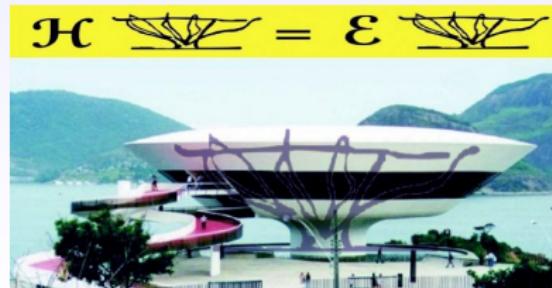


SISTEMAS COMPLEXOS

Thadeu Penna

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

I Escola do IFUFF, 2004



Universidade Federal Fluminense

Aula I

1 Introdução

Aula I

1 Introdução

2 Geradores de Números Aleatórios

Aula I

- 1 Introdução
- 2 Geradores de Números Aleatórios
- 3 Percolação

Aula I

- 1 Introdução
- 2 Geradores de Números Aleatórios
- 3 Percolação
- 4 Econofísica: Uma aplicação de Percolação

SISTEMAS COMPLEXOS

DEFINIÇÕES

- Sistema com um grande número de constituintes ou partes, que interagem entre si.

SISTEMAS COMPLEXOS

DEFINIÇÕES

- Sistema com um grande número de constituintes ou partes, que interagem entre si.
- Aparece um comportamento coletivo complexo.

SISTEMAS COMPLEXOS

DEFINIÇÕES

- Sistema com um grande número de constituintes ou partes, que interagem entre si.
- Aparece um comportamento coletivo complexo.
- As interações são conflitantes mas não são complicadas.

SISTEMAS COMPLEXOS

DEFINIÇÕES

- Sistema com um grande número de constituintes ou partes, que interagem entre si.
- Aparece um comportamento coletivo complexo.
- As interações são conflitantes mas não são complicadas.
- O comportamento do todo é diferente da soma das partes.

EXEMPLOS

- Famílias

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas
- o corpo humano

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas
- o corpo humano
- o cérebro

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas
- o corpo humano
- o cérebro
- firmas, empresas

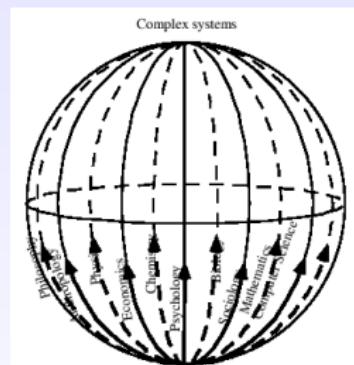
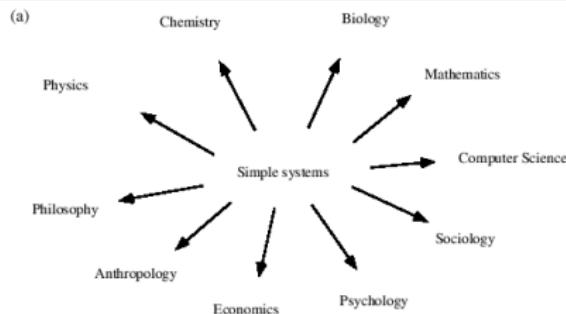
EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas
- o corpo humano
- o cérebro
- firmas, empresas
- corporações

EXEMPLOS

- Famílias
- Governos
- Partidos, Torcidas
- o corpo humano
- o cérebro
- firmas, empresas
- corporações
- ecossistemas

ALQUIMIA E SISTEMAS COMPLEXOS



VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,
- Padrões, descrição, informação,

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,
- Padrões, descrição, informação,
- Dinâmica, resposta, feedback, homeostase, controle

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,
- Padrões, descrição, informação,
- Dinâmica, resposta, feedback, homeostase, controle
- Conflito, satisfação, frustração, otimização

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,
- Padrões, descrição, informação,
- Dinâmica, resposta, feedback, homeostase, controle
- Conflito, satisfação, frustração, otimização
- **História, diversidade, sensibilidade às condições iniciais**

VOCABULÁRIO

- Elementos, partes, componentes,
- Interações, conexões, relacionamentos, redes,
- Emergência - não linearidade, escalas,
- Adaptação, evolução, organização, auto-organização,
- Padrões, descrição, informação,
- Dinâmica, resposta, feedback, homeostase, controle
- Conflito, satisfação, frustração, otimização
- História, diversidade, sensibilidade às condições iniciais
- Complexidade, descrição do sistema, entropia



PERGUNTAS

- Espaço; estruturas espaciais

PERGUNTAS

- Espaço; estruturas espaciais
- Tempo; respostas, escalas de tempo

PERGUNTAS

- Espaço; estruturas espaciais
- Tempo; respostas, escalas de tempo
- Auto-organização ou organização ? Dinâmica como formação

PERGUNTAS

- Espaço; estruturas espaciais
- Tempo; respostas, escalas de tempo
- Auto-organização ou organização ? Dinâmica como formação
- Caracterização; o que medir, como medir

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ←→ Microscópico

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico \longleftrightarrow Microscópico
- Termodinâmica \longleftrightarrow Mecânica Estatística

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ↔ Microscópico
- Termodinâmica ↔ Mecânica Estatística
- Escalas, frustração ↔ Transições de Fase

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ↔ Microscópico
- Termodinâmica ↔ Mecânica Estatística
- Escalas, frustração ↔ Transições de Fase
- Interações assimétricas, metaestabilidade, flutuações

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ↔ Microscópico
- Termodinâmica ↔ Mecânica Estatística
- Escalas, frustração ↔ Transições de Fase
- Interações assimétricas, metaestabilidade, flutuações
- Simulações Computacionais eficientes

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ↔ Microscópico
- Termodinâmica ↔ Mecânica Estatística
- Escalas, frustração ↔ Transições de Fase
- Interações assimétricas, metaestabilidade, flutuações
- Simulações Computacionais eficientes
- Monte Carlo, automata celulares, simulated annealing, amostragem entrópica

COMO ESTUDAR SISTEMAS COMPLEXOS ?

CARACTERÍSTICAS

- Macroscópico ↔ Microscópico
- Termodinâmica ↔ Mecânica Estatística
- Escalas, frustração ↔ Transições de Fase
- Interações assimétricas, metaestabilidade, flutuações
- Simulações Computacionais eficientes
- Monte Carlo, automata celulares, simulated annealing, amostragem entrópica
- Tamanho finito, multigrid



SIMULAÇÕES



CARACTERÍSTICAS

RNG

- “Importante demais para deixar ao acaso”

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- “Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is, of course, in a state of sin.” J. von Neumann

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- ”Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is , of course, in a state of sin.” J. von Neumann
- Random number generators: good ones are hard to find.
[Commun. ACM, 31, 1192–1201]

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- ”Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is , of course, in a state of sin.” J. von Neumann
- Random number generators: good ones are hard to find.
[Commun. ACM, 31, 1192–1201]
- Números aleatórios gerados a partir de operações matemáticas, portanto determinísticos.

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- ”Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is , of course, in a state of sin.” J. von Neumann
- Random number generators: good ones are hard to find.
[Commun. ACM, 31, 1192–1201]
- Números aleatórios gerados a partir de operações matemáticas, portanto determinísticos.
- Grande período, baixa correlação e velocidade.

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- ”Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is , of course, in a state of sin.” J. von Neumann
- Random number generators: good ones are hard to find.
[Commun. ACM, 31, 1192–1201]
- Números aleatórios gerados a partir de operações matemáticas, portanto determinísticos.
- Grande período, baixa correlação e velocidade.
- Geradores diferentes falham em testes diferentes.

CARACTERÍSTICAS

RN6

- “Importante demais para deixar ao acaso”
- ”Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is , of course, in a state of sin.” J. von Neumann
- Random number generators: good ones are hard to find.
[Commun. ACM, 31, 1192–1201]
- Números aleatórios gerados a partir de operações matemáticas, portanto determinísticos.
- Grande período, baixa correlação e velocidade.
- Geradores diferentes falham em testes diferentes.
- O melhor gerador depende do problema em questão

LCG

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS



Universidade Federal Fluminense

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS

Da forma

$$x(n) = (a * x(n - 1) + b) \mod M$$

LCG

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS

Da forma

$$x(n) = (a * x(n - 1) + b) \mod M$$

com valores especiais para a e M

LCG

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS

Da forma

$$x(n) = (a * x(n - 1) + b) \mod M$$

com valores especiais para a e M

Exemplos: $a = 16807$ (Park e Muller), 65539 (IBM RANDU),
 $69621, 1103515245$ e $M = 2^{31} - 1$

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS

Da forma

$$x(n) = (a * x(n - 1) + b) \mod M$$

com valores especiais para a e M

Exemplos: $a = 16807$ (Park e Muller), 65539 (IBM RANDU),
 69621 , 1103515245 e $M = 2^{31} - 1$

Para 64 bits $a = 13^{13}, 44485709377909$

LINEAR CONGRUENTIAL GENERATORS

Da forma

$$x(n) = (a * x(n - 1) + b) \mod M$$

com valores especiais para a e M

Exemplos: $a = 16807$ (Park e Muller), 65539 (IBM RANDU),
 69621 , 1103515245 e $M = 2^{31} - 1$

Para 64 bits $a = 13^{13}, 44485709377909$

Rápidos e gastam pouca memória

RODRIGO OS LCG

Clique aqui



Universidade Federal Fluminense

PERCOLAÇÃO

- Rede $L \times L$

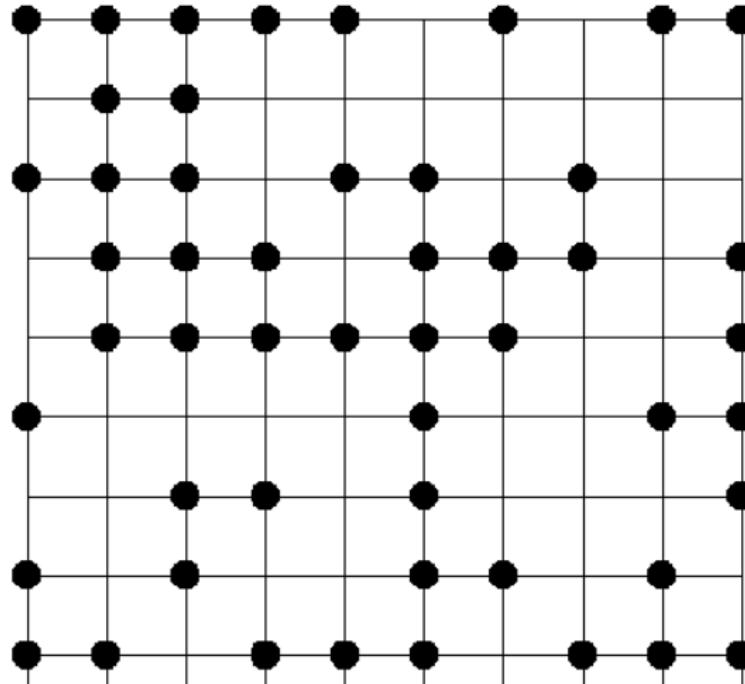
PERCOLAÇÃO

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

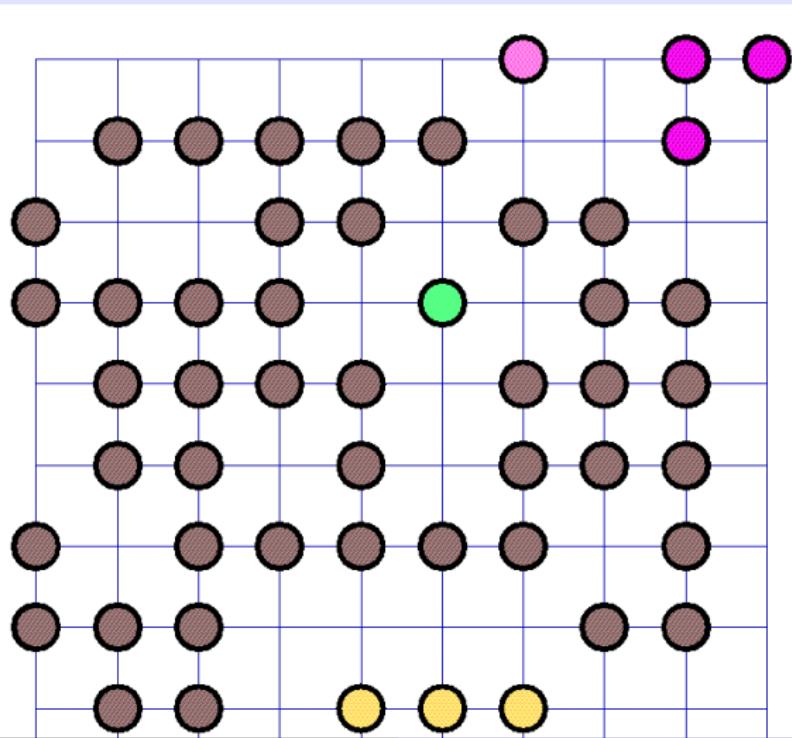
PERCOLAÇÃO

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

Percolação por sítios



Percolação por sítios



BURNING

- Verdes: nunca queimaram

BURNING

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

BURNING

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

BURNING

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

BURNING

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

Burning em ação

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c
- Fração de clusters percolantes W

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c
- Fração de clusters percolantes W
- probabilidade de pertencer ao cluster ∞

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c
- Fração de clusters percolantes W
- probabilidade de pertencer ao cluster ∞
- Número de Clusters

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c
- Fração de clusters percolantes W
- probabilidade de pertencer ao cluster ∞
- Número de Clusters
- Tamanho médio de Clusters

QUANTIDADES DE INTERESSE

- Limiar de Percolação p_c
- Fração de clusters percolantes W
- probabilidade de pertencer ao cluster ∞
- Número de Clusters
- Tamanho médio de Clusters
- Distribuição de Tamanho de Clusters

RESULTADOS

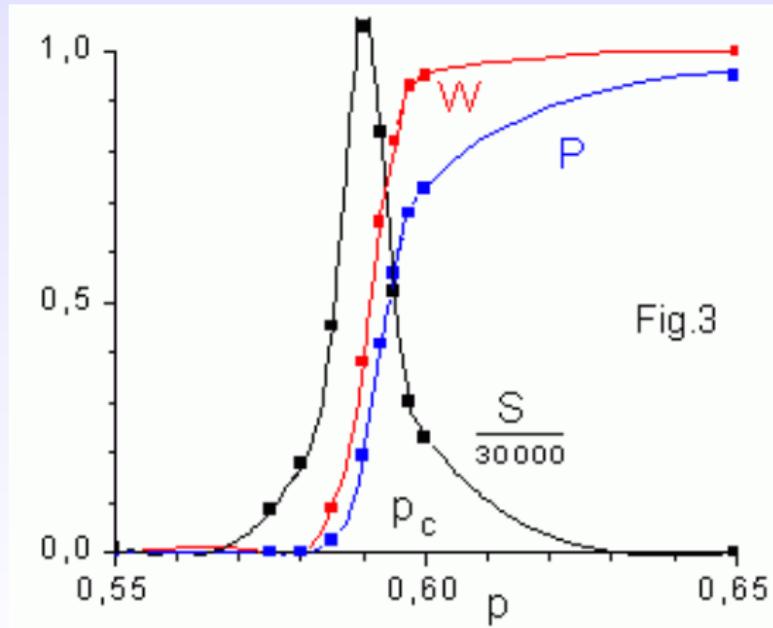


Fig.3



Universidade Federal Fluminense

DISTRIBUIÇÃO DE CLUSTERS

$$n_s(p < p_c) \propto s^{-\theta} e^{-const \cdot s},$$

DISTRIBUIÇÃO DE CLUSTERS

$$n_s(p < p_c) \propto s^{-\theta} e^{-const \cdot s},$$
$$n_s(p = p_c) \propto s^{-\tau}$$

DISTRIBUIÇÃO DE CLUSTERS

$$n_s(p < p_c) \propto s^{-\theta} e^{-const \cdot s},$$

$$n_s(p = p_c) \propto s^{-\tau}$$

$$n_s(p > p_c) \propto s^{-\theta'} e^{-const \cdot s^{1-1/d}}$$

DISTRIBUIÇÃO DE CLUSTERS

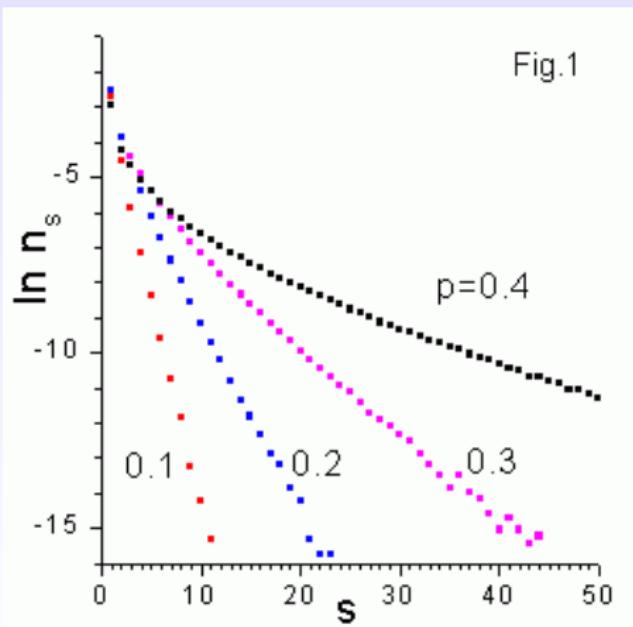
$$n_s(p < p_c) \propto s^{-\theta} e^{-const \cdot s},$$

$$n_s(p = p_c) \propto s^{-\tau}$$

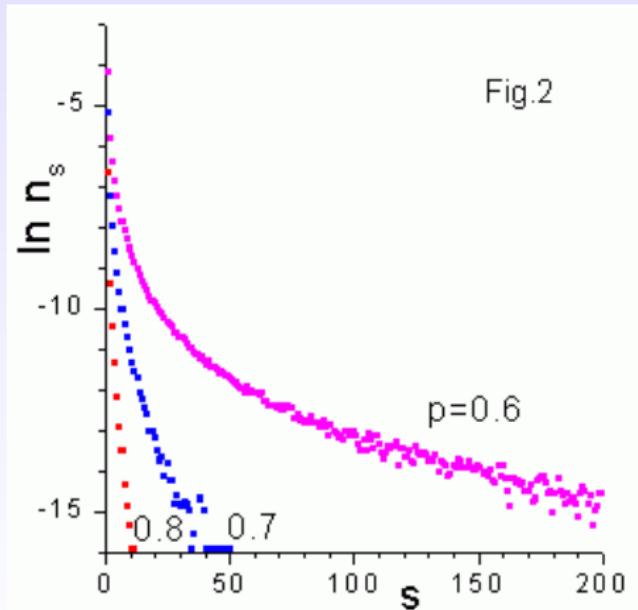
$$n_s(p > p_c) \propto s^{-\theta'} e^{-const \cdot s^{1-1/d}}$$

Portanto temos clusters de todos os tamanhos, em $p = p_c$.

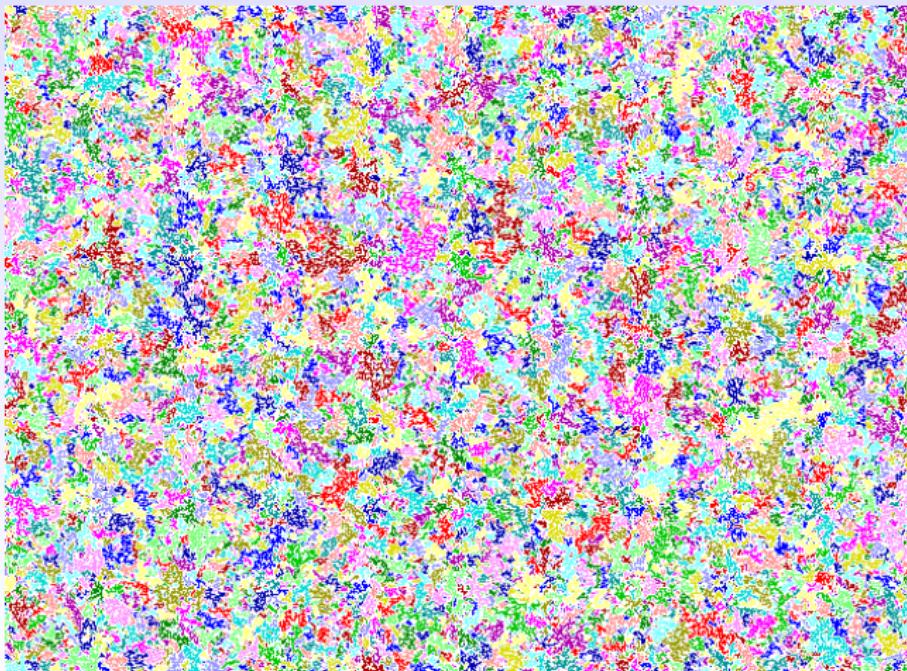
Distribuição de tamanhos de clusters abaixo de p_c



Distribuição de tamanhos de clusters acima de p_c

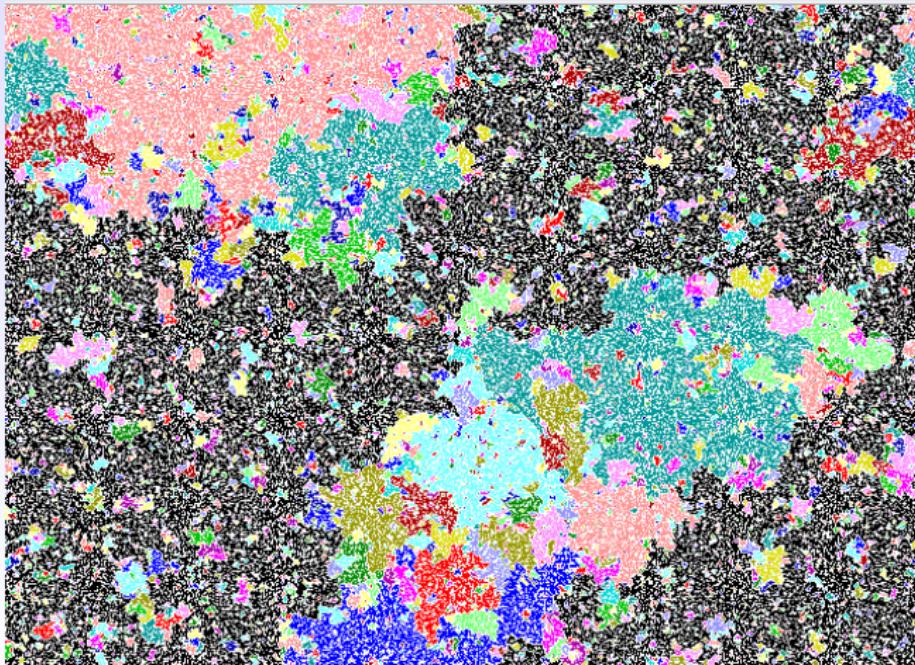


EXEMPLOS



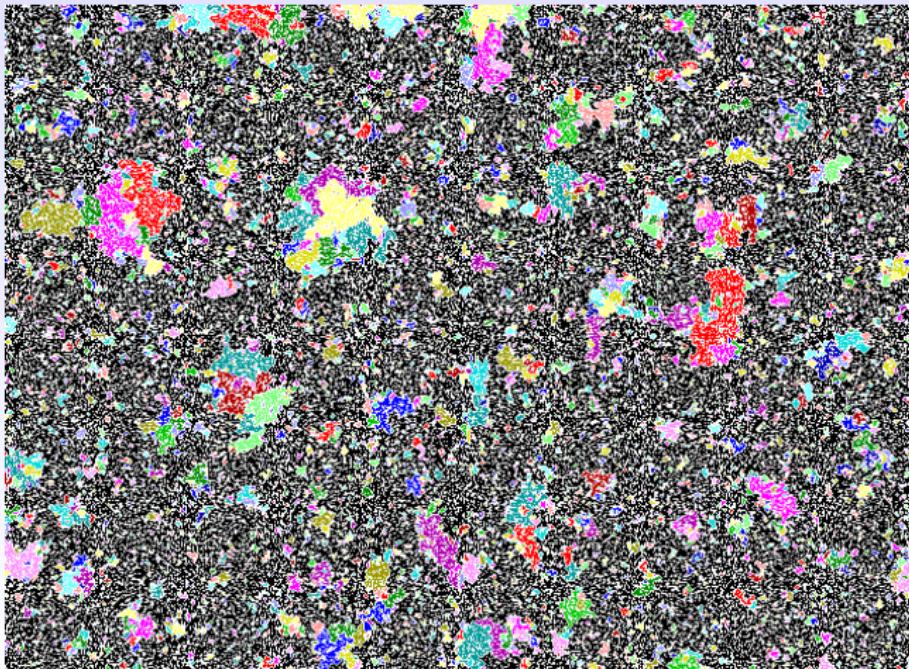
Universidade Federal Fluminense

EXEMPLOS



Universidade Federal Fluminense

EXEMPLOS

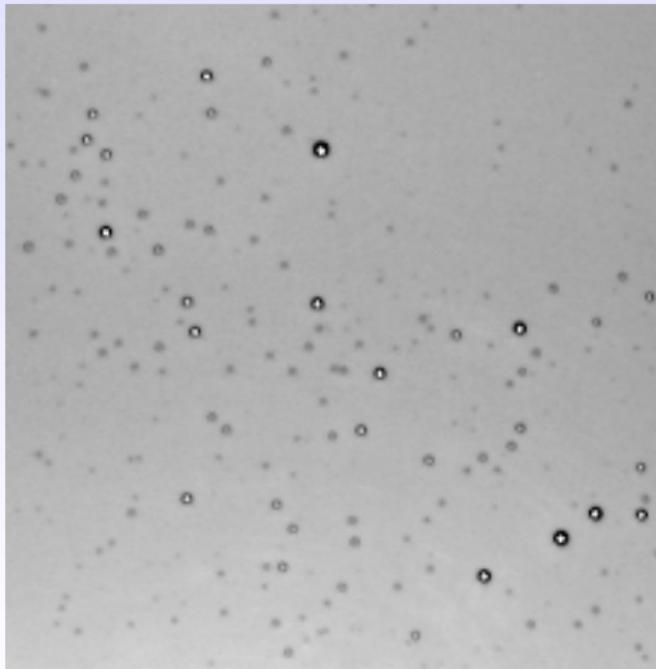


Universidade Federal Fluminense

FRAGMENTAÇÃO DE H6



FRAGMENTAÇÃO DE H6



Universidade Federal Fluminense

ECONOFÍSICA

- Uso de técnicas de física estatística em sistemas financeiros

ECONOFÍSICA

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

ECONOFÍSICA

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

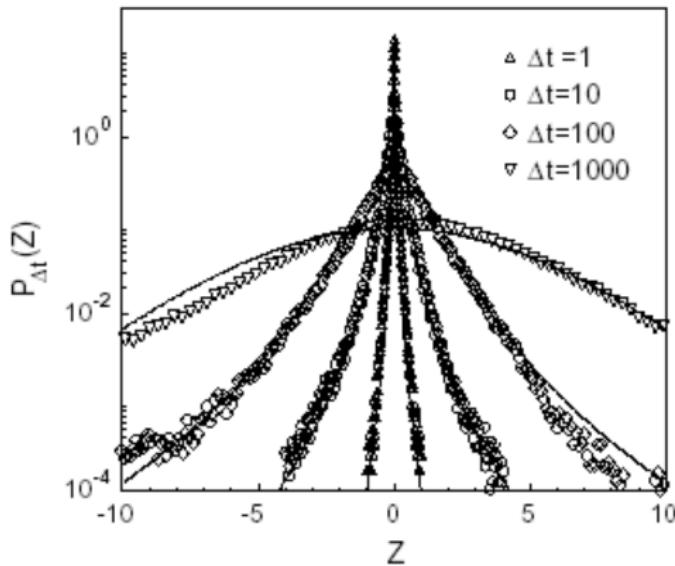
ECONOFÍSICA

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

ECONOFÍSICA

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

DISTRIBUIÇÕES DE LÉVY

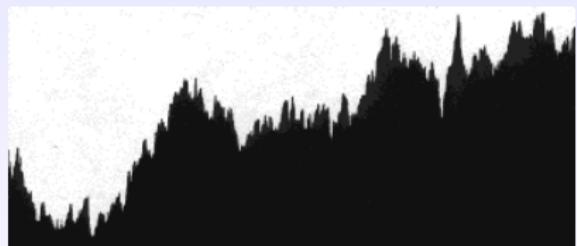
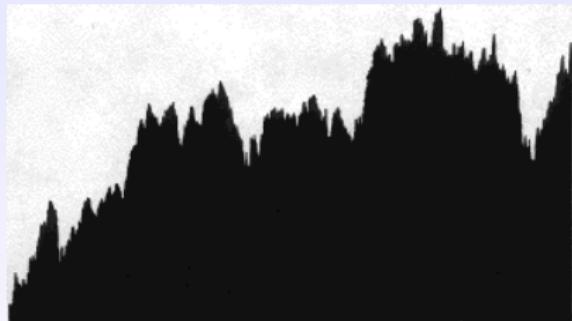


Mudanças de preço S&P500 em diferentes escalas



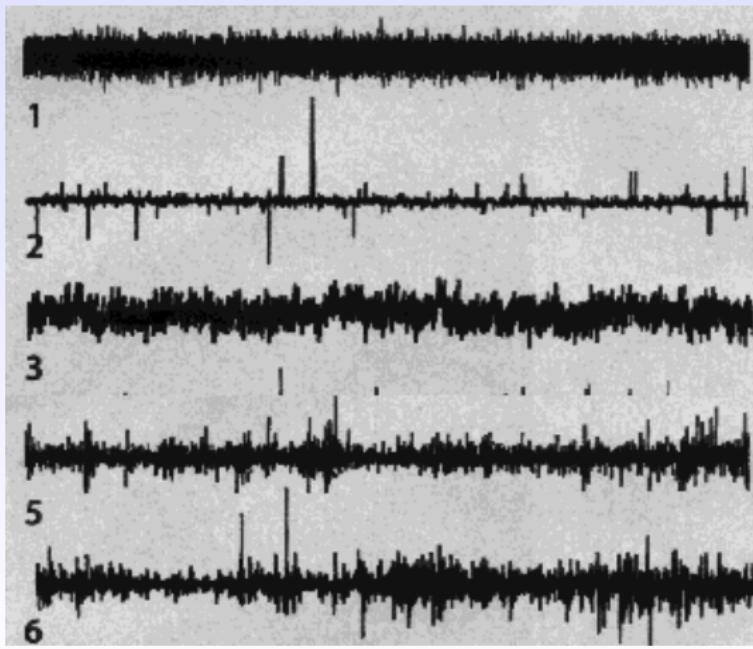
Universidade Federal Fluminense

QUEM É QUEMP



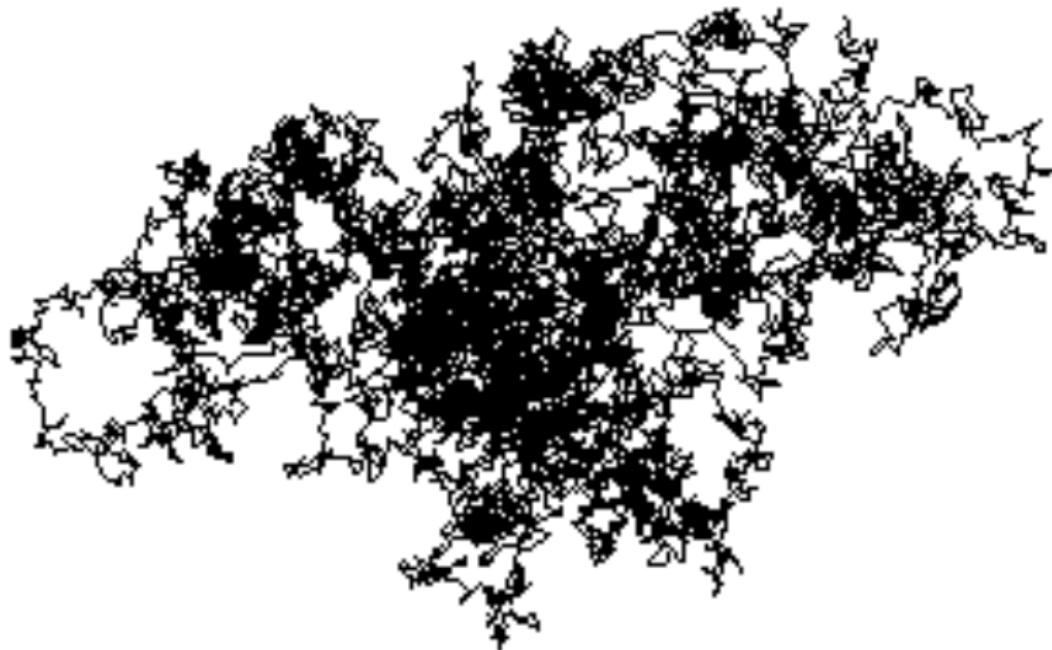
Universidade Federal Fluminense

CAMINHOS ALEATÓRIOS COM MEMÓRIA



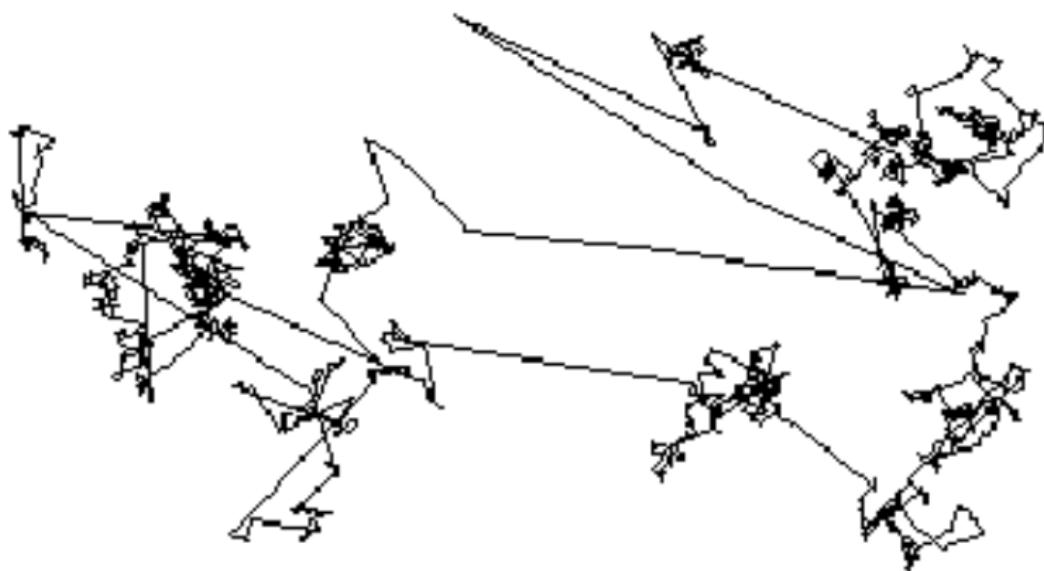
Que séries são do mercado financeiro ?

Caminho Aleatório



Universidade Federal Fluminense

Caminhada de Lévy



Universidade Federal Fluminense

Movimento Browniano Fracionário



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



Universidade Federal Fluminense

Movimento Browniano Fracionário



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

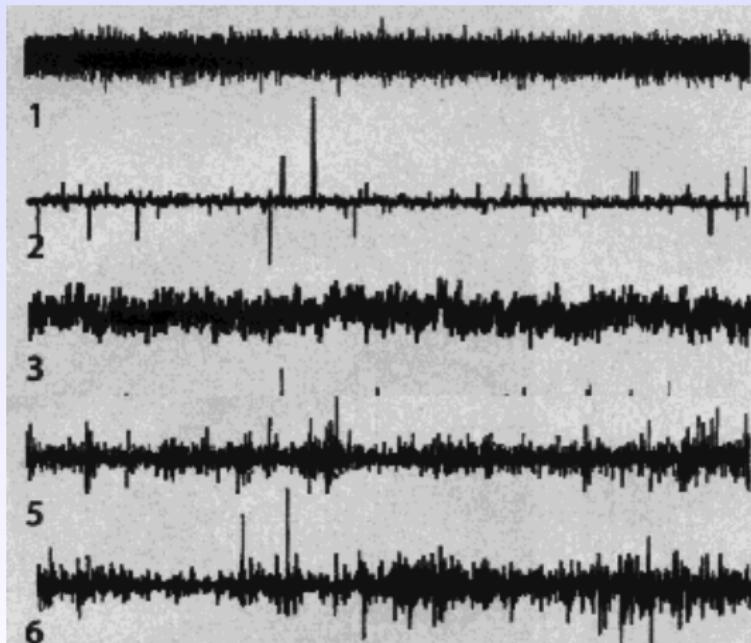
Movimento Browniano Fracionário



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



Universidade Federal Fluminense



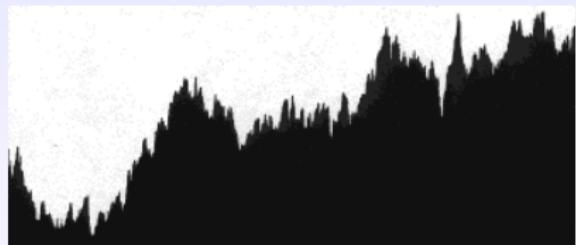
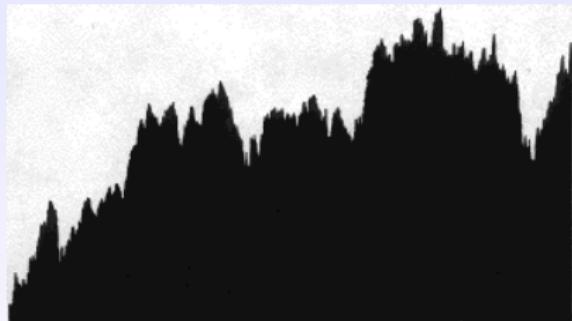
5 - IBM

6 - dólar-marco



Universidade Federal Fluminense

QUEM É QUEMP



SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

- Rede com N agentes distribuídos em clusters

SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

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

SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

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

SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

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

SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

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

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

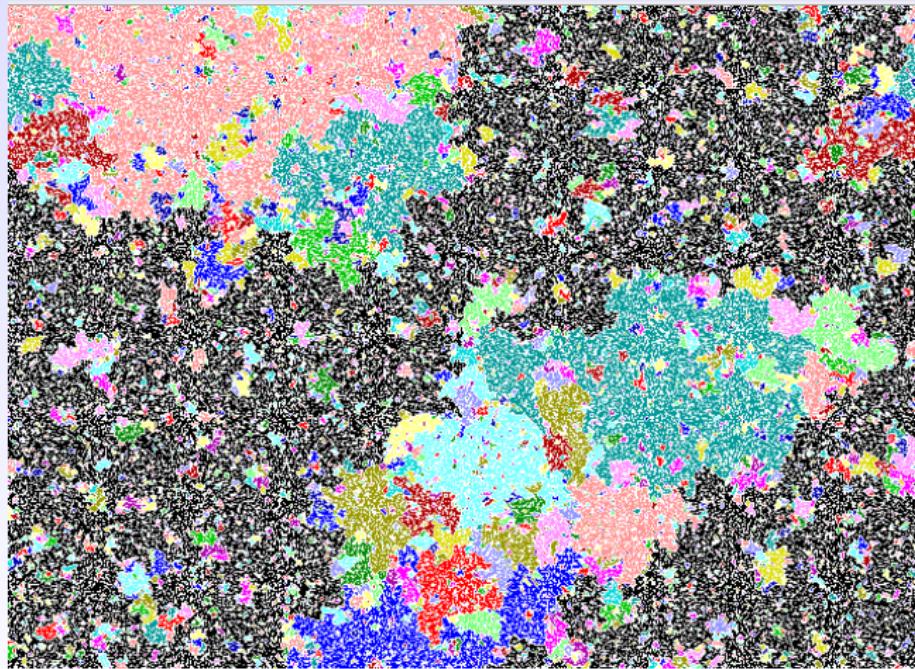


SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA DO MERCADO DE AÇÕES

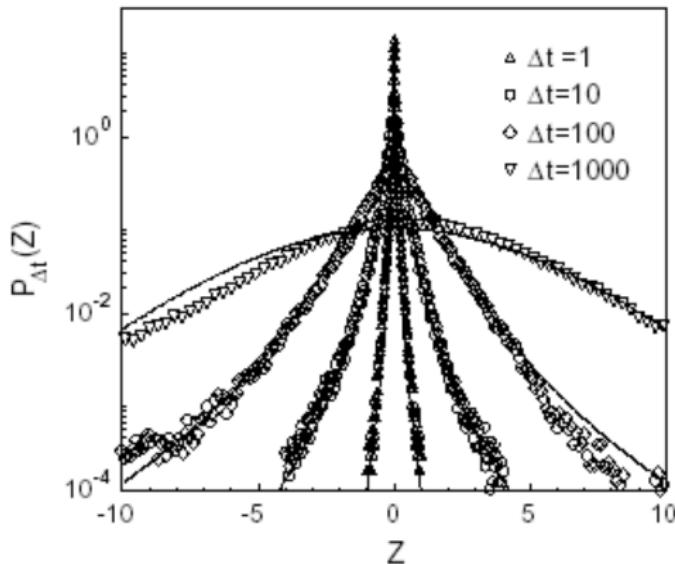
- Rede com N agentes distribuídos em clusters
- Cada cluster i negocia com probabilidade a
- Com iguais probabilidades, o cluster pode comprar ou vender ações ($\Phi_i = \pm 1$)
- O número de ações negociadas depende do tamanho n_s do cluster
- O preço $P(t)$ das ações varia conforme a demanda

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





DISTRIBUIÇÕES DE LÉVY



Mudanças de preço S&P500 em diferentes escalas



Universidade Federal Fluminense

RESULTADOS DE CONT-BOUCHAUD

