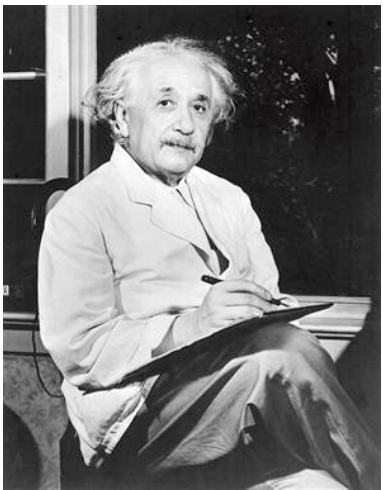
1809-82

Enviou:

7 591

Recebeu:

6 530



1879-1955

Enviou:

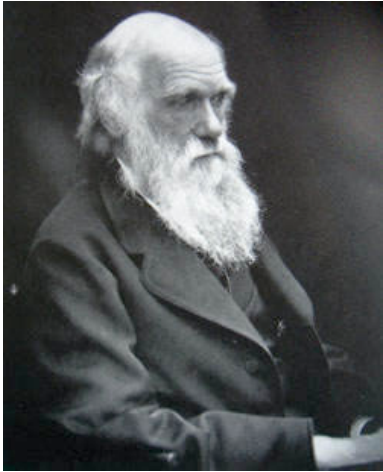
14 500

Recebeu:

16 200

Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein



1809-82

Enviou:

7 591

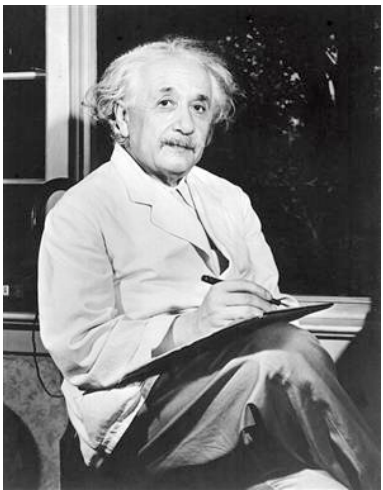
Recebeu:

6 530

Bases de dados

Para cada carta enviada ou recebida,
temos a seguinte informação:

REMETENTE DESTINATÁRIO DATA



1879-1955

Enviou:

14 500

Recebeu:

16 200

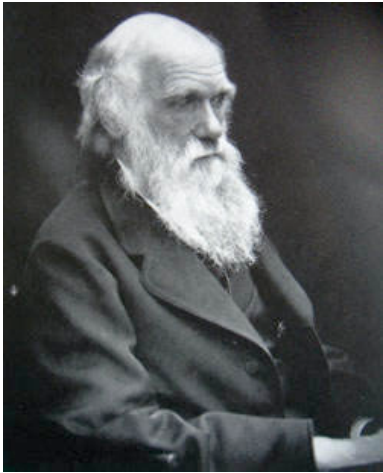
Tempo de resposta:

Indivíduo *A* envia uma carta a Einstein

Qual é a carta seguinte de Einstein para *A*?

Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein



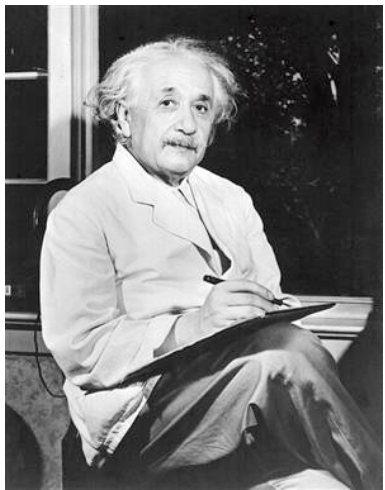
1809-82

Enviou:

7 591

Recebeu:

6 530



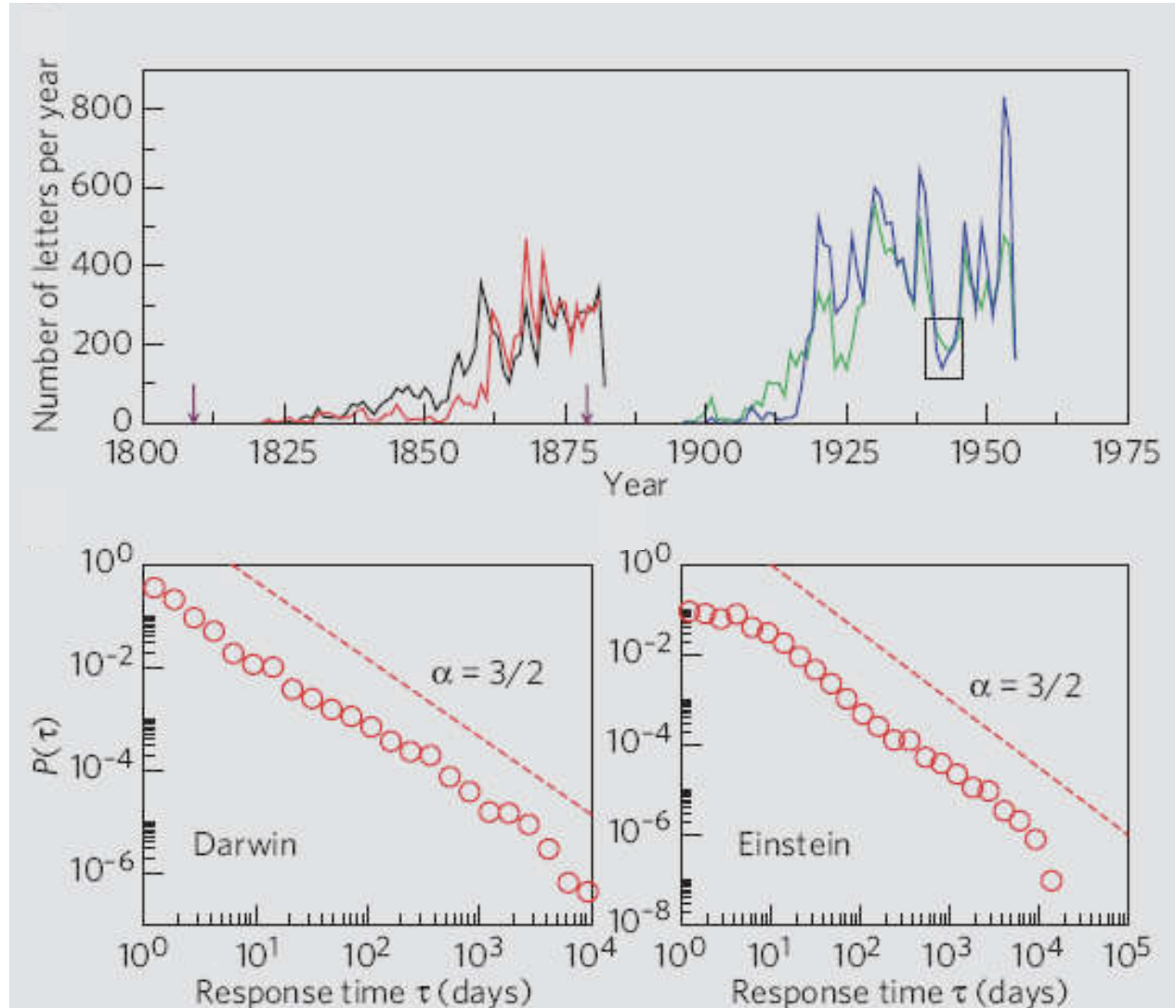
1879-1955

Enviou:

14 500

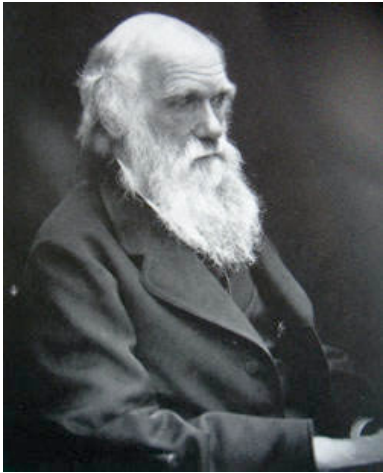
Recebeu:

16 200



Resultados experimentais

Padrões de correspondência de Darwin e Einstein



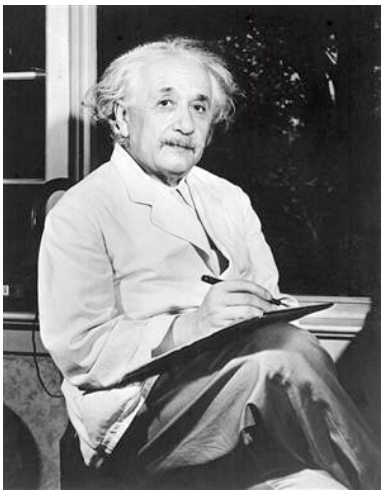
1809-82

Enviou:

7 591

Recebeu:

6 530



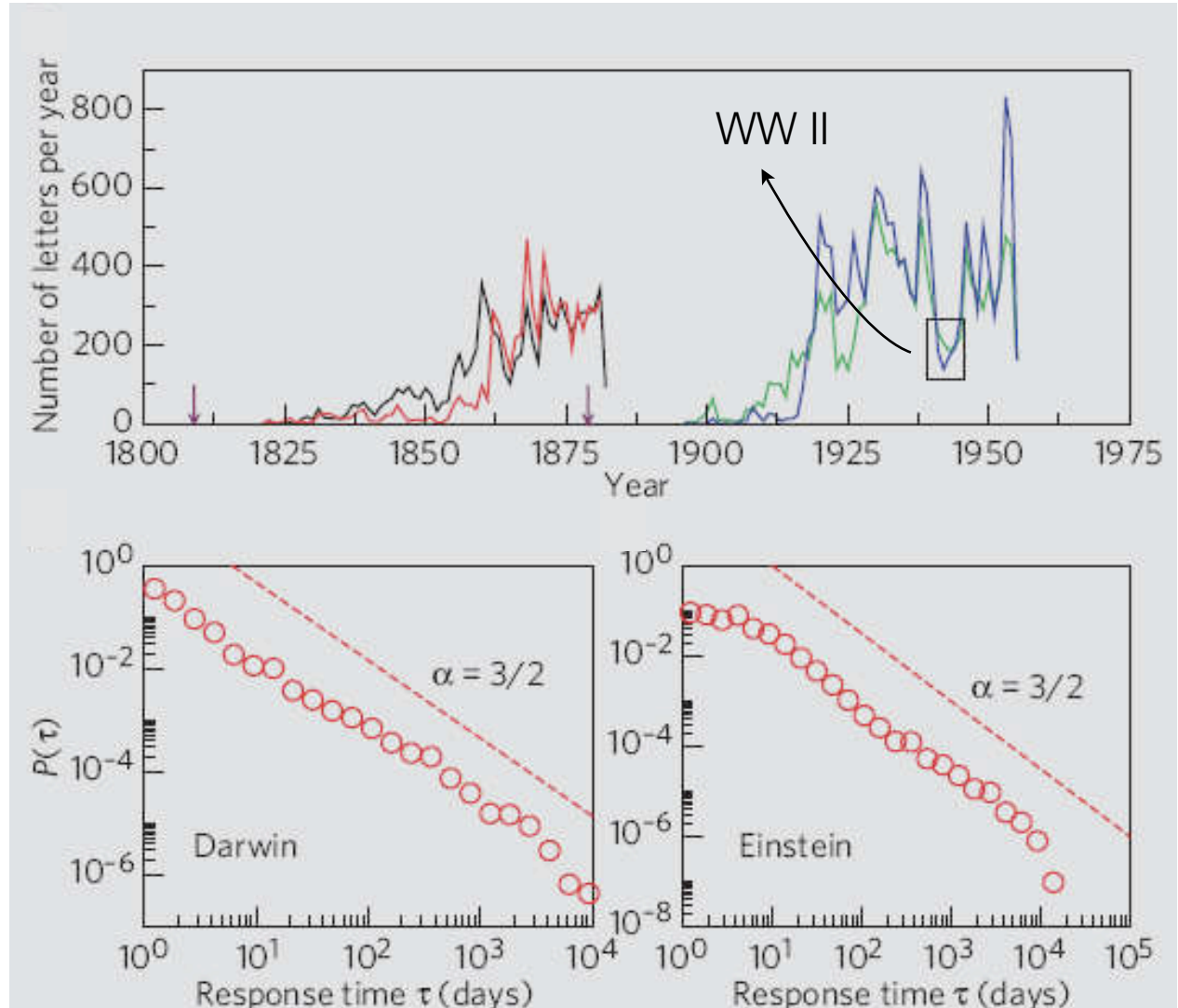
1879-1955

Enviou:

14 500

Recebeu:

16 200



Outros eventos “não-Poisson”

mensagens instantâneas em chats online

submissão de processos num supercomputador

transferências de ficheiros (pedidos de FTP)

impressão de trabalhos

jogos online por um utilizador

visitas a um hospital

chamadas de telemóvel

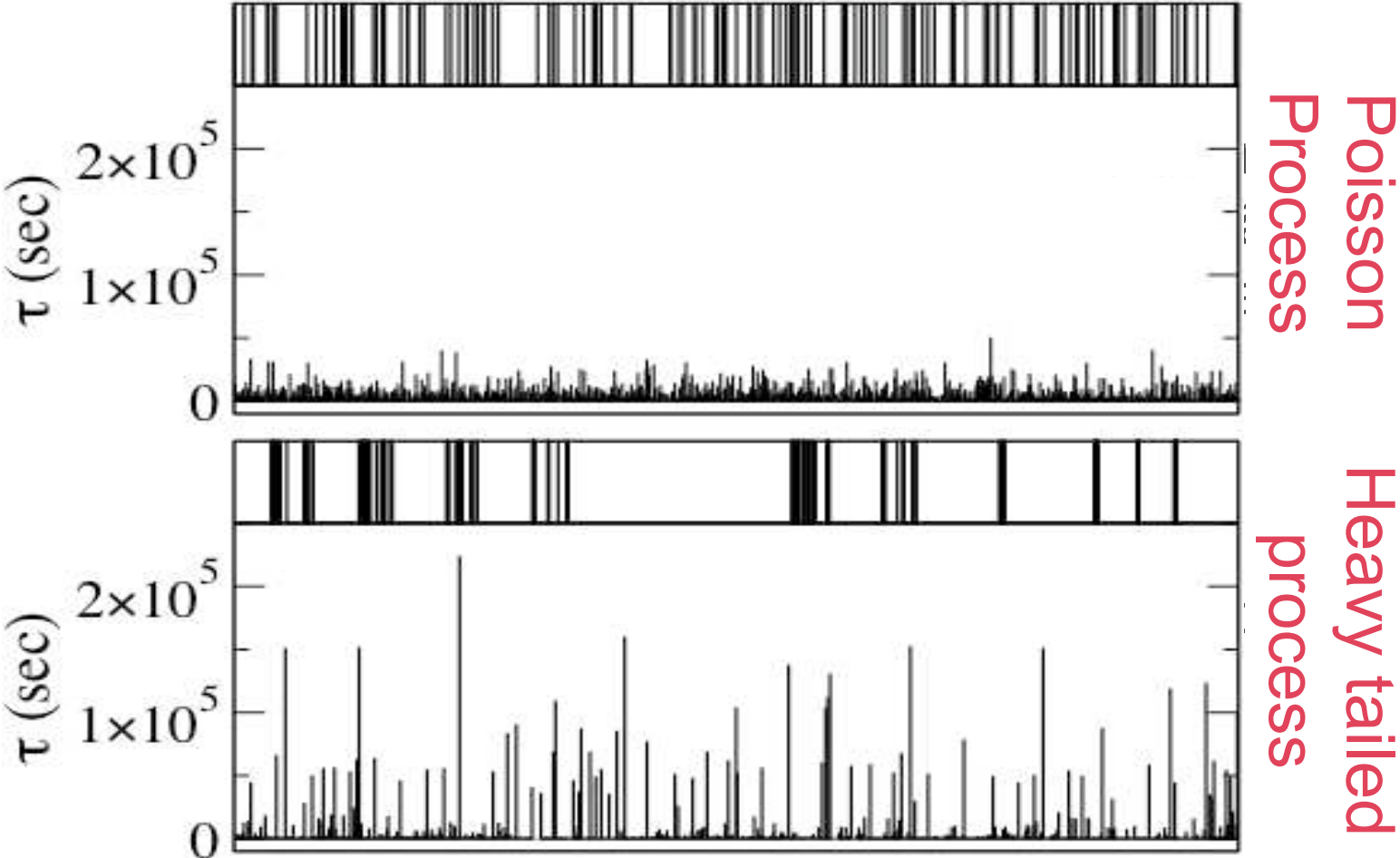
Poisson vs processos de cauda longa

Poisson vs processos de cauda longa

Modelos correntes assumem que o timing de actividades humanas é bem aproximado por um processo de Poisson, prevendo uma distribuição exponencial para o tempo de espera de uma tarefa.

Um número crescente de estudos recentes indicam que esta distribuição é muitas vezes mais bem aproximada por funções de decaimento lento tais como leis de potência.

Poisson vs processes de cauda longa



Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

Lista de tarefas

Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

Lista de tarefas

- Limpar a casa
- Dar um seminário
- Ir ao dentista
- Preparar aulas
- Ver o email
- Ler um livro

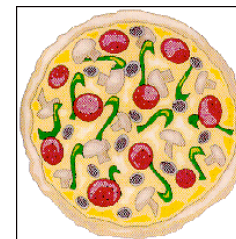
Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

Lista de tarefas	Ordem aleatória
• Limpar a casa	1
• Dar um seminário	6
• Ir ao dentista	3
• Preparar aulas	4
• Ver o email	5
• Ler um livro	2



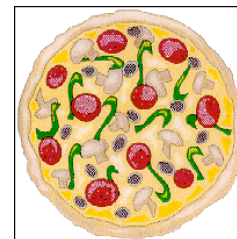
Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

Lista de tarefas	Ordem aleatória	First In First Out
• Limpar a casa	1	1
• Dar um seminário	6	2
• Ir ao dentista	3	3
• Preparar aulas	4	4
• Ver o email	5	5
• Ler um livro	2	6



Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

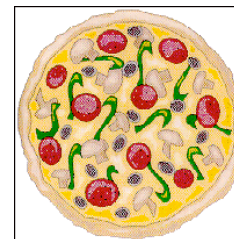
Lista de tarefas	Ordem aleatória	First In First Out	Com prioridades
• Limpar a casa	1	1	0.4
• Dar um seminário	6	2	0.9
• Ir ao dentista	3	3	0.2
• Preparar aulas	4	4	0.3
• Ver o email	5	5	0.7
• Ler um livro	2	6	0.8



Modelação de dinâmicas humanas: modelos de filas de espera

Lista de tarefas	Ordem aleatória	First In First Out	Com prioridades
• Limpar a casa	1	1	0.4
• Dar um seminário	6	2	0.9
• Ir ao dentista	3	3	0.2
• Preparar aulas	4	4	0.3
• Ver o email	5	5	0.7
• Ler um livro	2	6	0.8

Priority queues



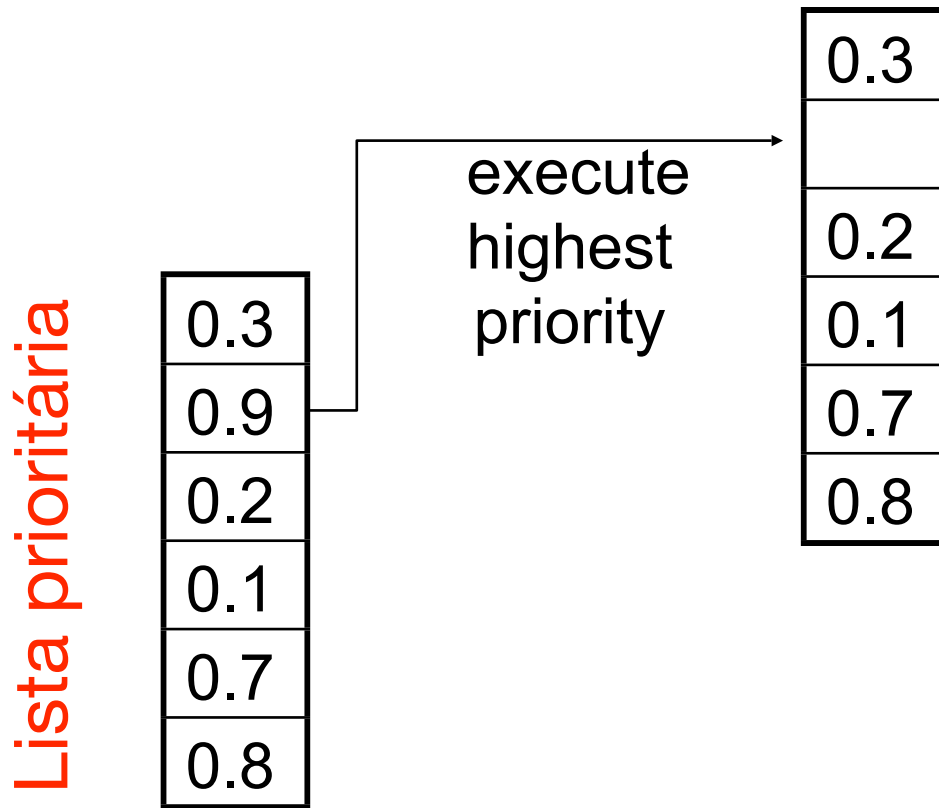
Modelo de Barabási de dinâmica humana

Modelo de Barabási de dinâmica humana

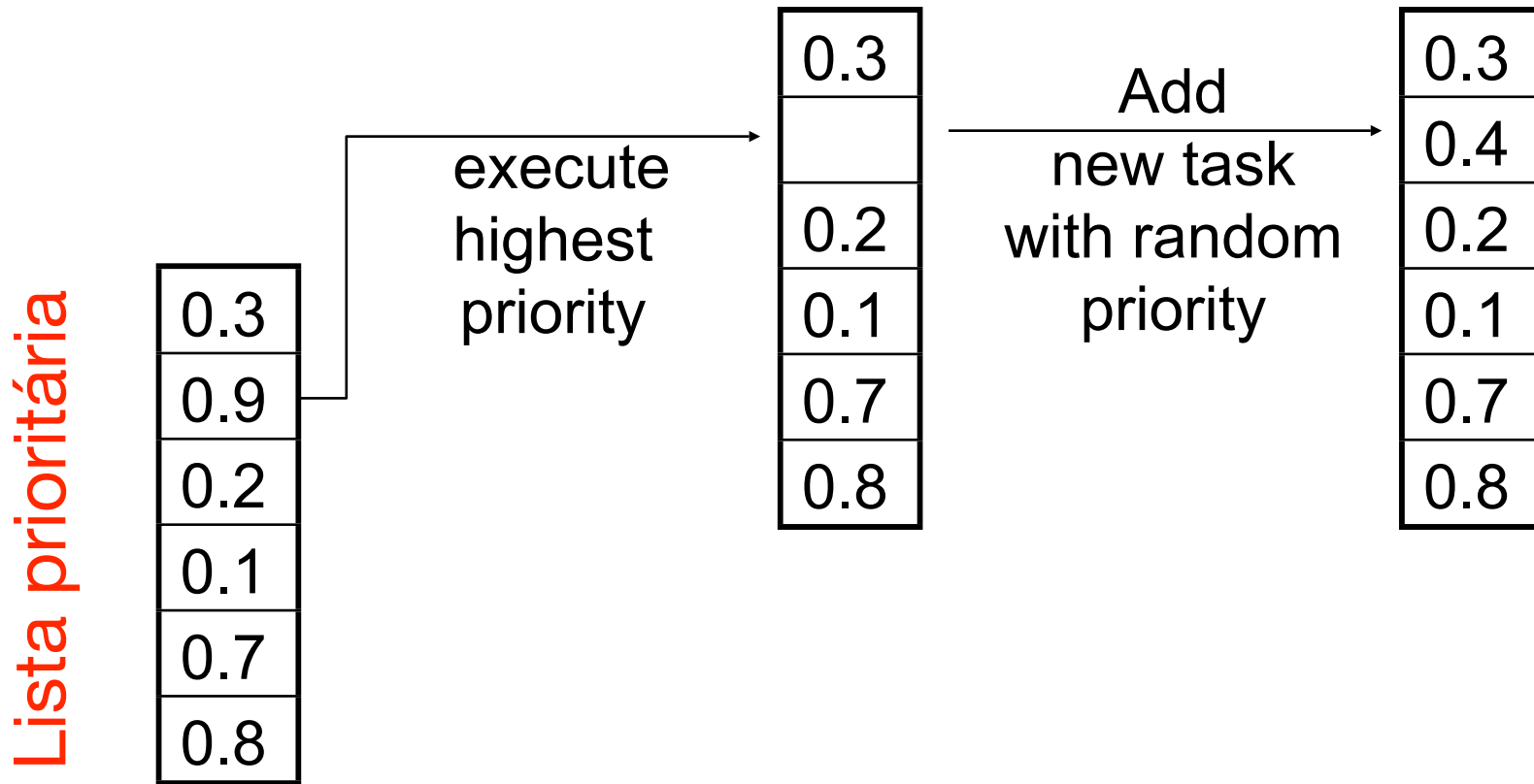
Lista prioritária

0.3
0.9
0.2
0.1
0.7
0.8

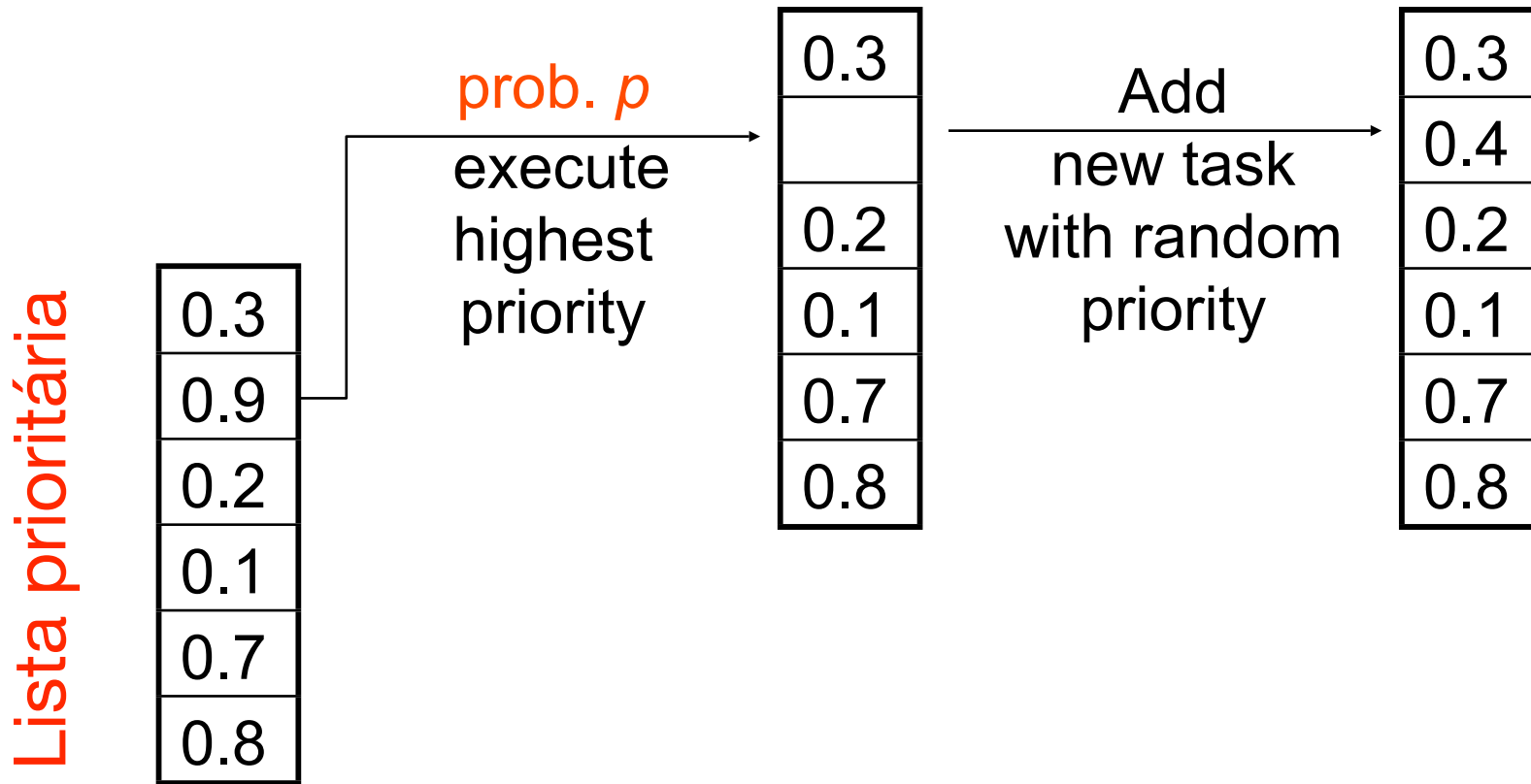
Modelo de Barabási de dinâmica humana



Modelo de Barabási de dinâmica humana



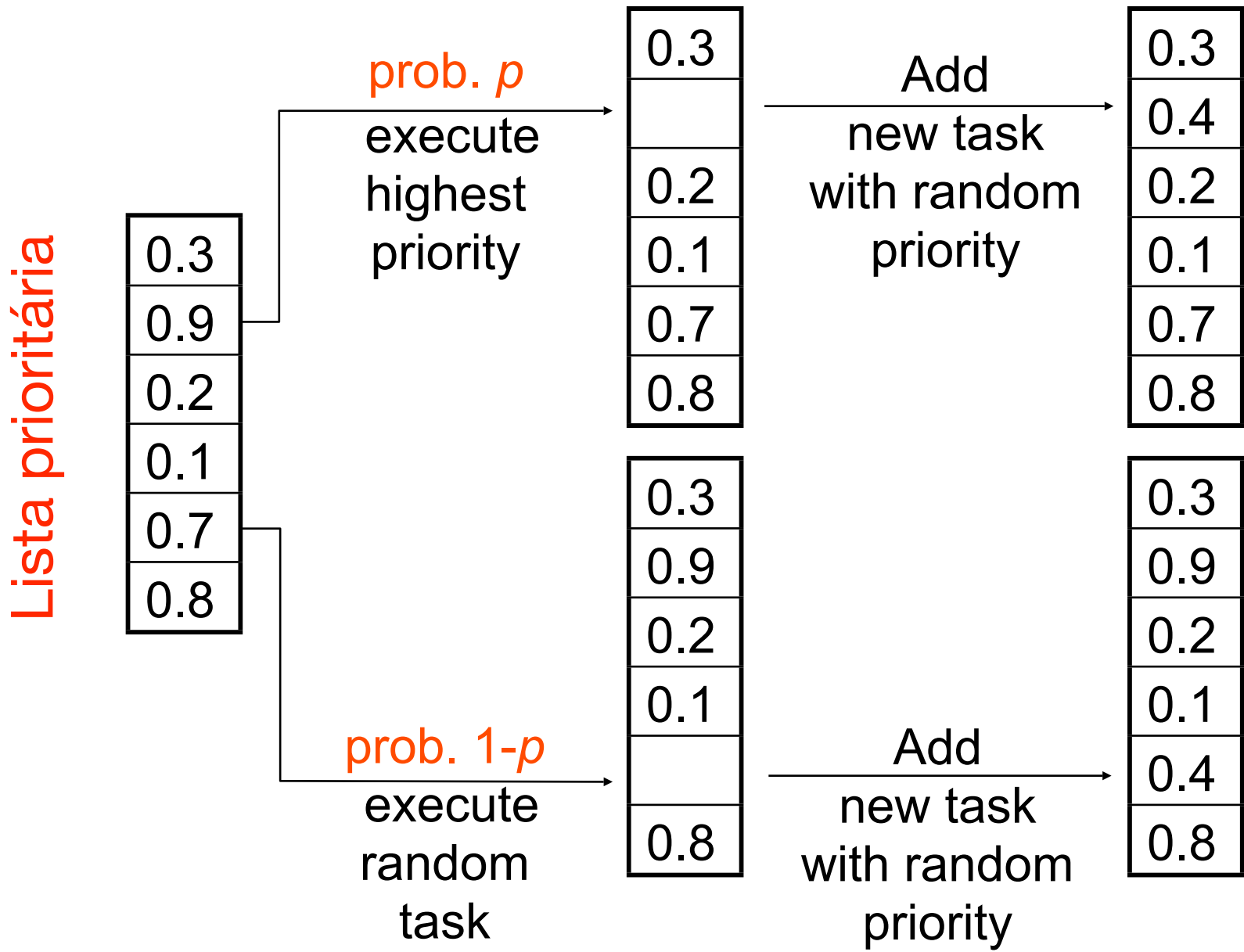
Modelo de Barabási de dinâmica humana



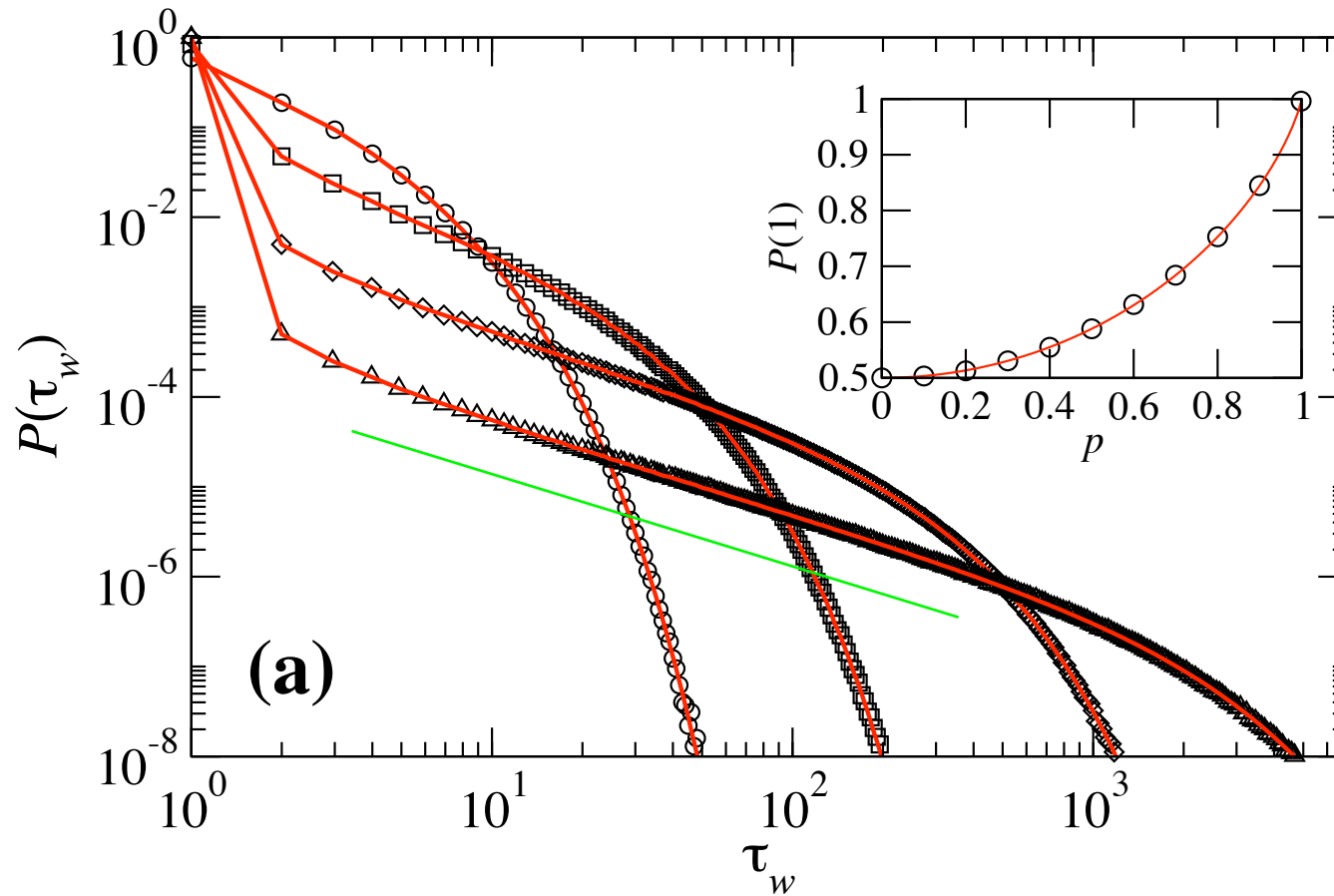
Modelo de Barabási de dinâmica humana



Modelo de Barabási de dinâmica humana



Resultados numéricos e solução exacta

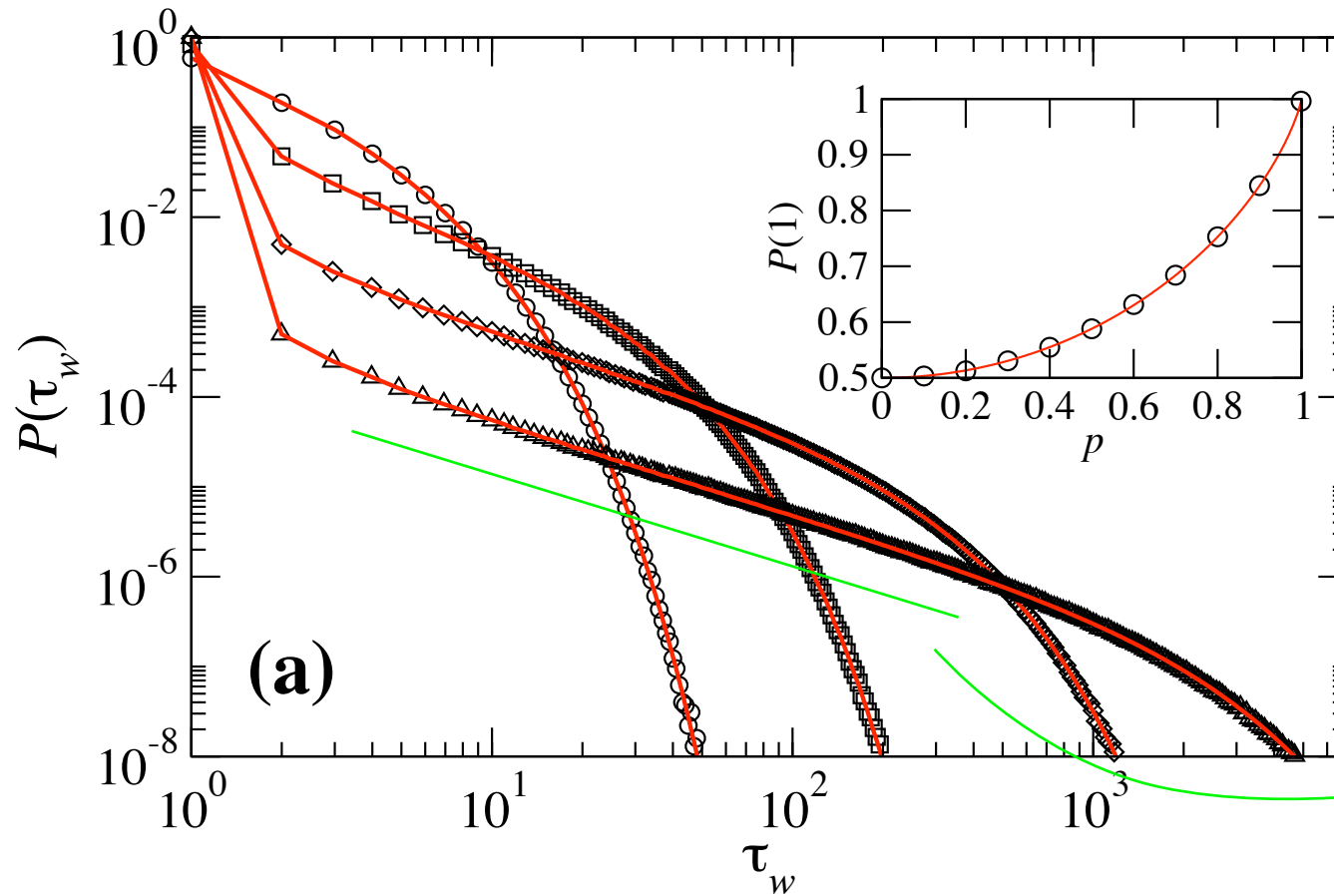


- $p=0.9$
- ◇ $p=0.99$
- △ $p=0.999$

— Solução exacta

[A. Vázquez, Phys. Rev. Lett. **95**, 248701 (2005)]

Resultados numéricos e solução exacta



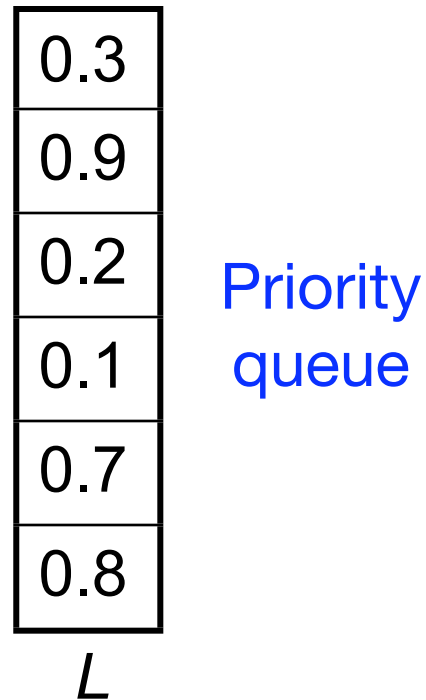
- $p=0.9$
- ◇ $p=0.99$
- △ $p=0.999$

— Solução exacta

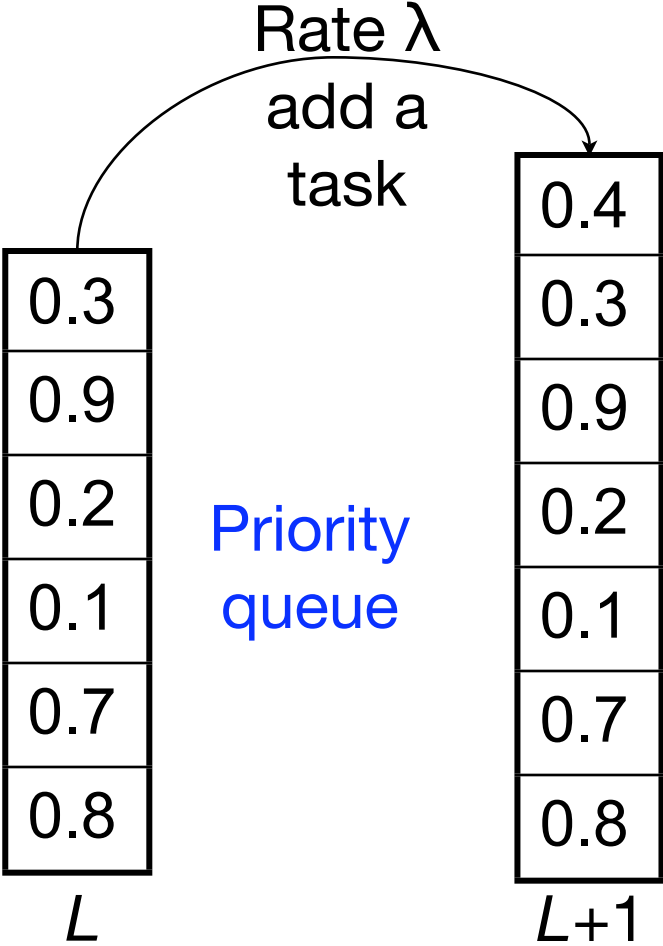
[A. Vázquez, Phys. Rev. Lett. **95**, 248701 (2005)]

E o expoente $\alpha=3/2$ observado na correspondência por correio ?

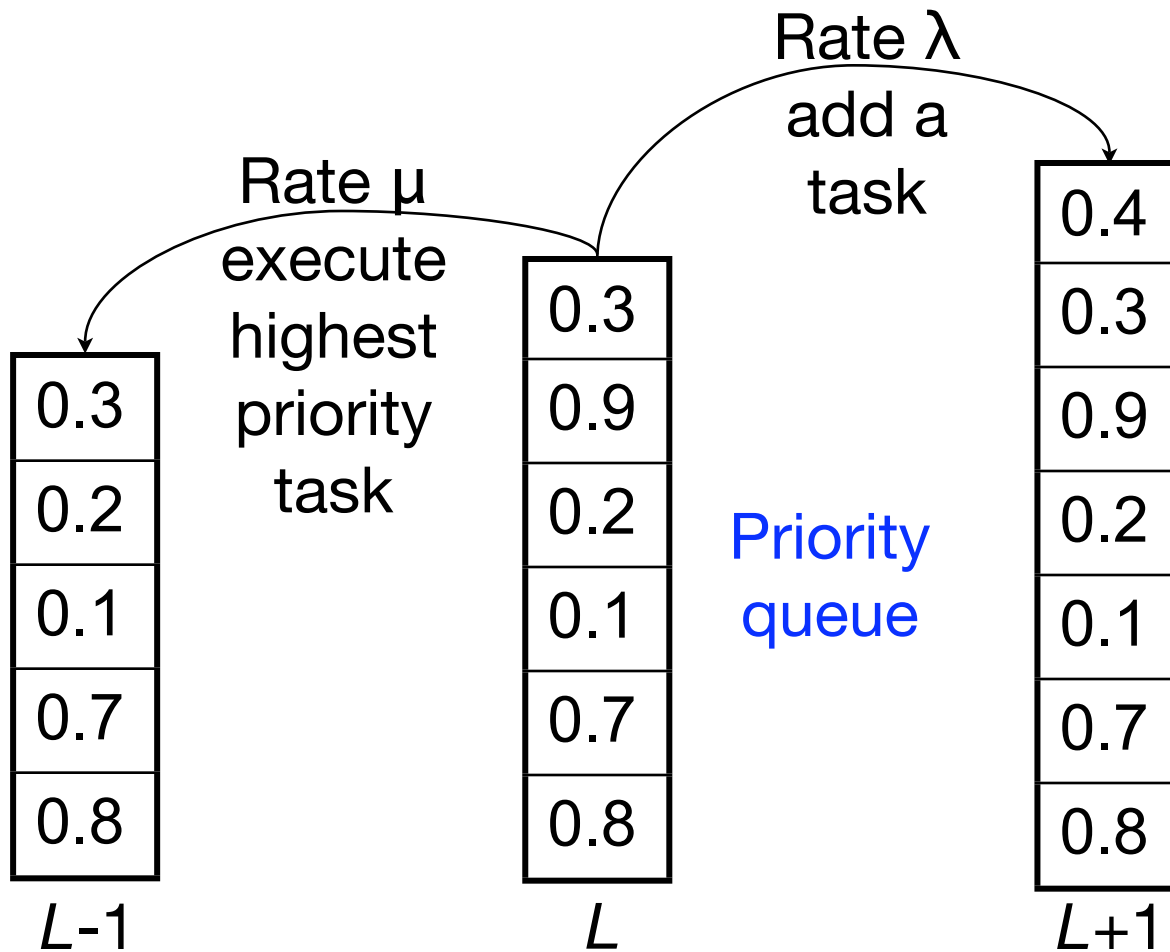
Modelo de Cobham de uma fila prioritária



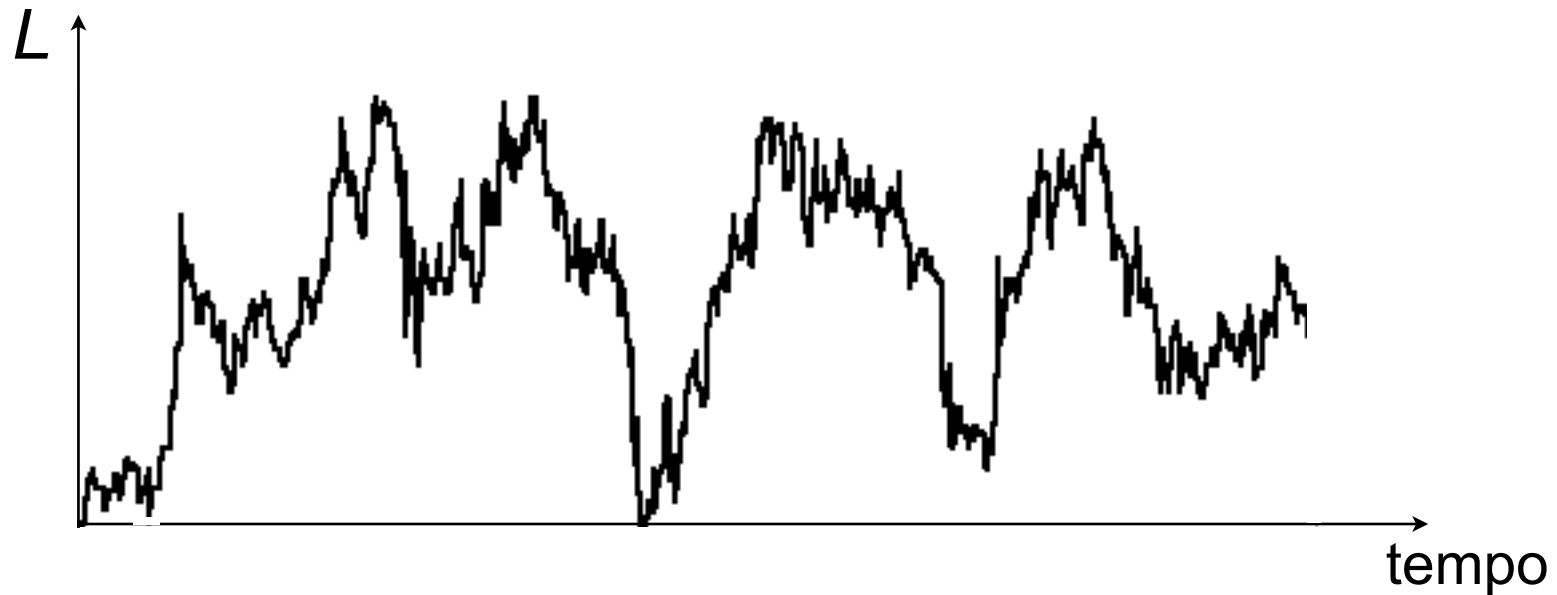
Modelo de Cobham de uma fila prioritária



Modelo de Cobham de uma fila prioritária

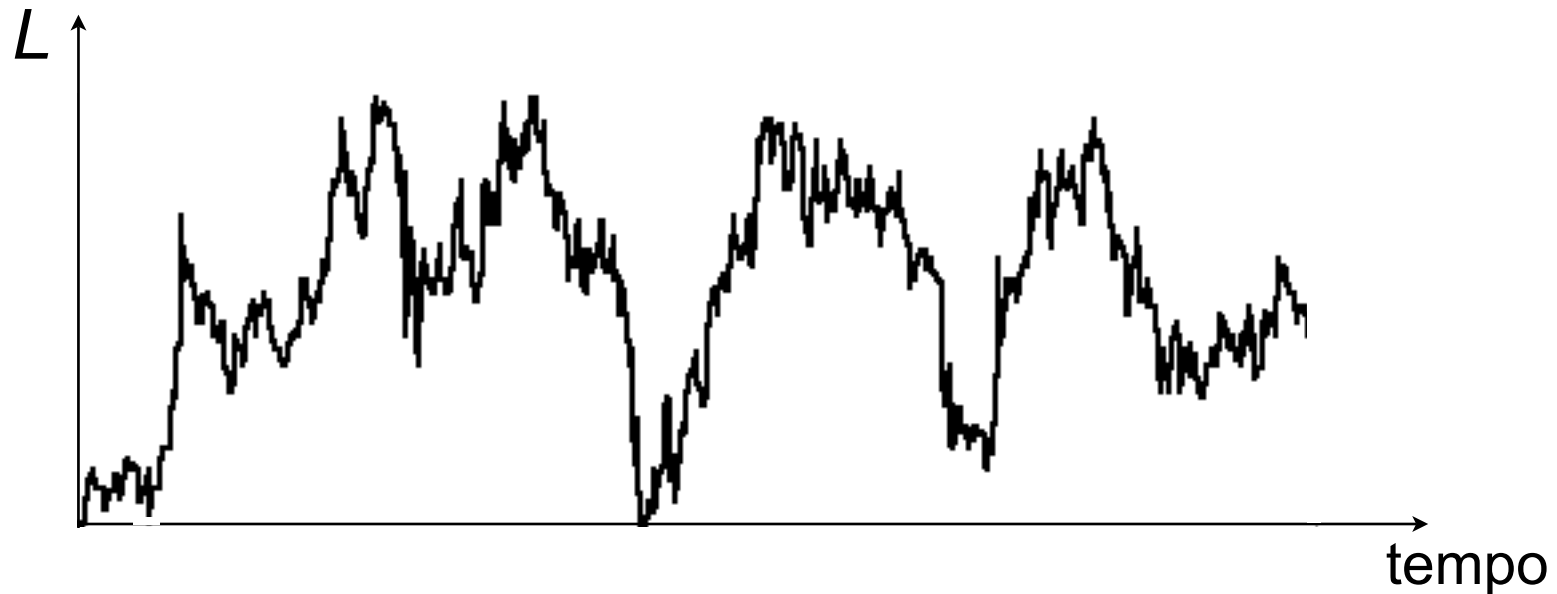


Modelo de Cobham: comprimento flutuante



O comprimento da fila segue um caminho aleatório unidimensional limitado em $L=0$.

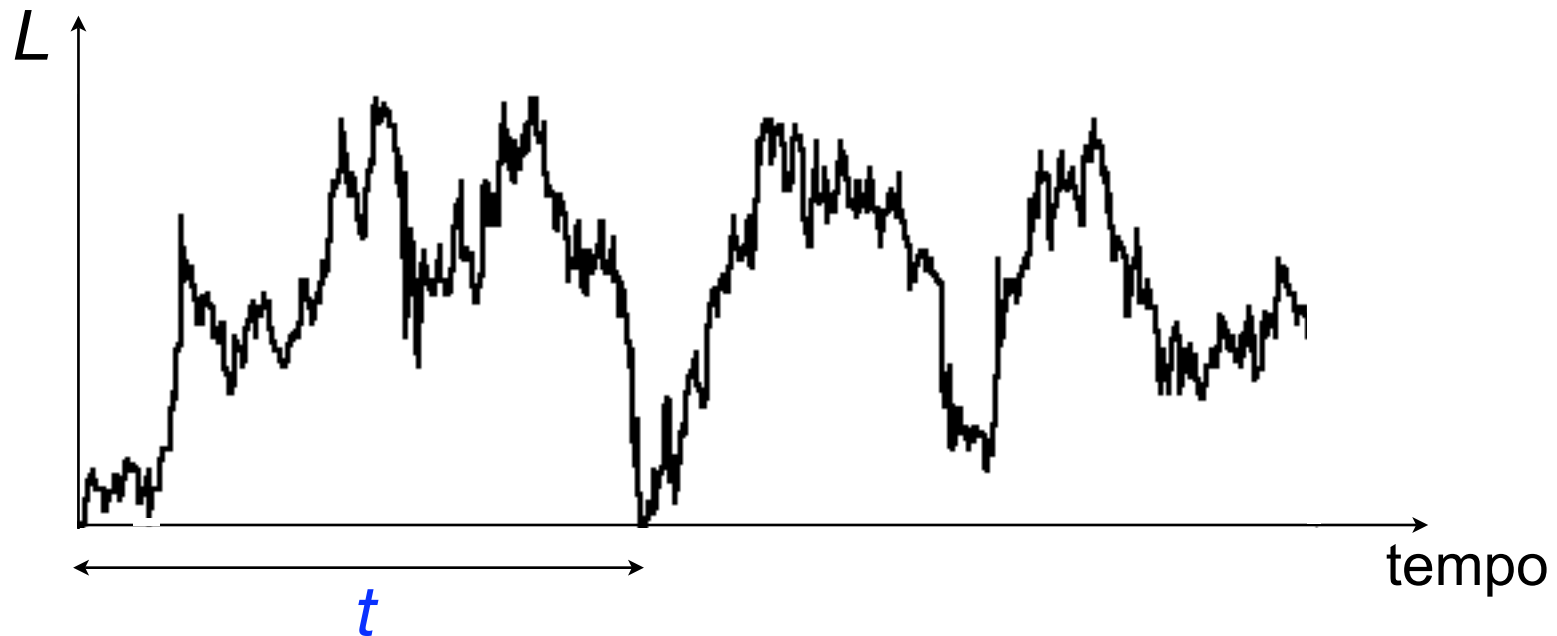
Modelo de Cobham: comprimento flutuante



O comprimento da fila segue um caminho aleatório unidimensional limitado em $L=0$.

Uma tarefa espera no máximo o tempo necessário para que o comprimento da fila regresse a $L=0$.

Modelo de Cobham: comprimento flutuante

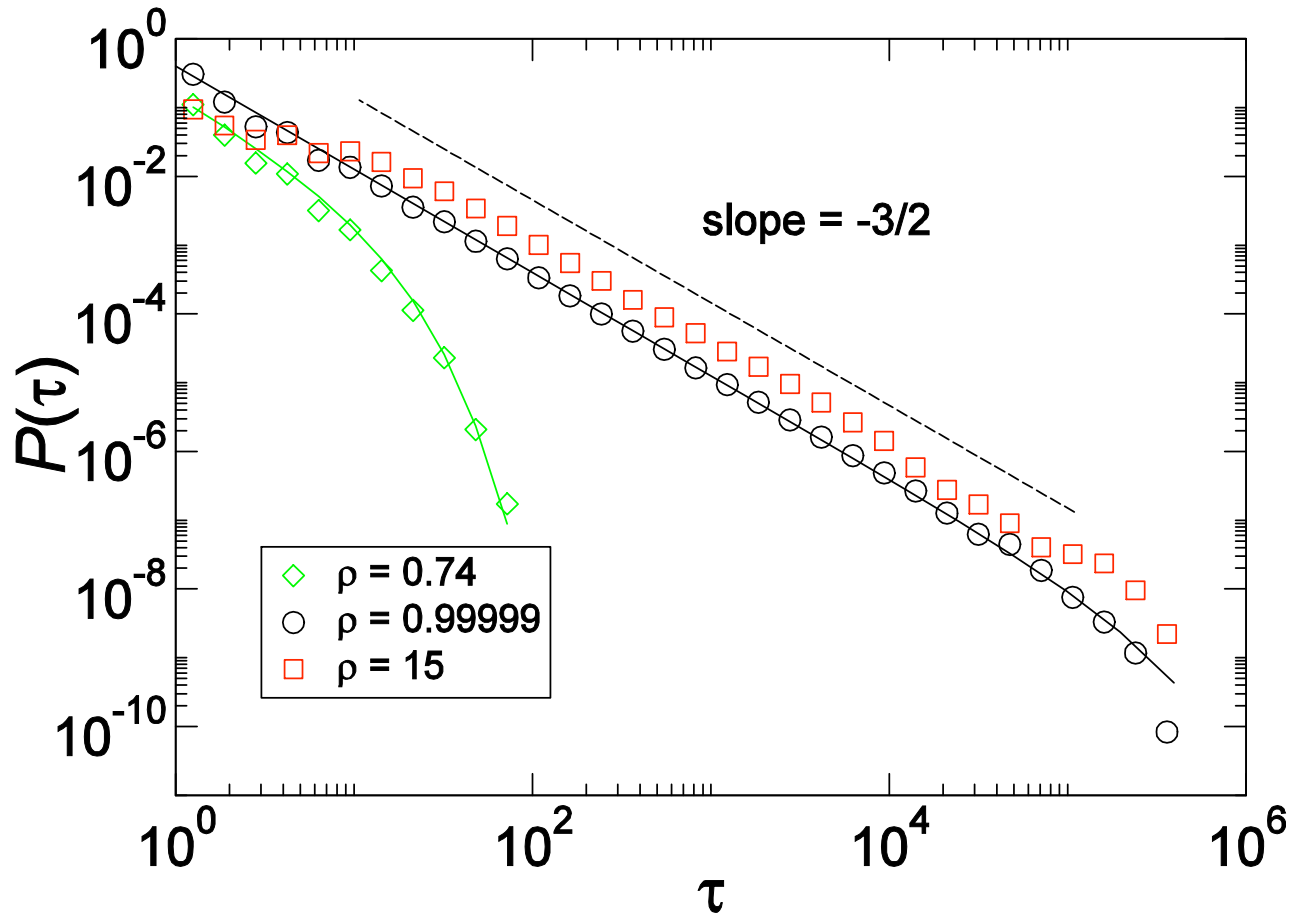


O comprimento da fila segue um caminho aleatório unidimensional limitado em $L=0$.

Uma tarefa espera no máximo o tempo necessário para que o comprimento da fila regresse a $L=0$.

O tempo de retorno à origem de um caminhante aleatório é distribuído segundo $t^{-3/2}$

Resultados numéricos

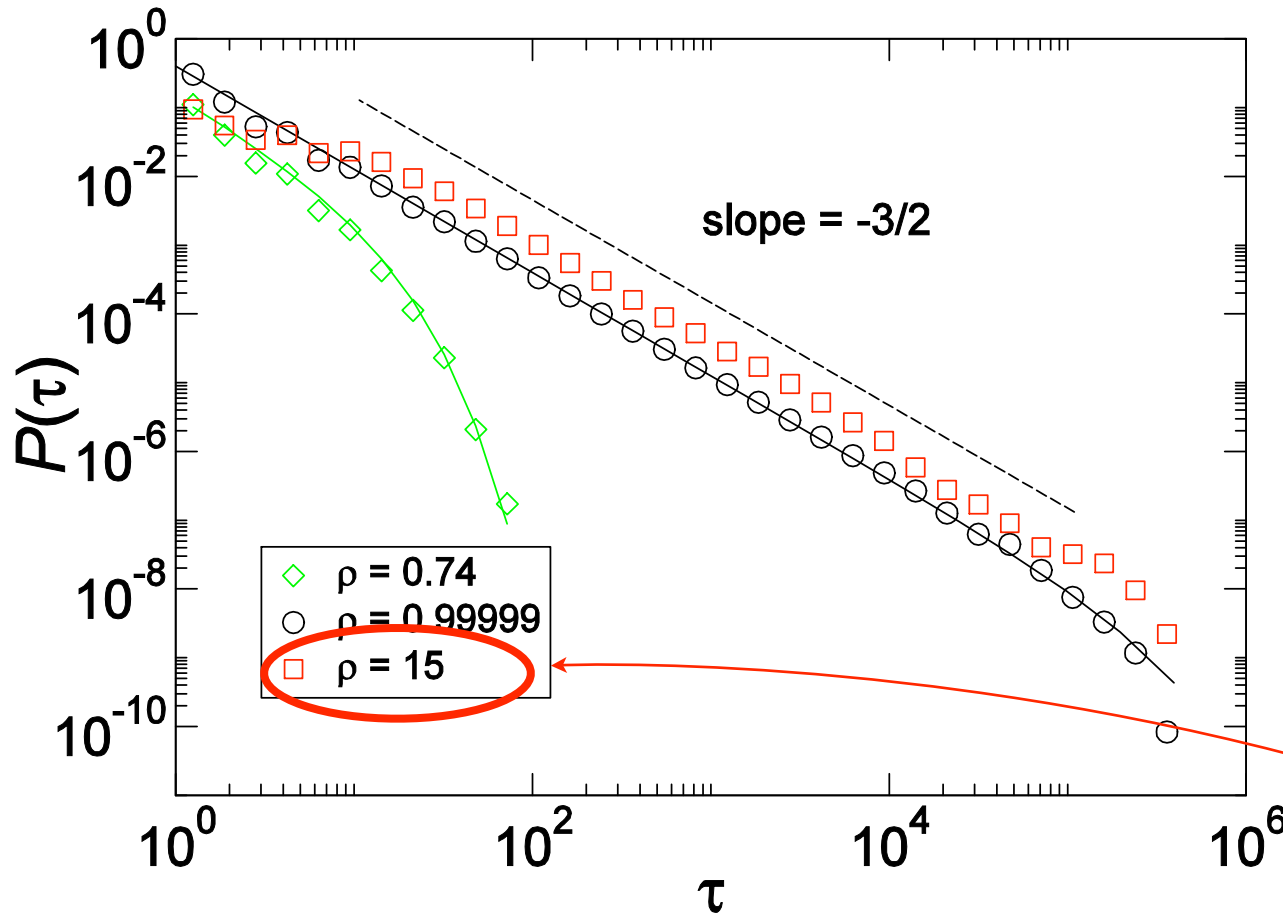


$$\rho = \lambda /$$

$$P(\tau) \sim \tau^{-3/2} \exp(-\tau / \tau_0)$$

$$\text{If } \lambda = \mu, \tau_0 = \infty \text{ and } P(\tau) \sim \tau^{-3/2}$$

Resultados numéricos



$$\rho = \lambda / \mu$$

Darwin and Einstein
não respondem a
todas as cartas
 $\Rightarrow \lambda > \mu$

$$P(\tau) \sim \tau^{-3/2} \exp(-\tau / \tau_0)$$

If $\lambda = \mu$, $\tau_0 = \infty$ and $P(\tau) \sim \tau^{-3/2}$

Sumário

Os padrões de actividade observados desviam-se significativamente da hipótese de processo de Poisson

Esses padrões são caracterizados por períodos de actividade intensa, separados por longos períodos de inactividade

Duas classes são observadas:

$\alpha=1$ email, idas à biblioteca, navegação na Web, ...

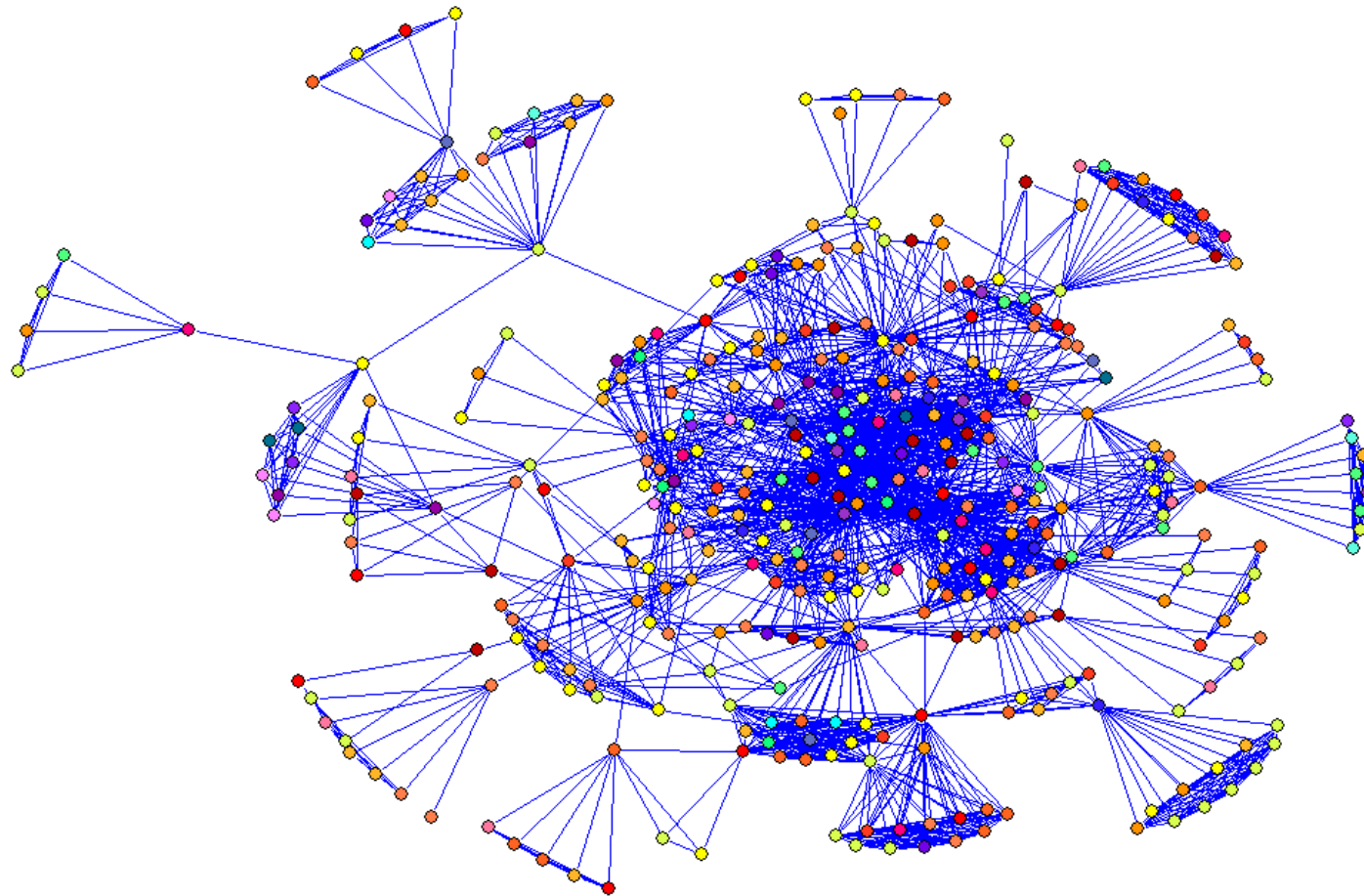
→ modelado por uma fila de comprimento fixo

$\alpha=3/2$ correio

→ modelado por uma fila de comprimento flutuante

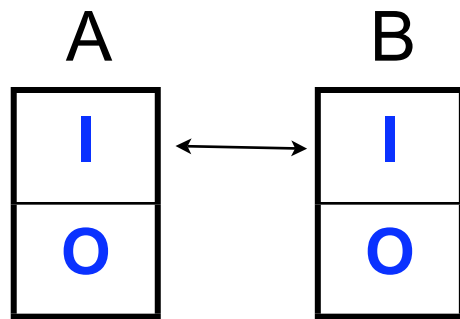
Mas as pessoas estão ligadas em redes sociais

Mas as pessoas estão ligadas em redes sociais



Modelo de filas com interacção

Versão simples: 2 filas (agentes) A, B



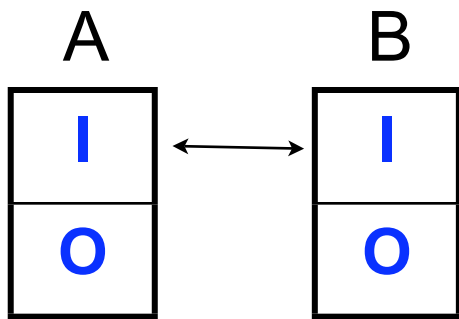
Cada agente realiza uma de duas **tarefas**, e.g.:

|- Encontrar-se com o outro agente, com prioridade x_I

o- Fazer outra coisa, com prioridade x_O

Modelo de filas com interacção

Versão simples: 2 filas (agentes) A, B



Cada agente realiza uma de duas **tarefas**, e.g.:

I- Encontrar-se com o outro agente, com prioridade x_I

O- Fazer outra coisa, com prioridade x_O

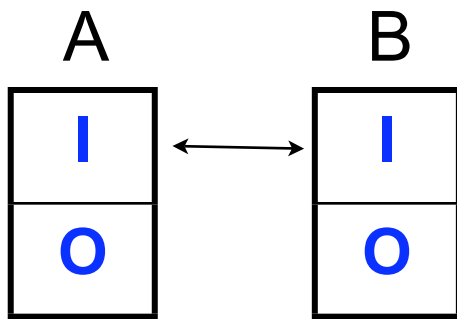
Dinâmica:

Tarefa **I** apenas é executada se for a tarefa de mais alta prioridade em ambas as filas: $x_{IA} > x_{OA}$ e $x_{IB} > x_{OB}$

Caso contrário ambos os agentes fazem outra coisa, i.e. ambos realizam a tarefa **O**

Modelo de filas com interacção

Versão simples: 2 filas (agentes) A, B



Cada agente realiza uma de duas **tarefas**, e.g.:

I- Encontrar-se com o outro agente, com prioridade x_I

O- Fazer outra coisa, com prioridade x_O

Dinâmica:

Tarefa **I** apenas é executada se for a tarefa de mais alta prioridade em ambas as filas: $x_{IA} > x_{OA}$ e $x_{IB} > x_{OB}$


Caso contrário ambos os agentes fazem outra coisa, i.e. ambos realizam a tarefa **O**

Tarefa **O** pode ser vista como a combinação de todas as $L-1$ tarefas excepto a tarefa interactiva **I**

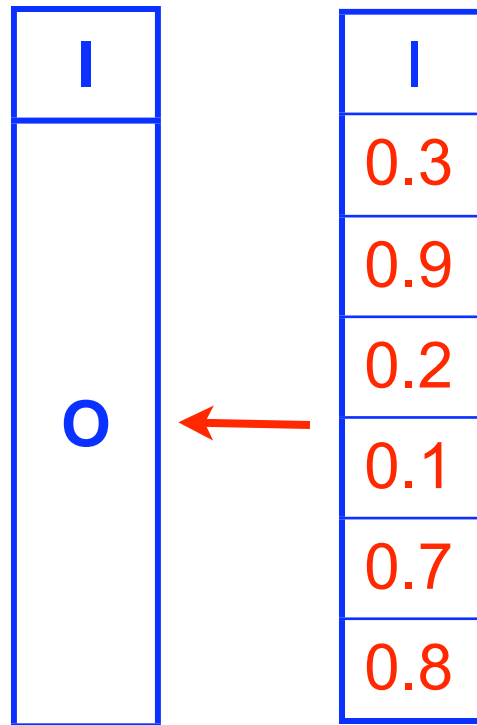
Tarefa \bigcirc representa o agregado de $L-1$
actividades

Tarefa \bigcirc representa o agregado de $L-1$ actividades

I
0.3
0.9
0.2
0.1
0.7
0.8



Tarefa \bigcirc representa o agregado de $L-1$ actividades



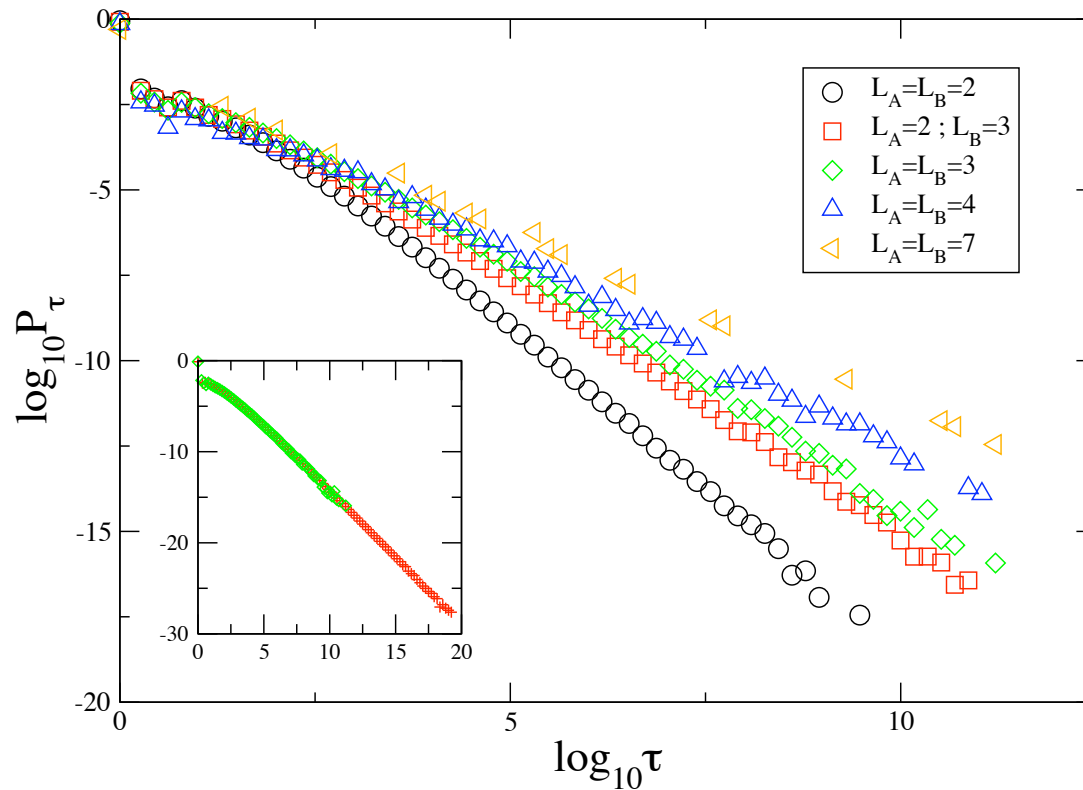
Prioridades extraídas da distribuição uniforme

A prioridade da tarefa O é extraída da prioridade máxima entre $L-1$ prioridades uniformemente distribuídas entre 0 e 1.

$$f_{ij}(x) = \begin{cases} 1, & i = I \\ (L_j - 1)x^{L_j - 2}, & i = O. \end{cases} \leftarrow$$

Distribuição do tempo de espera da tarefa |

Após simulação de 10^{11} passos temporais



“Coarse-graining” do modelo

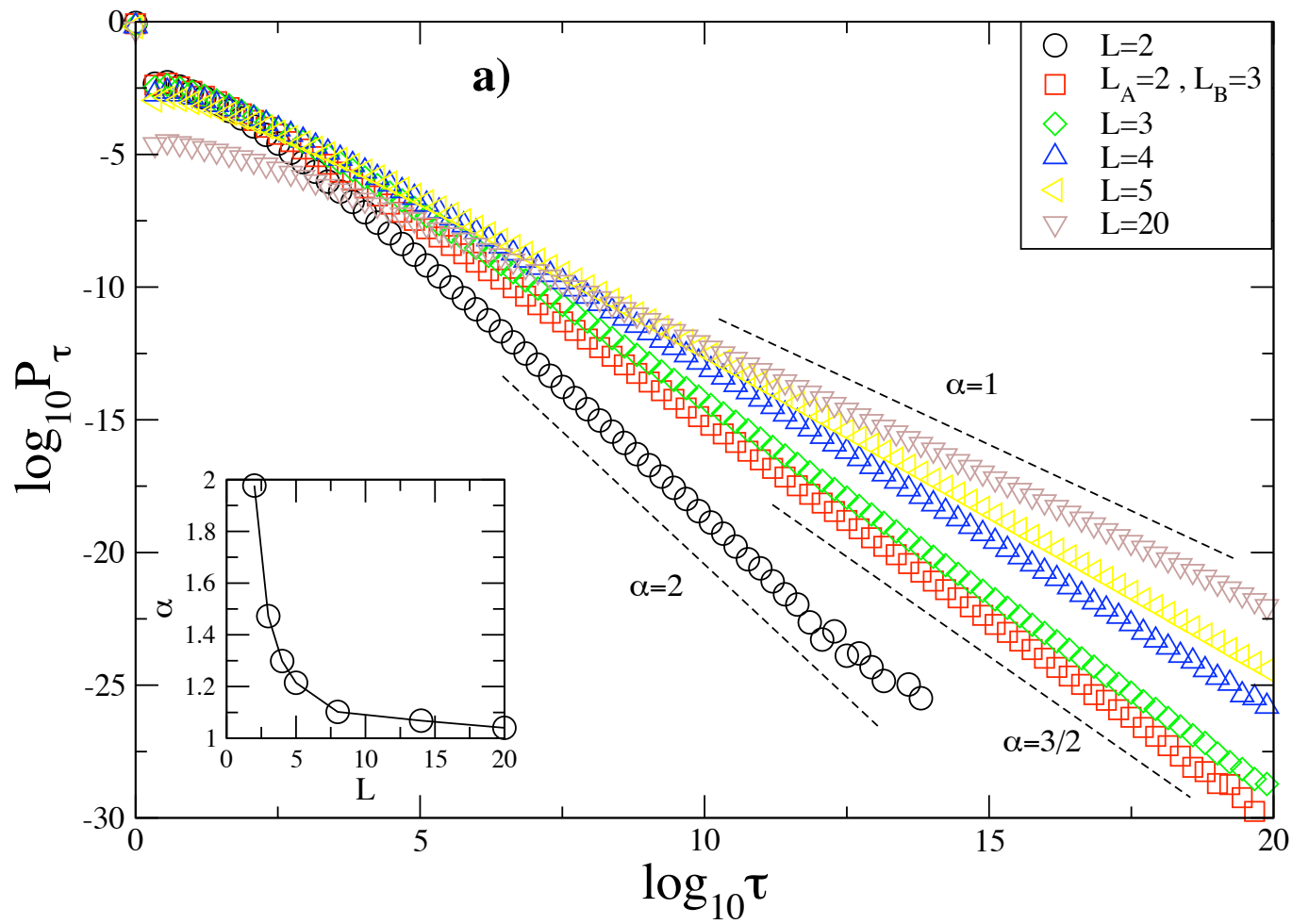
Probabilidade de ambos os agentes executarem I logo após O:

$$q(x_{IA}, x_{IB}) = \int_0^{x_{IA}} dx f_{OA}(x) \int_0^{x_{IB}} dx f_{OB}(x) .$$

Distribuição de probabilidade de I esperar $\tau > 1$ passos:

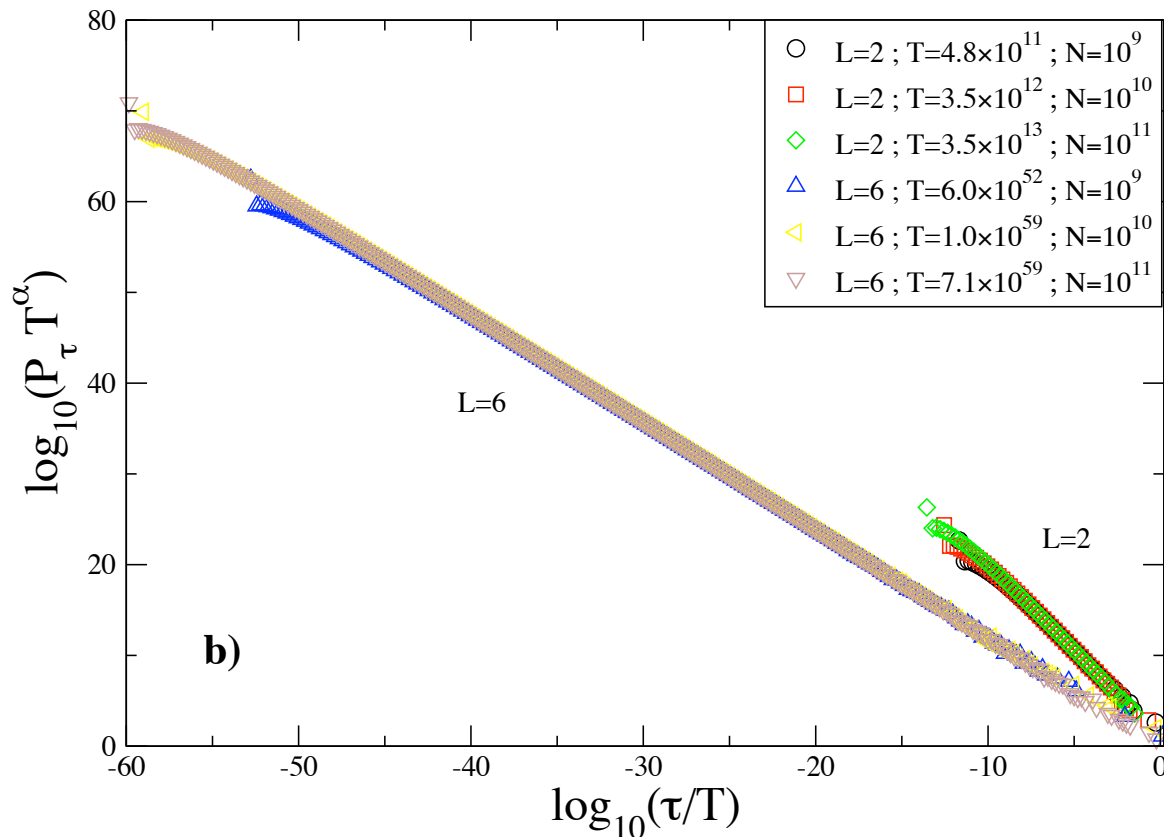
$$Q_\tau(x_{IA}, x_{IB}) = q(x_{IA}, x_{IB}) [1 - q(x_{IA}, x_{IB})]^{\tau-2}$$

Simulação do modelo “coarse-grained”



“Scaling” para um dado L e T variável

Casos $L=2$ e $L=6$



T é o número total de execuções de tarefas (I e O)

N é o número total de execuções de tarefas I

$$P(\tau) = A\tau^{-\alpha} g\left(\frac{\tau}{T^z}\right) \quad z = 1.$$

Interacção entre filas

Versão generalizada: N agentes ligados por uma rede social

Cada agente i realiza uma de duas tarefas:

- 1**- Encontrar-se com outro agente, com prioridade x_{1i}
- 2**- Fazer outra coisa, com prioridade x_{2i}

Interacção entre filas

Versão generalizada: N agentes ligados por uma rede social

Cada agente i realiza uma de duas tarefas:

1- Encontrar-se com outro agente, com prioridade x_{1i}

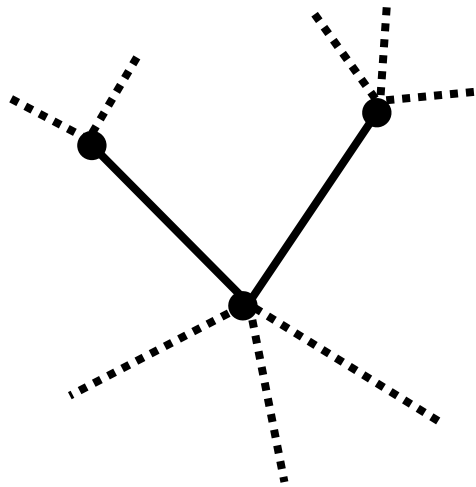
2- Fazer outra coisa, com prioridade x_{2i}

Dinâmica:

Para cada agente i , se $x_{1i} > x_{2i}$ e para pelo menos um vizinho j $x_{1j} > x_{2j}$ então **1** é executada

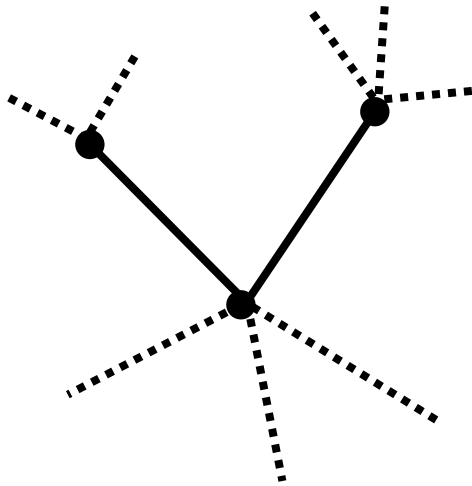
Caso contrário o agente i executa tarefa **2**

N agentes ligados por uma rede social



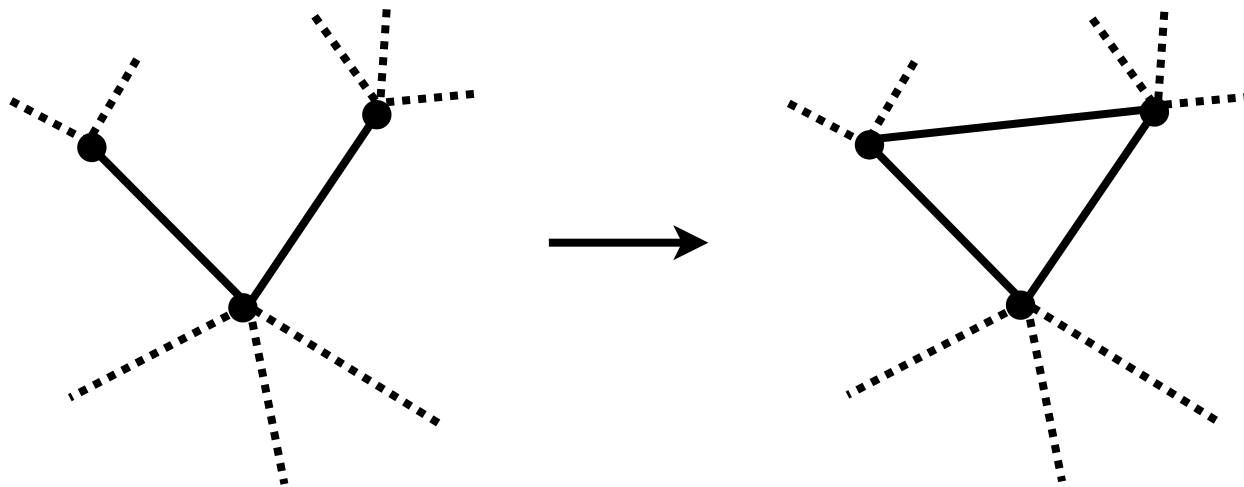
N agentes ligados por uma rede social

- Qual o papel dos “hubs” ?
- Qual o comportamento agregado ?



N agentes ligados por uma rede social

- Qual o papel dos “hubs” ?
- Qual o comportamento agregado ?
- Modelo pode afectar a estrutura da rede ...



Para além do estudo de dinâmicas humanas o modelo pode ser usado mais geralmente para estudar a dinâmica temporal de eventos onde haja interacção entre dois sistemas físicos.

Por exemplo:

Para além do estudo de dinâmicas humanas o modelo pode ser usado mais geralmente para estudar a dinâmica temporal de eventos onde haja interacção entre dois sistemas físicos.

Por exemplo:

- Desenvolvimento de fenómenos colectivos tais como formação de agregados de partículas

Para além do estudo de dinâmicas humanas o modelo pode ser usado mais geralmente para estudar a dinâmica temporal de eventos onde haja interacção entre dois sistemas físicos.

Por exemplo:

- Desenvolvimento de fenómenos colectivos tais como formação de agregados de partículas
- Interacção entre duas proteínas

Para além do estudo de dinâmicas humanas o modelo pode ser usado mais geralmente para estudar a dinâmica temporal de eventos onde haja interacção entre dois sistemas físicos.

Por exemplo:

- Desenvolvimento de fenómenos colectivos tais como formação de agregados de partículas
- Interacção entre duas proteínas
- Interacção dos reagentes numa reacção química

Para além do estudo de dinâmicas humanas o modelo pode ser usado mais geralmente para estudar a dinâmica temporal de eventos onde haja interacção entre dois sistemas físicos.

Por exemplo:

- Desenvolvimento de fenómenos colectivos tais como formação de agregados de partículas
- Interacção entre duas proteínas
- Interacção dos reagentes numa reacção química
- ...

Conclusão

A crescente disponibilidade de bases de dados com registos de actividades humanas abre caminho para compreender melhor o comportamento humano

O tempo que uma tarefa espera até ser executada é heterogeneamente distribuído, sendo a distribuição bem aproximada por lei de potência

Origem: tarefas em filas de espera prioritárias têm tempos de espera muito desiguais

Actividade humana é bem descrita por processos de filas de espera prioritárias, em vez de processos de Poisson