

Simulações Computacionais de Sistemas Complexos

Thadeu Penna

Instituto de Física
Universidade Federal Fluminense
tjpp@if.uff.br

Escola da UFMT, 2005



Universidade Federal Fluminense

Caminhada Aleatória

A cada intervalo de tempo, o caminhante dá um passo de tamanho unitário.

4 direções possíveis: \mathcal{N} , \mathcal{S} , \mathcal{L} , \mathcal{O}

Caminhada Aleatória

A cada intervalo de tempo, o caminhante dá um passo de tamanho unitário.

4 direções possíveis: \mathcal{N} , \mathcal{S} , \mathcal{L} , \mathcal{O}

Caminhada aleatória em duas dimensões

Caminhada Aleatória

A cada intervalo de tempo, o caminhante dá um passo de tamanho unitário.

4 direções possíveis: $\mathcal{N}, \mathcal{S}, \mathcal{L}, \mathcal{O}$

Caminhada aleatória em duas dimensões

Podemos calcular médias em diversas configurações.

Podemos dividir o espaço em blocos e verificar a ocupação.

Difusão de 10 caminhantes

Caminhada Aleatória

A cada intervalo de tempo, o caminhante dá um passo de tamanho unitário.

4 direções possíveis: \mathcal{N} , \mathcal{S} , \mathcal{L} , \mathcal{O}

Caminhada aleatória em duas dimensões

Podemos calcular médias em diversas configurações.

Podemos dividir o espaço em blocos e verificar a ocupação.

Difusão de 10 caminhantes

Microesferas de poliestireno em suspensão: 2,1 e 0.5 microns.

Sistema Real 10s

Caminhada Aleatória

A cada intervalo de tempo, o caminhante dá um passo de tamanho unitário.

4 direções possíveis: $\mathcal{N}, \mathcal{S}, \mathcal{L}, \mathcal{O}$

Caminhada aleatória em duas dimensões

Podemos calcular médias em diversas configurações.

Podemos dividir o espaço em blocos e verificar a ocupação.

Difusão de 10 caminhantes

Microesferas de poliestireno em suspensão: 2,1 e 0.5 microns.

Sistema Real 10s

Comportamento do $\langle R \rangle$ e $\langle R^2 \rangle$ Lei de Einstein

- Rede $L \times L$

- Rede $L \times L$
- Sítios ocupados com probabilidade p

- Rede $L \times L$
- Sítios ocupados com probabilidade p
- p_c : Qual o menor p tal que a informação percorra a rede ?

- Rede $L \times L$
- Sítios ocupados com probabilidade p
- p_c : Qual o menor p tal que a informação percorra a rede ?

Checando a configuração

- Rede $L \times L$
- Sítios ocupados com probabilidade p
- p_c : Qual o menor p tal que a informação percorra a rede ?

- Verdes: nunca queimaram

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)
- Pretas: queimaram em algum instante anterior

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)
- Pretas: queimaram em algum instante anterior
- Queimarão no passo seguinte

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)
- Pretas: queimaram em algum instante anterior
- Queimarão no passo seguinte

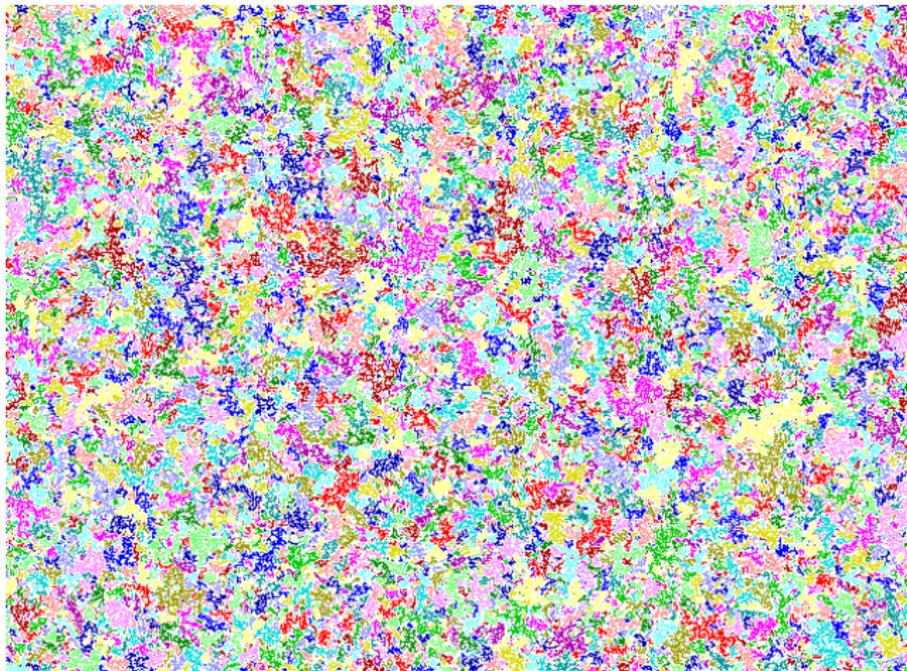
Burning em ação

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)
- Pretas: queimaram em algum instante anterior
- Queimarão no passo seguinte

Identificando o cluster percolante

- Verdes: nunca queimaram
- Vermelhas: estão queimando (sítios ativos)
- Pretas: queimaram em algum instante anterior
- Queimarão no passo seguinte

Exemplos

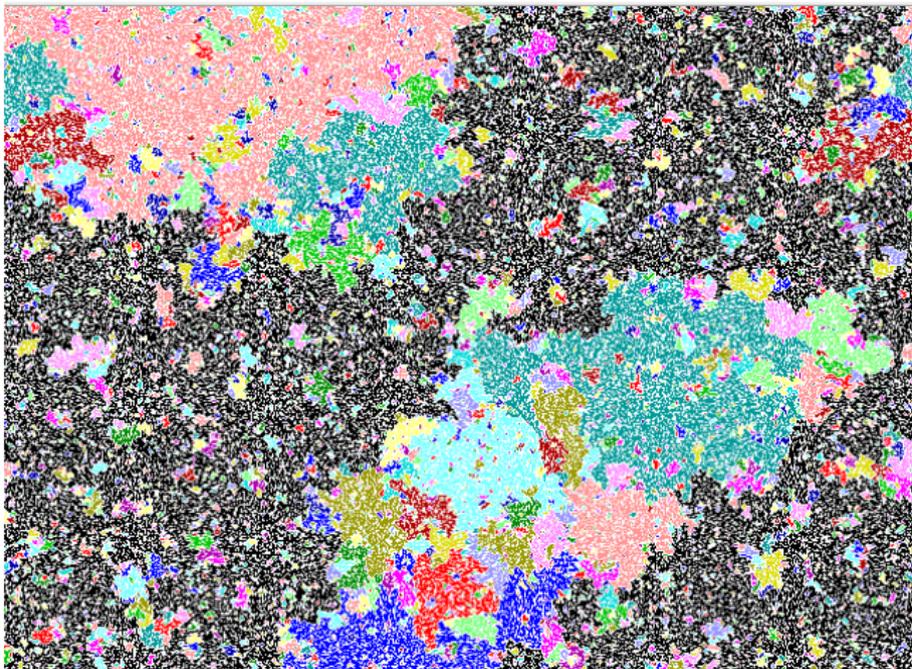


$p = 0.5$



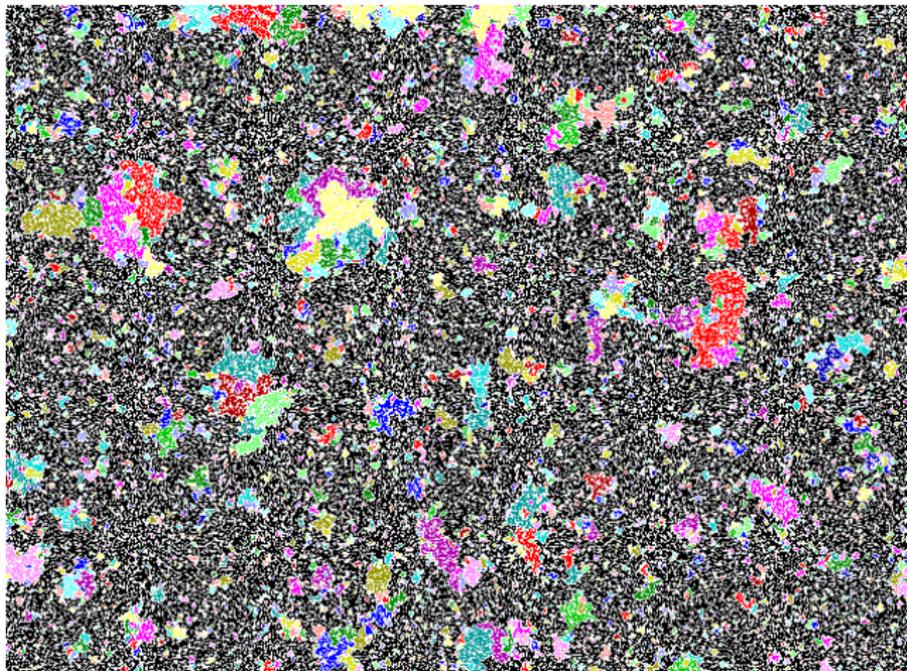
Universidade Federal Fluminense

Exemplos



$$p \approx p_c$$

Exemplos



$p = 0.6$

Número de clusters

Encontre o número de clusters em função da concentração p
Rodar o programa `hk.c`

1 Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros

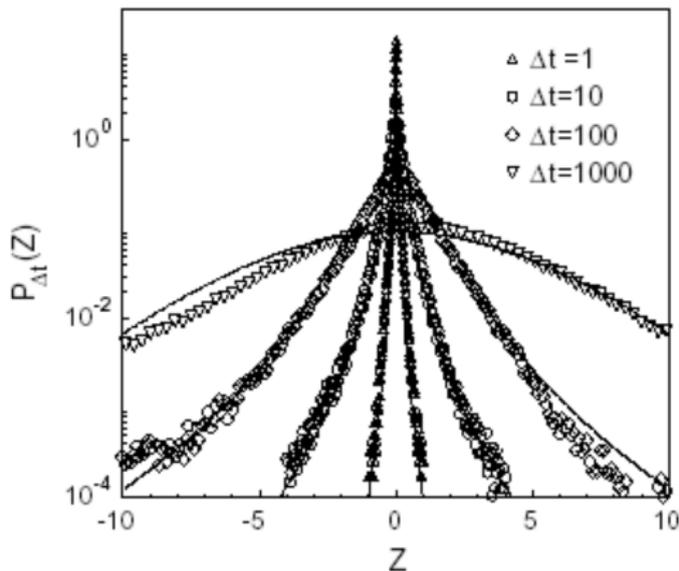
- 1 Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros
- 2 **Louis Bachelier (1900) caminho aleatório**

- 1 Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros
- 2 Louis Bachelier (1900) caminho aleatório
- 3 **Mercado Eficiente**

- 1 Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros
- 2 Louis Bachelier (1900) caminho aleatório
- 3 Mercado Eficiente
- 4 **Simulações microscópicas - Agentes**

- 1 Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros
- 2 Louis Bachelier (1900) caminho aleatório
- 3 Mercado Eficiente
- 4 Simulações microscópicas - Agentes
- 5 **Corretores, herding, conexões...**

Distribuições de Lévy



Mudanças de 
preço S& P500 em diferentes escalas.

Caminhadas Aleatórias

Percolação

Uma aplicação de Percolação

Automata Celulares

Bloco no plano inclinado

Econofísica

Caminhos Aleatórios com Memória

Simulação microscópica

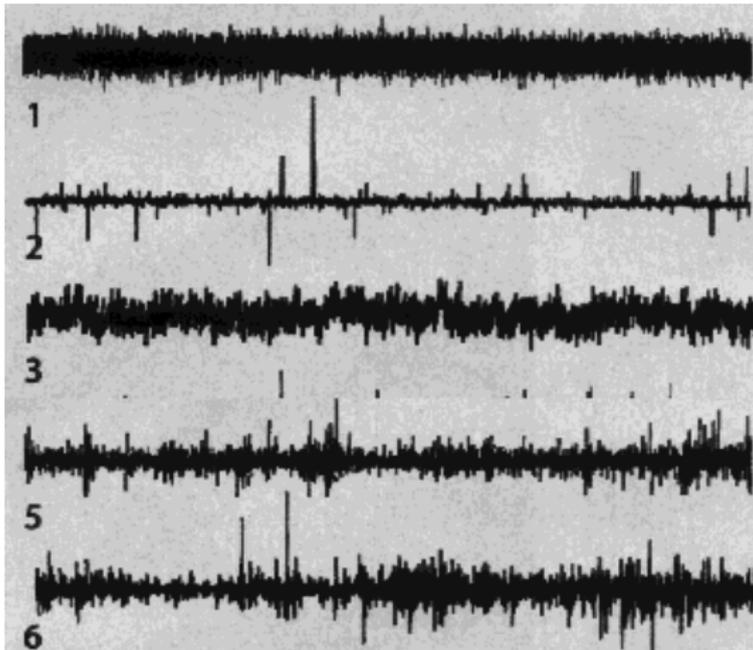
Quem é Quem?



Universidade Federal Fluminense

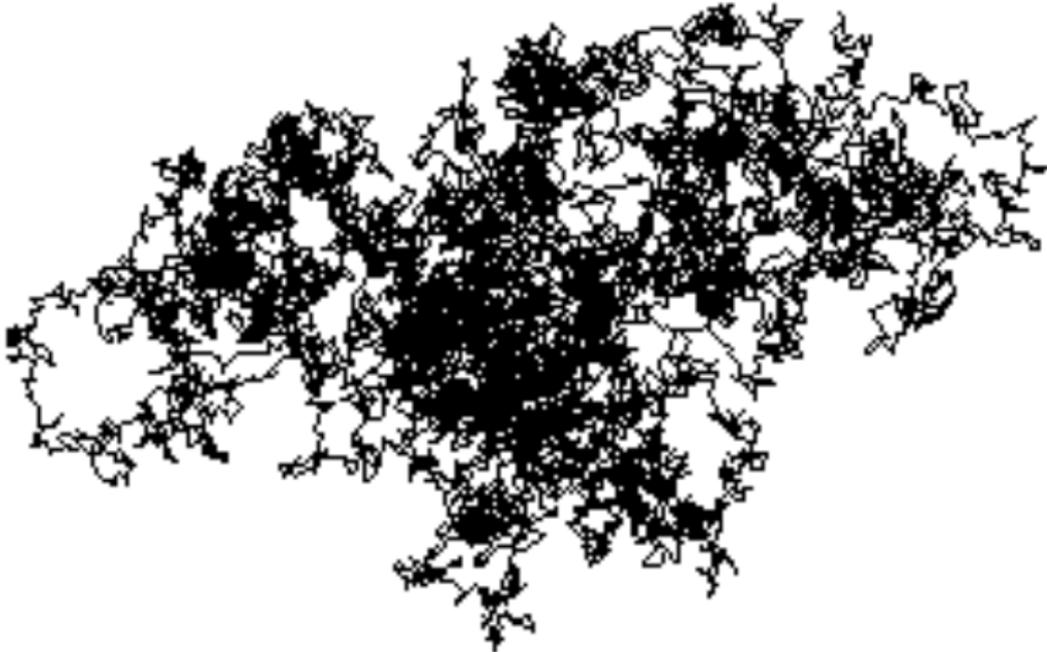


Caminhos Aleatórios com Memória

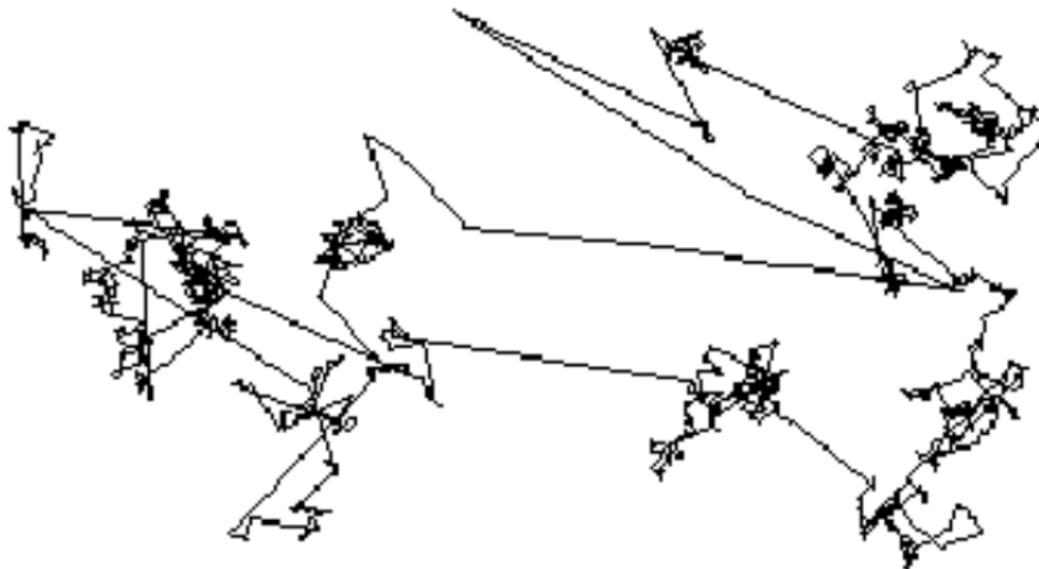


Que séries são do mercado financeiro ?

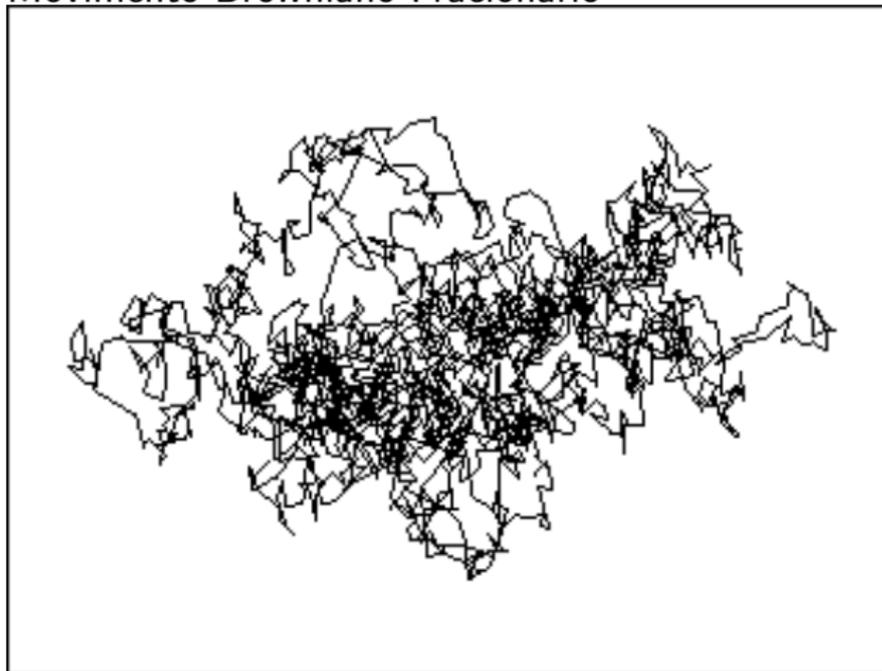
Caminho Aleatório



Caminhada de Lévy

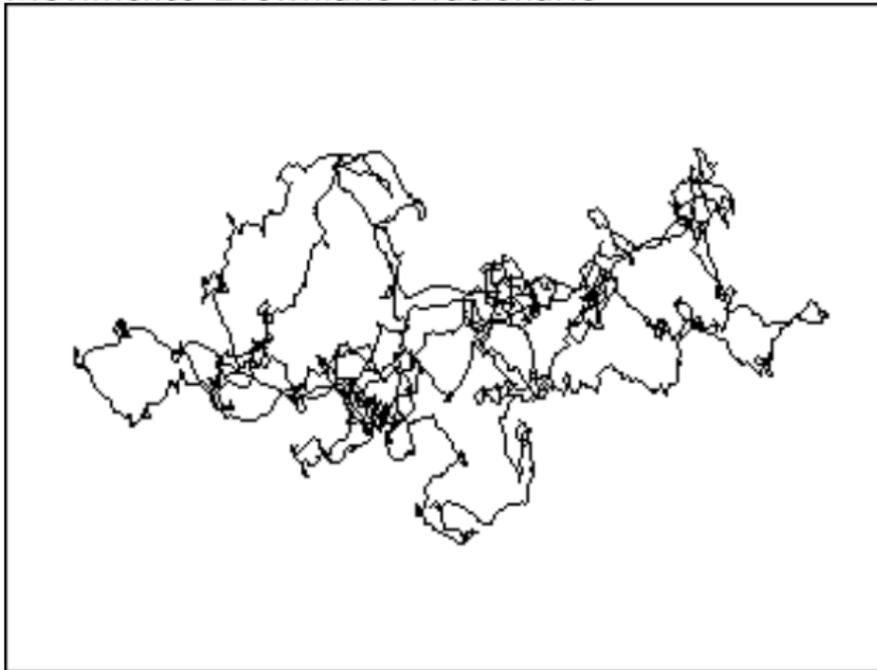


Movimento Browniano Fracionário



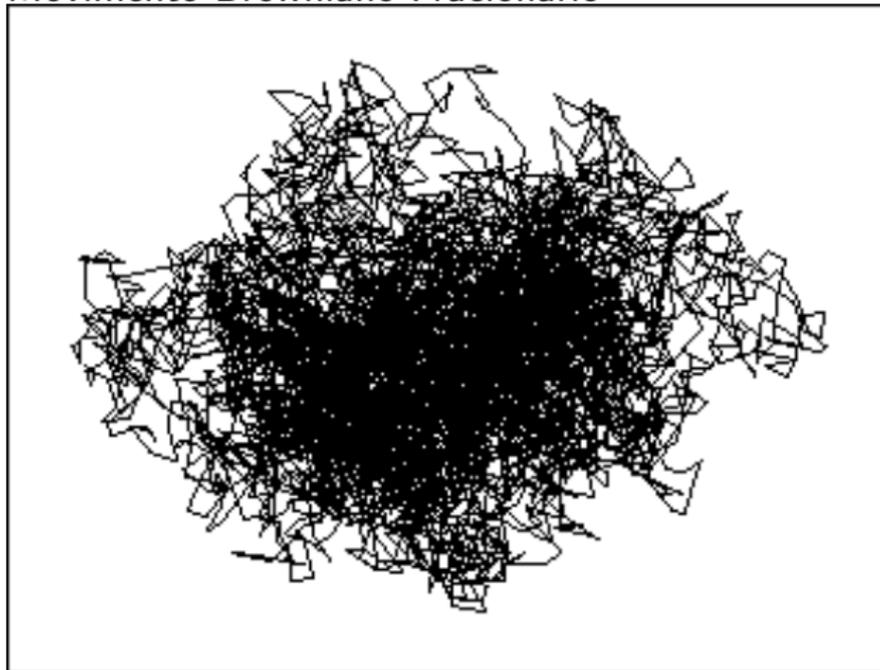
$$\sqrt{|x(t+h) - x(t)|} \sim h^\alpha$$

Movimento Browniano Fracionário

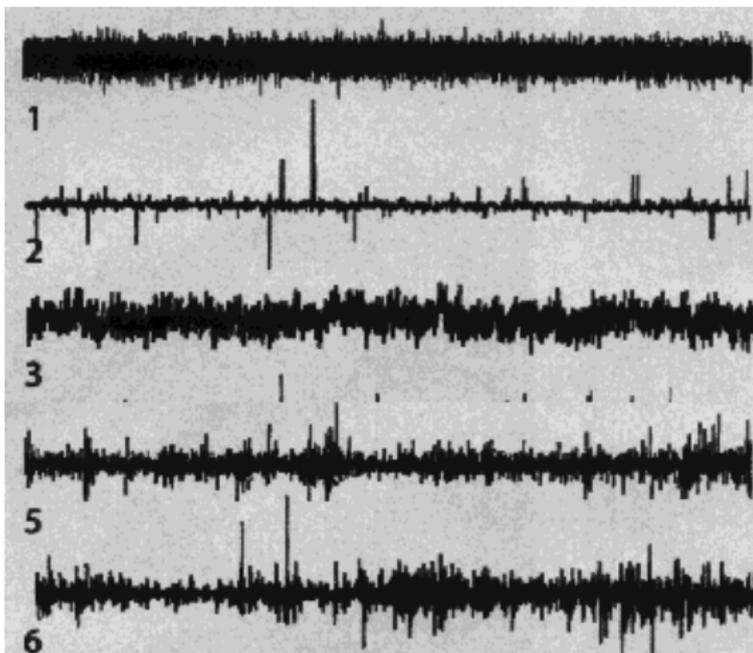


$$\sqrt{|x(t+h) - x(t)|} \sim h^\alpha$$

Movimento Browniano Fracionário



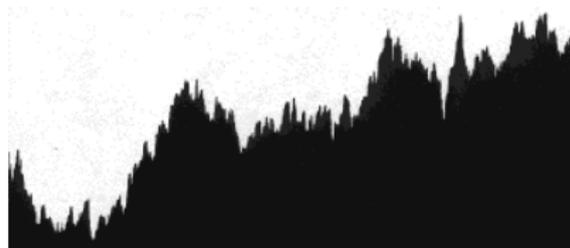
$$\sqrt{|x(t+h) - x(t)|} \sim h^\alpha$$



5 - IBM

6 - dólar-marco

Quem é Quem?



Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters

Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters
- 2 Cada cluster i negocia com probabilidade a

Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters
- 2 Cada cluster i negocia com probabilidade a
- 3 Com iguais probabilidades, o cluster pode comprar ou vender ações ($\Phi_i = \pm 1$)

Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters
- 2 Cada cluster i negocia com probabilidade a
- 3 Com iguais probabilidades, o cluster pode comprar ou vender ações ($\Phi_i = \pm 1$)
- 4 O número de ações negociadas depende do tamanho n_s do cluster

Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters
- 2 Cada cluster i negocia com probabilidade a
- 3 Com iguais probabilidades, o cluster pode comprar ou vender ações ($\Phi_i = \pm 1$)
- 4 O número de ações negociadas depende do tamanho n_s do cluster
- 5 O preço $P(t)$ das ações varia conforme a demanda

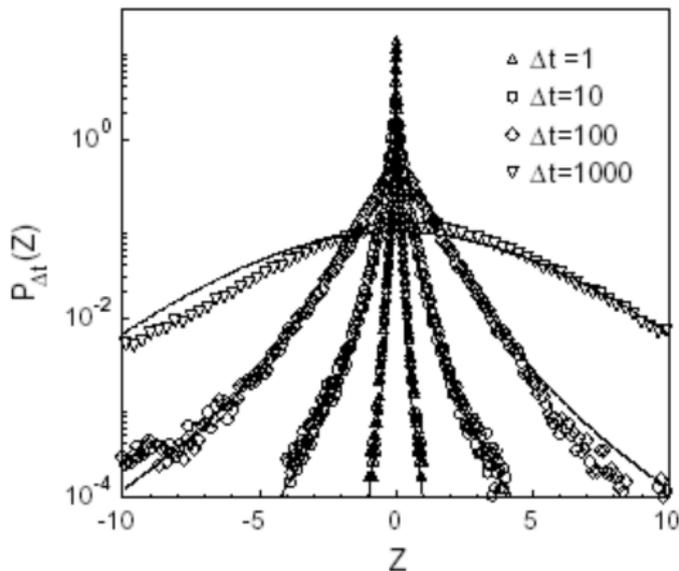
$$\Delta P = P(t+1) - P(t) \propto \sum_i s_i \Phi_i$$

Simulação microscópica do mercado de ações

- 1 Rede com N agentes distribuídos em clusters
- 2 Cada cluster i negocia com probabilidade a
- 3 Com iguais probabilidades, o cluster pode comprar ou vender ações ($\Phi_i = \pm 1$)
- 4 O número de ações negociadas depende do tamanho n_s do cluster
- 5 O preço $P(t)$ das ações varia conforme a demanda

$$\Delta P = P(t + 1) - P(t) \propto \sum_i s_i \Phi_i$$

Distribuições de Lévy



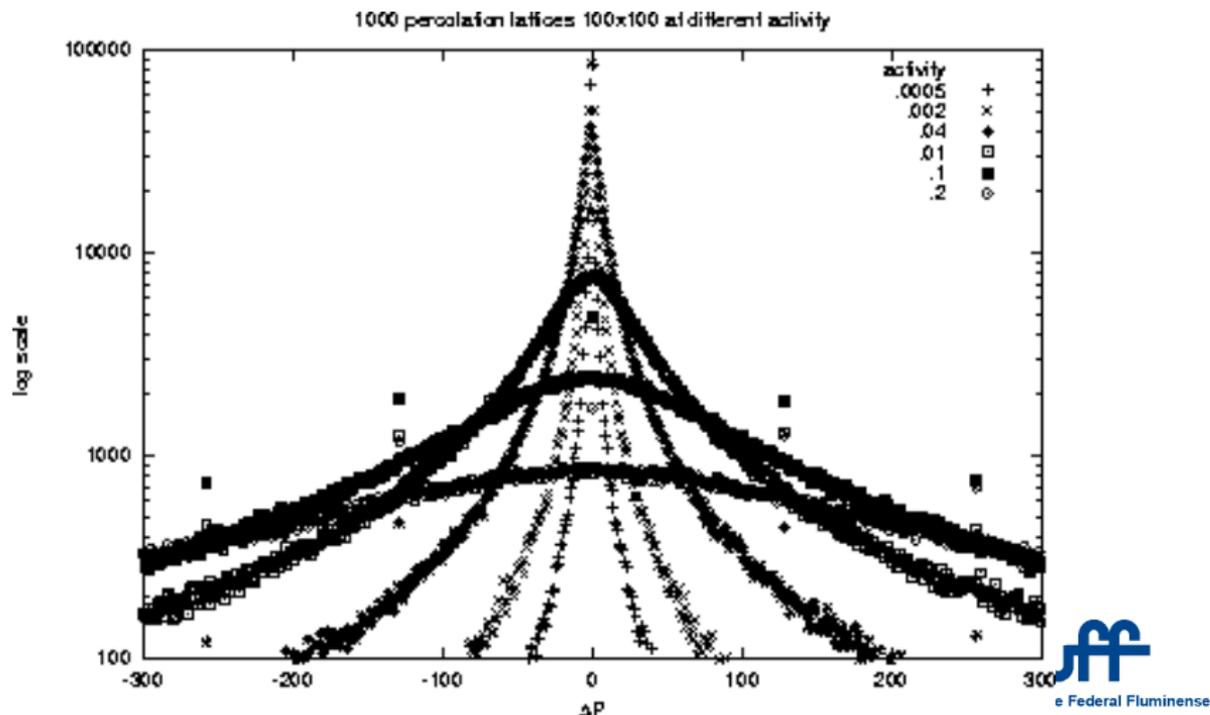
6

Mudanças de
preço S& P500 em diferentes escalas.

Universidade Federal Fluminense

Universidade Federal Fluminense

Resultados de Cont-Bouchaud



Automata Celulares

- Sistemas dinâmicos em que o tempo, o espaço e a variável de estado são discretos.

Automata Celulares

- Sistemas dinâmicos em que o tempo, o espaço e a variável de estado são discretos.
- Alternativas às equações diferenciais e mapas.

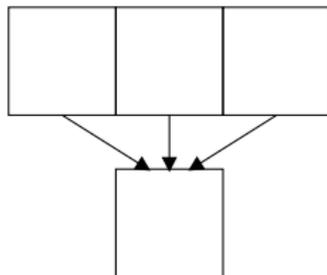
Automata Celulares

- Sistemas dinâmicos em que o tempo, o espaço e a variável de estado são discretos.
- Alternativas às equações diferenciais e mapas.
- **Conceitos: rede, vizinhança, passos**

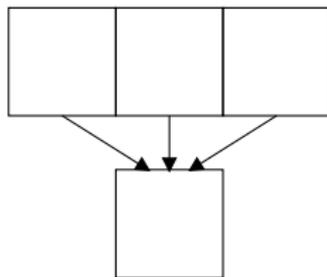
Automata Celulares

- Sistemas dinâmicos em que o tempo, o espaço e a variável de estado são discretos.
- Alternativas às equações diferenciais e mapas.
- Conceitos: rede, vizinhança, passos
- **Criticalidade, Fractalidade, Caos, Auto-organização**

Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos

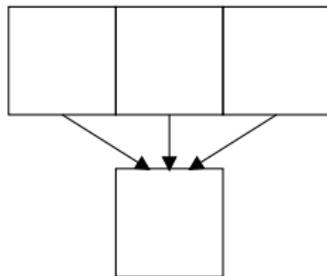


Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos



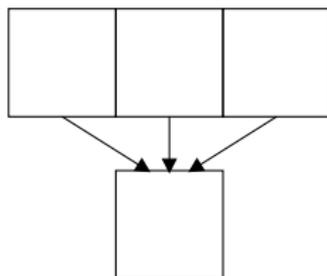
Quantas vizinhanças ?

Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos



Quantas vizinhanças ? 2^k

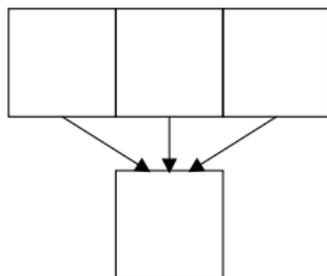
Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos



Quantas vizinhanças ? 2^k

Quantas regras ?

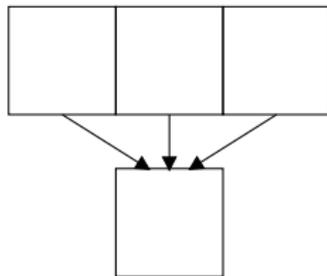
Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos



Quantas vizinhanças ? 2^k

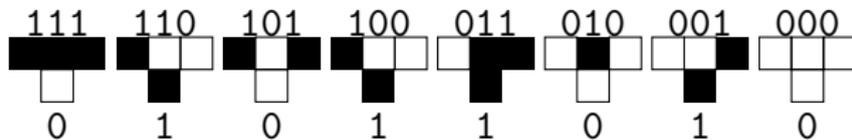
Quantas regras ? 2^{2^k}

Vizinhança $k \rightarrow$ o sítio e seus $k - 1$ vizinhos



Quantas vizinhanças ? 2^k

Quantas regras ? 2^{2^k}

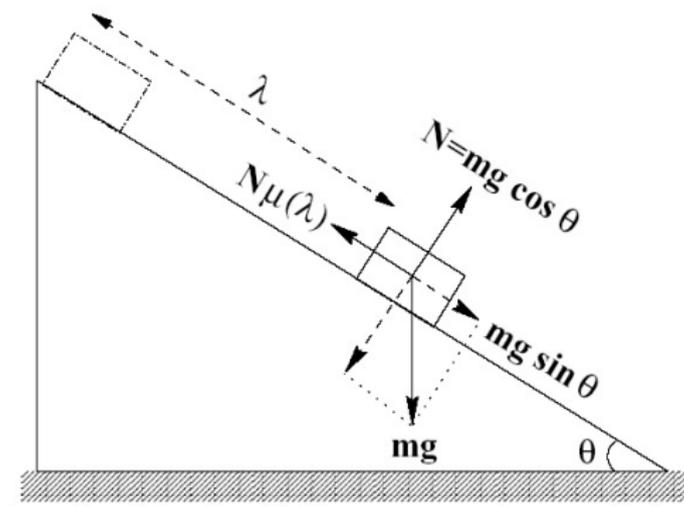


Regra 90 partindo de um sítio

Todos os Automata 1D

Bloco no Plano Inclinado com Atrito

LIMA, A. R., MOUKARZEL, C. F., GROSSE, I., PENNA, T. J. P.
Sliding blocks with random friction and absorbing random walks.
Physical Review E. , v.61, p.2267 - 2280, 2000



Bit-Strings p / Atrito

3

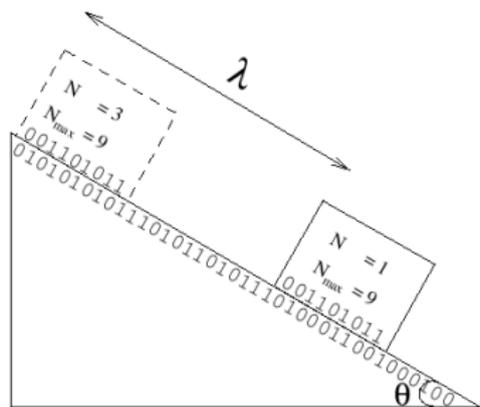


Figure 2: An example of the binary representations of the block and chute. Only those regions contribute to friction for which both the block and the plane have a bit set to 1.

Caminho Aleatório com Barreira

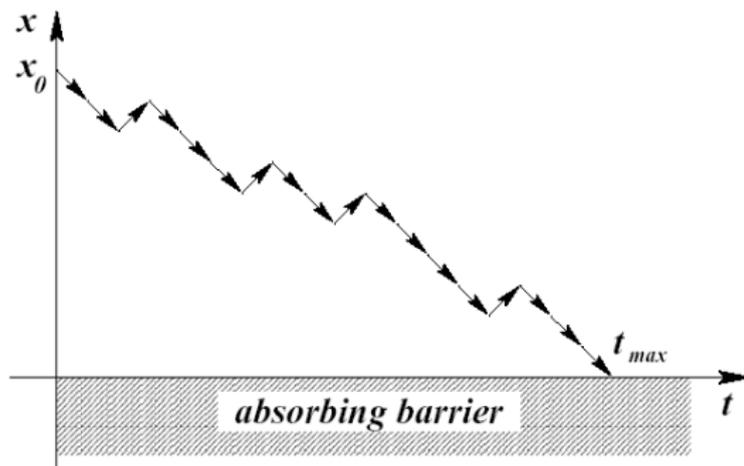


FIG. 4. A walker starts at position x_0 at $t = 0$ and executes a random walk with mean drift $V < 0$. The distribution of times $t = t_{max}$ for which the position becomes zero for the first time can be calculated from the probability distribution for a random walker with an absorbing barrier at $x = 0$.

Avalanches

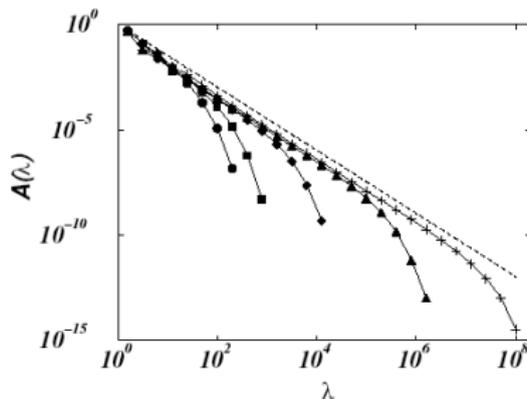


FIG. 2. Distribution $A(\lambda)$ of stopping lengths as obtained numerically for the one-bit-block model. Averages were taken over 10^8 realizations with an initial reduced kinetic energy $k_0 = 7.21 \cdot 10^{-6} m$ ($v_0 = 10^{-2} m/s$ and $g = 9.810 m/s^2$) and a critical angle $\theta_c = 45^\circ$. The inclination angle θ of the plane was: 35° (circles), 40° (squares), 44° (diamonds), 44.9° (triangles) and 44.99° (crosses). The dashed line corresponds to $A(\lambda) = \lambda^{-3/2}$. The same exponent was found experimentally [7].

Cutoff

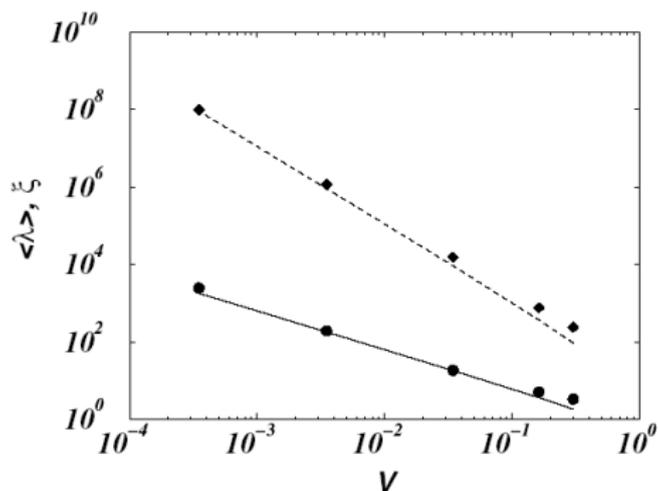


FIG. 3. Numerical results for the mean stopping length (circles) and “cutoff length” (diamonds) as functions of $-V$. The solid line (dashed line) corresponds to $\langle \lambda \rangle \propto |V|^{-1}$ ($\xi \propto |V|^{-2}$).

Bloco no plano

$$\frac{\partial k(l)}{\partial l} = \tan \theta - \mu(l)$$

com $k(l) = K/mg \cos \theta$.

Bloco no plano

$$\frac{\partial k(l)}{\partial l} = \tan \theta - \mu(l)$$

com $k(l) = K/mg \cos \theta$.

$$\frac{\partial W(x, t)}{\partial t} = \left(-V \frac{\partial}{\partial x} + D \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) W(x, t)$$

com

$$W(x, t)|_{x=0} = 0$$

Bloco no plano

$$\frac{\partial k(l)}{\partial l} = \tan \theta - \mu(l)$$

com $k(l) = K/mg \cos \theta$.

$$\frac{\partial W(x, t)}{\partial t} = \left(-V \frac{\partial}{\partial x} + D \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) W(x, t)$$

com

$$W(x, t)|_{x=0} = 0$$

com $V = \tan \theta - \bar{\mu}$, se $V < 0$ o bloco sempre pára.

Bloco no plano

$$\frac{\partial k(l)}{\partial l} = \tan \theta - \mu(l)$$

com $k(l) = K/mg \cos \theta$.

$$\frac{\partial W(x, t)}{\partial t} = \left(-V \frac{\partial}{\partial x} + D \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) W(x, t)$$

com

$$W(x, t)|_{x=0} = 0$$

com $V = \tan \theta - \bar{\mu}$, se $V < 0$ o bloco sempre pára.

Obtemos

$$A(\lambda) \sim t^{-3/2}$$

em excelente acordo com os dados de Brito e Gomes.