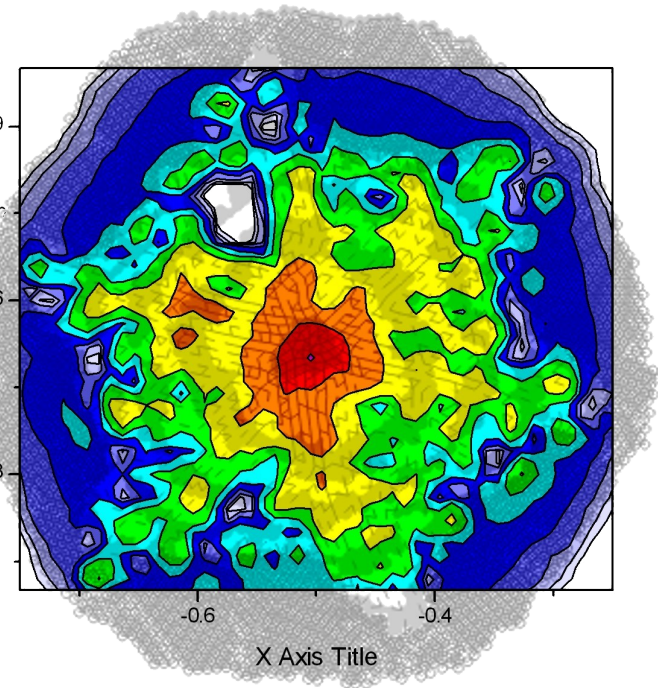
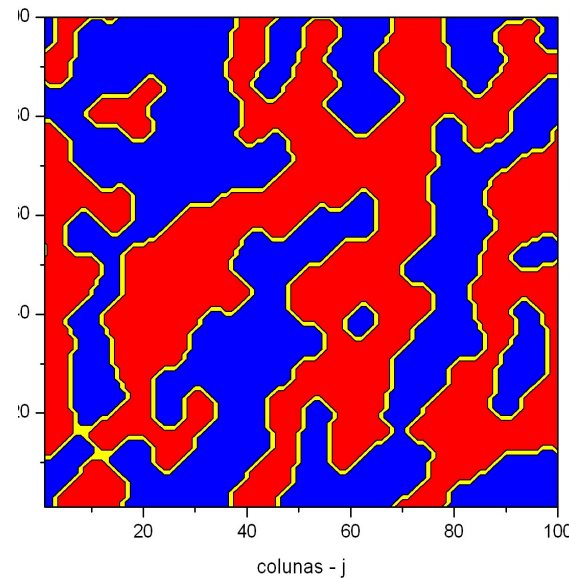
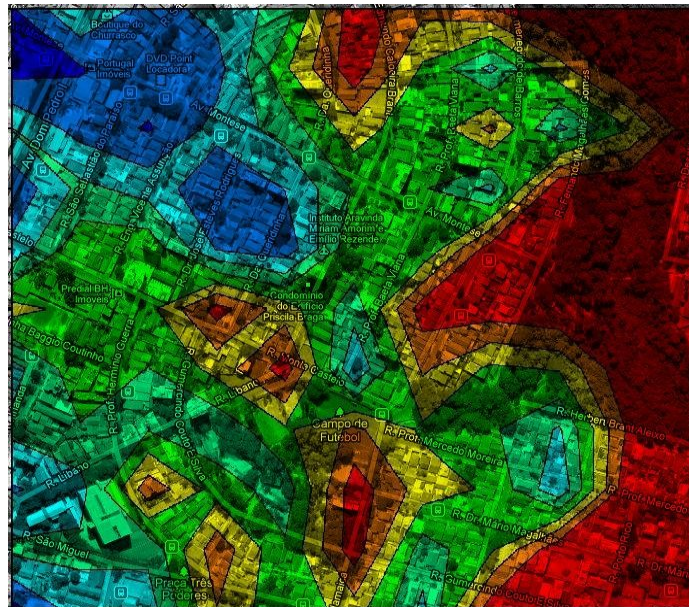


Da propagação de endemias ao escoamento de materiais granulares confinados: Ou de como tratar sistemas complexos com a física estatística



Sumário

Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:

Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;

Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**
- **Materiais Granulares:**
 - **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
 - **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**

Sistemas Complexos:

Definição (?):

Sistemas compostos por **unidades**, idênticas ou não, que **interagem** geralmente de modo **não-linear**, formando **redes de conexões** peculiares e que exibem propriedades **emergentes**, imprevisíveis a partir da análise do comportamento individual de suas partes.

A capacidade de produzir **efeitos macroscópicos** inesperados devido a ação **sinérgica** dos componentes microscópicos fazem com que, não raramente, fenômenos como **criticalidade auto-organizada**, **CaOS**, **fractais**, leis de **escala** e **potência** etc. sejam observados nestes sistemas.

Exemplos variados encontram-se em nas mais variadas áreas, desde estudos de sistemas globais naturais como o clima e a formação de tempestades, ou uma pilha de areia e criticalidade auto-organizada, passando por modelos biologicamente motivados como redes neurais e o sistema nervoso humano, colônias de formiga e otimização, até estruturas sociais, sistemas econômicos etc.

... dada tamanha diversidade, fica a questão: quais são os elementos **essenciais**, as características **elementares** para a emergência da complexidade?

Dare to answer??

→ ask to Statistical Mechanics!!!

Sumário

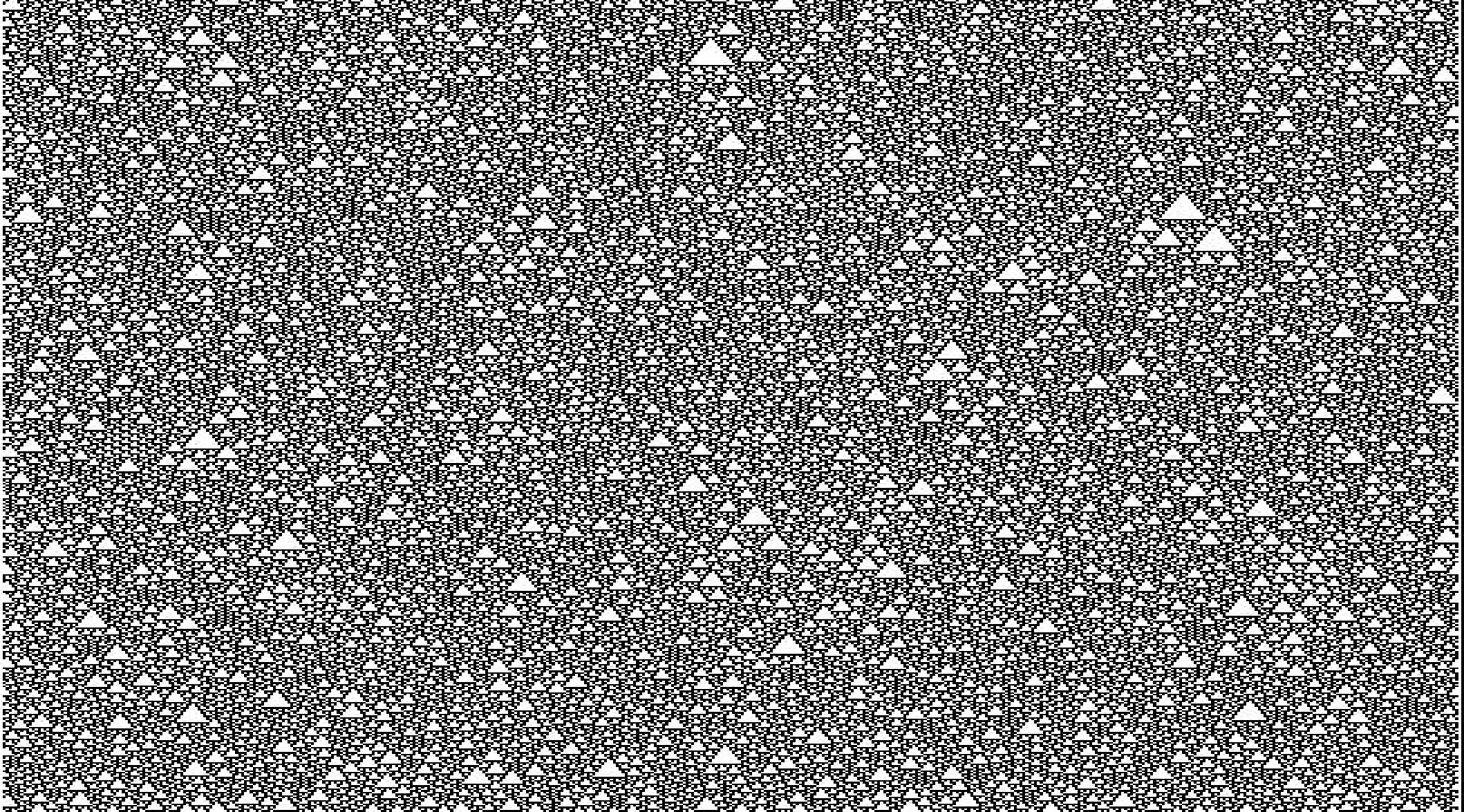
Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:
Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;
Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**
- **Materiais Granulares:**
 - **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
 - **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**



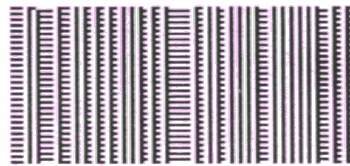
0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1
0 1 0 1 1 0 1 0

$$0x2^0 + 1x2^1 + 0x2^2 + 1x2^3 + 1x2^4 + 0x2^5 + 1x2^6 + 0x2^7 = \text{Regra 90}$$

Autômato de Wolfram



rule 28 (00011100)



rule 29 (00011101)



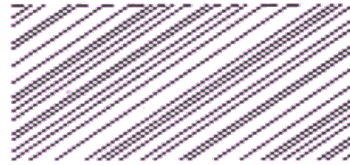
rule 30 (00011110)



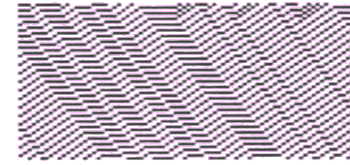
rule 32 (00100000)



rule 33 (00100001)



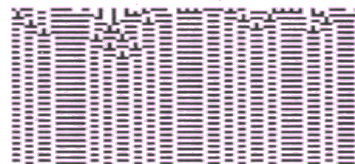
rule 34 (00100010)



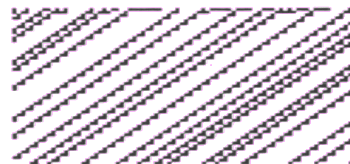
rule 35 (00100011)



rule 36 (00100100)



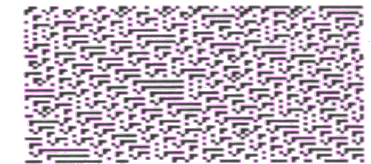
rule 37 (00100101)



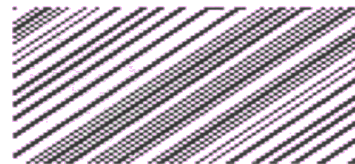
rule 38 (00100110)



rule 40 (00101000)



rule 41 (00101001)



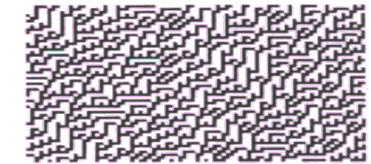
rule 42 (00101010)



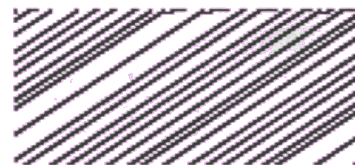
rule 43 (00101011)



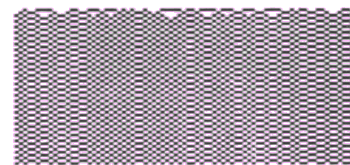
rule 44 (00101100)



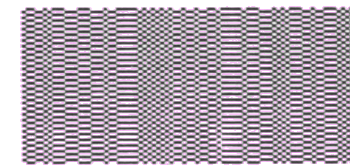
rule 45 (00101101)



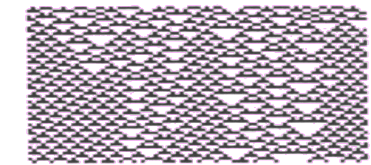
rule 46 (00101110)



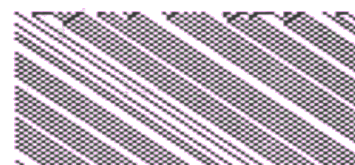
rule 50 (00110010)



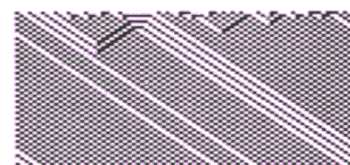
rule 51 (00110011)



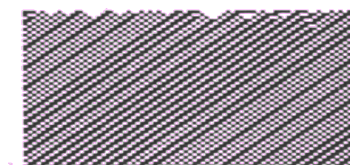
rule 54 (00110110)



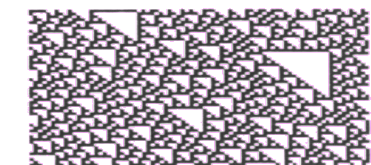
rule 56 (00111000)



rule 57 (00111001)



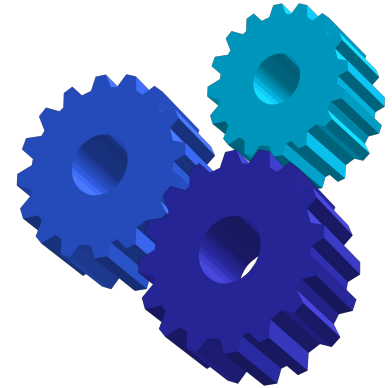
rule 58 (00111010)



rule 60 (00111100)

Autômatos Determinísticos

Jogo da vida de John Conway



Autômato celular determinístico em 2D;
2 estados, oito vizinhos (rede quadrada);

Regras:

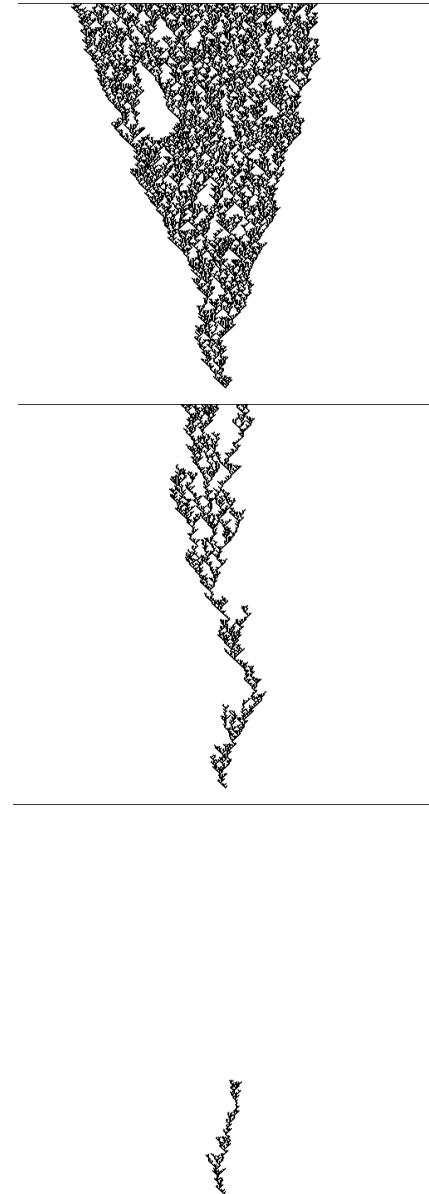
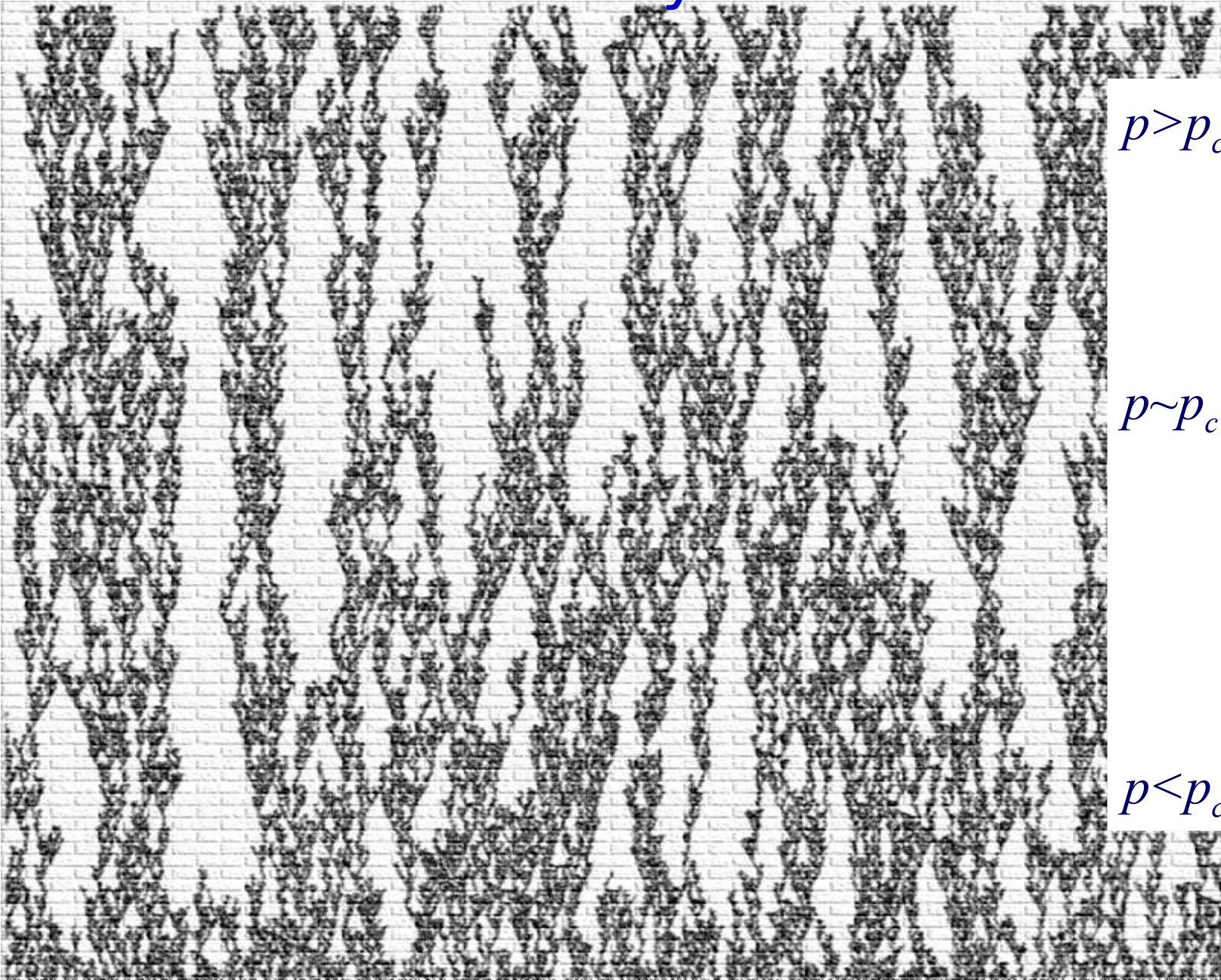
Morte por solidão: número de vizinhos “vivos” = 0,1;

Morte por superpopulação: # de vizinhos = 5, 6, 7, 8;

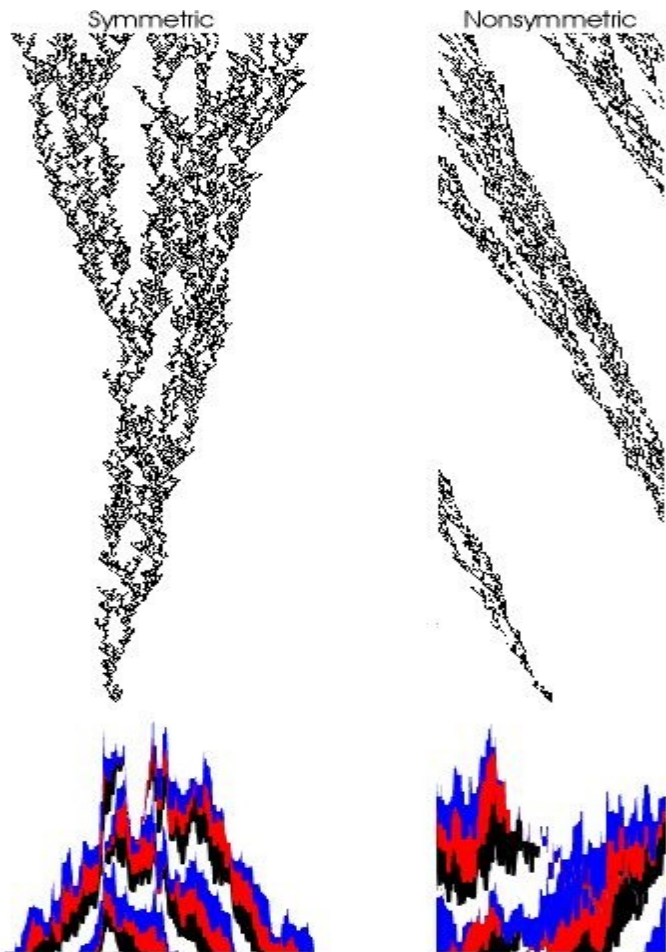
Nascimento: # de vizinhos = 3;

se o # de vizinhos = 2 ou 4, vive mais uma geração.

Autômatos Celulares Probabilísticos - PCA's Modelo de Domany-Kinzel



Método do Exponente de Crescimento



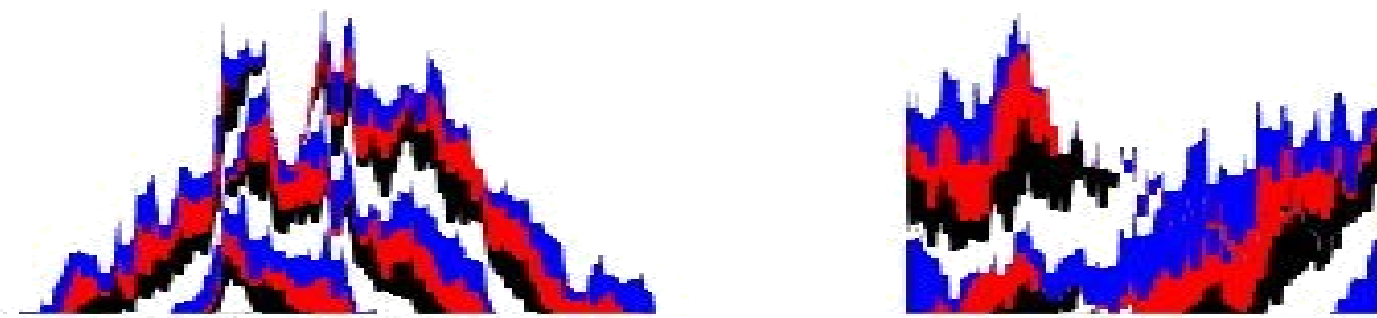
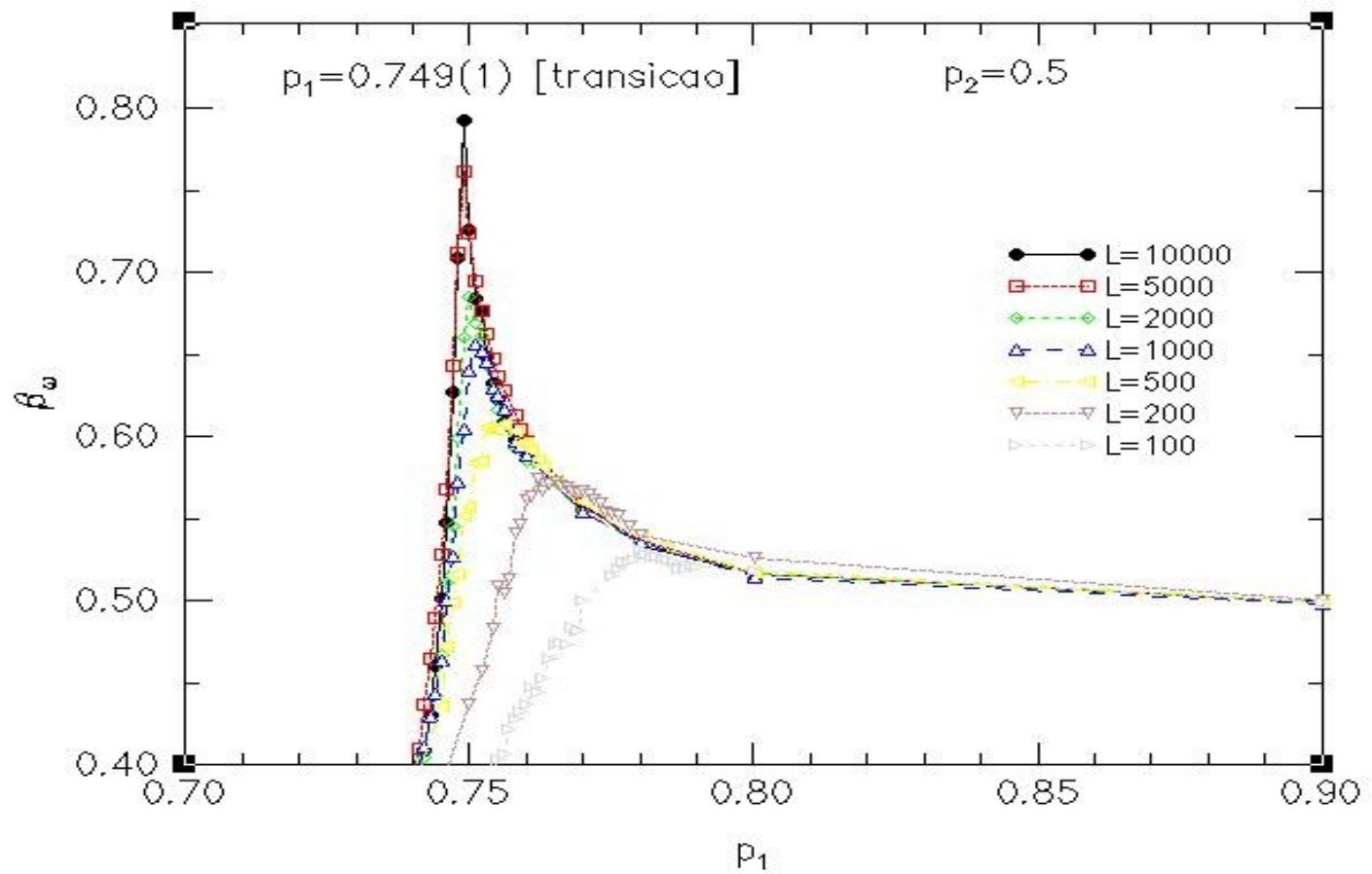
Representação de interfaces

$$h_i(\tau) = \sum_{t=t_0}^{t=t_0+\tau} \sigma_i(t) \quad i = 1, 2, \dots, L$$

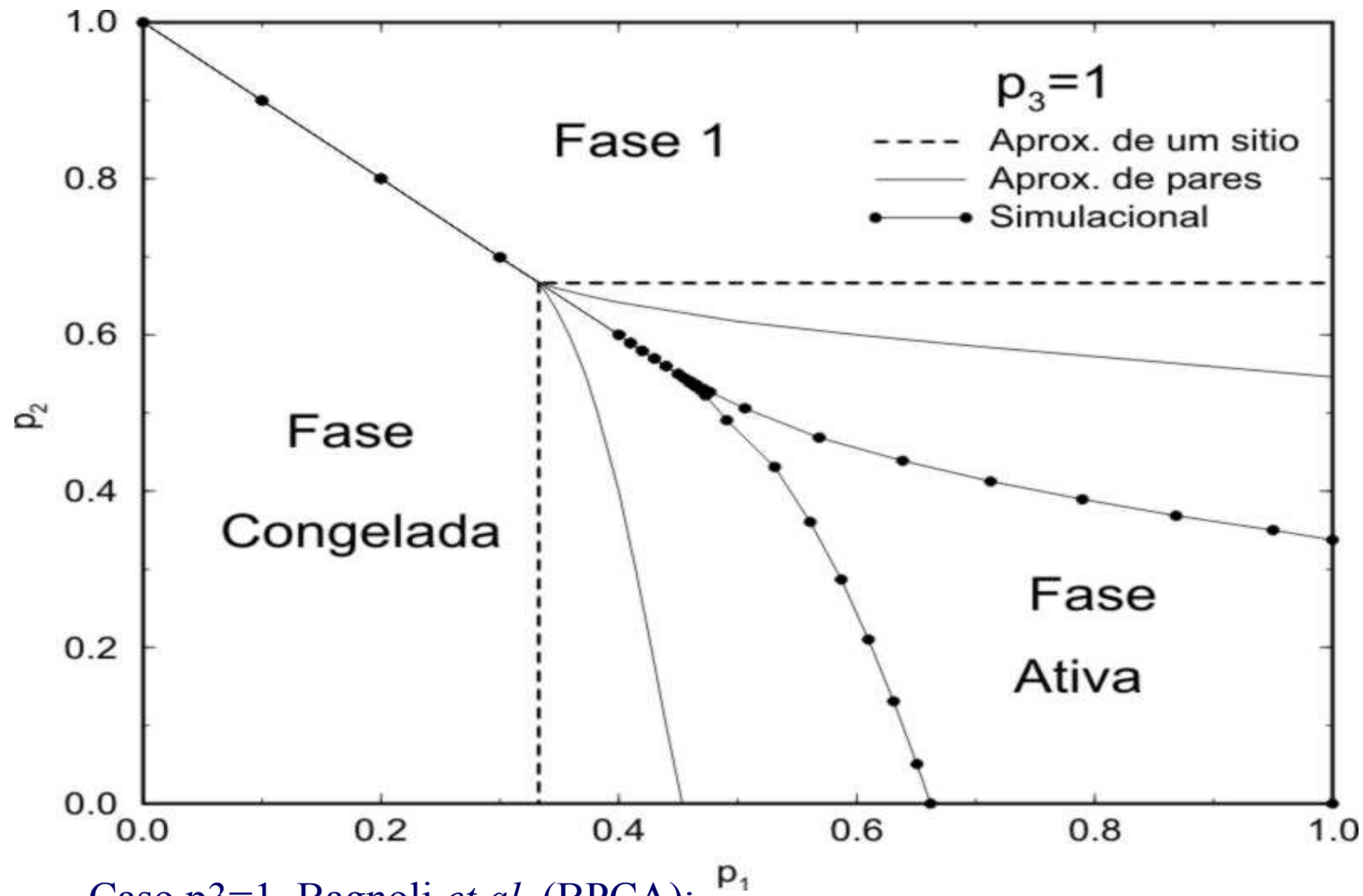
$$w(L, t) = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [h(i, t) - \bar{h}(t)]^2}$$

A.P.F. Atman, J.G. Moreira, *EUR J PHYS B*, **16**, 501 (2000).

J. A. de Salles, M. L. Martins and J. G. Moreira, *J PHYS A*, **32**, 885 (1999).



PCA com três sítios

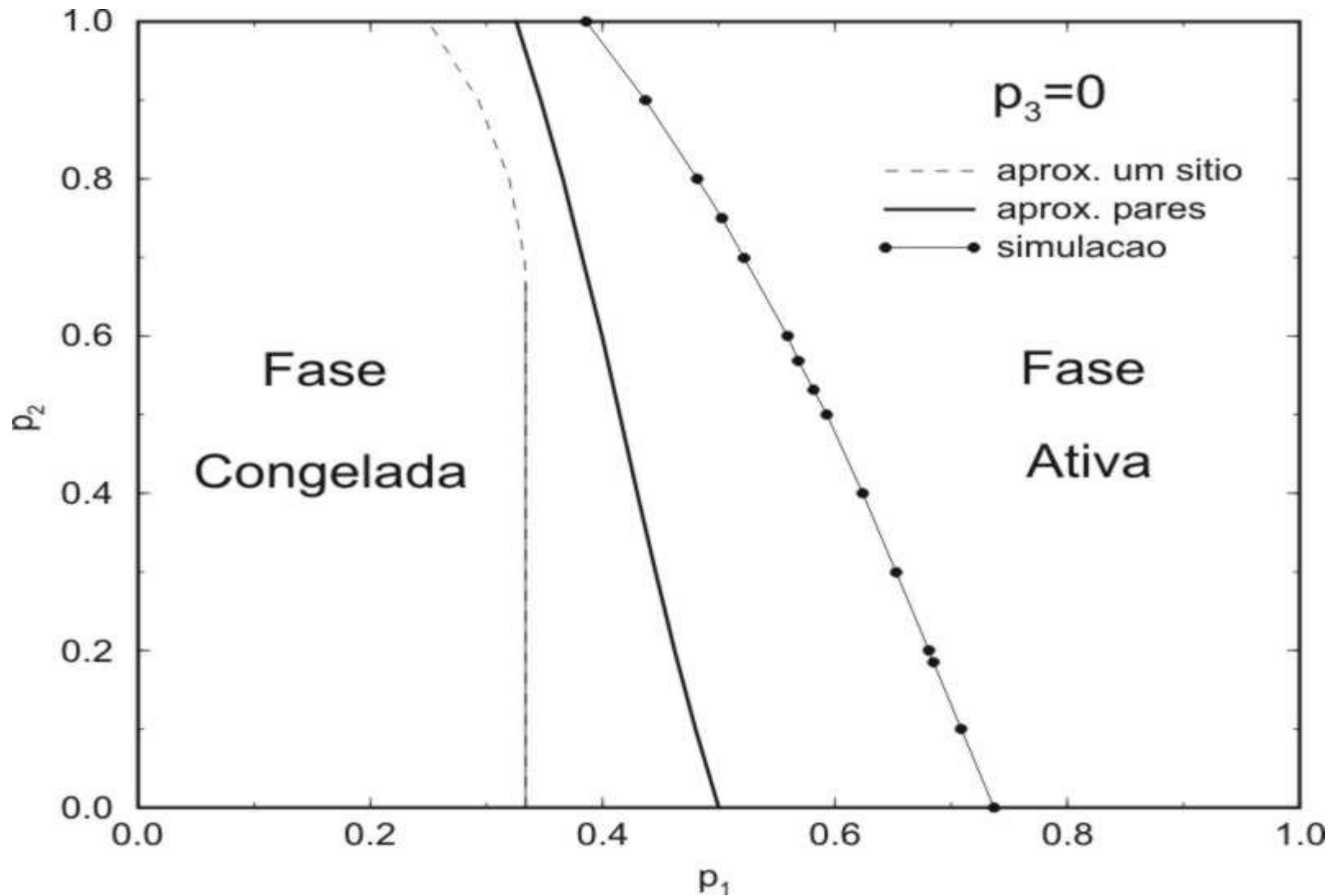


F. Bagnoli, N. Boccara e R. Rechtman, *PHYS REV E* **63**: 046116 (2001).

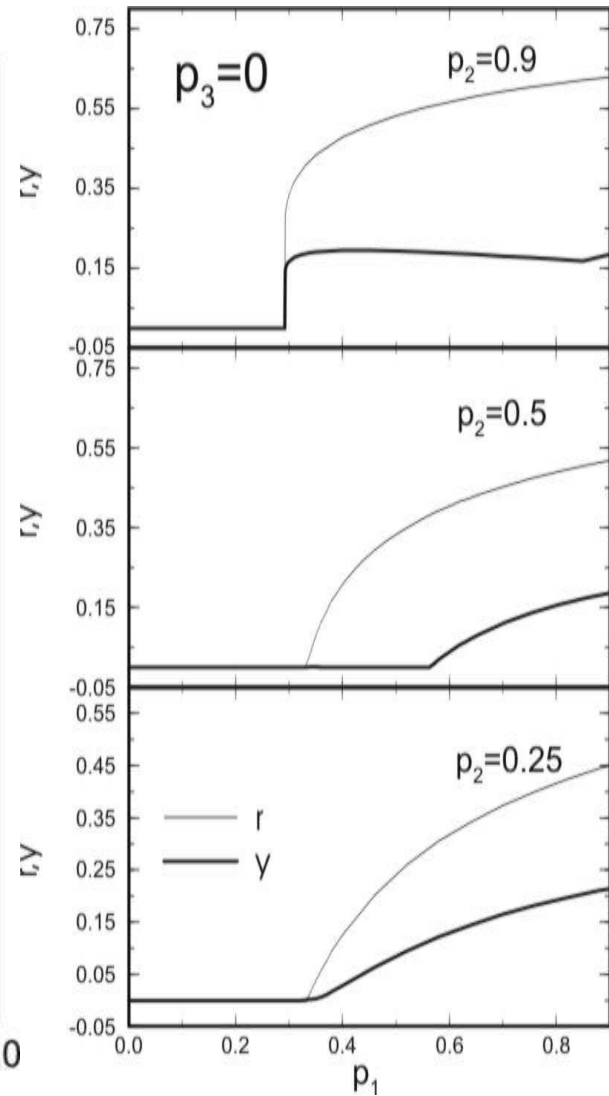
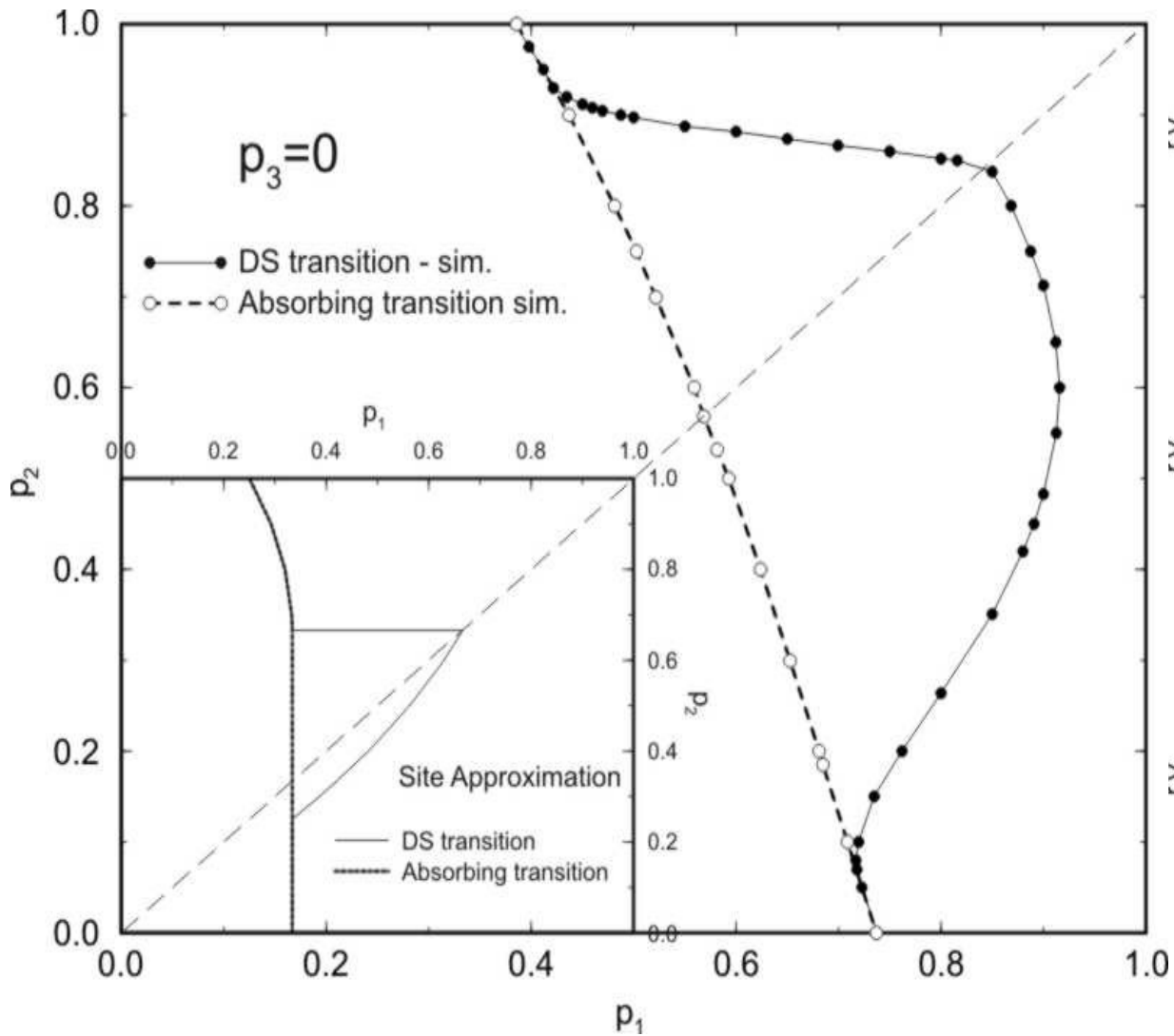
A. P. F. Atman, R. Dickman, J.G. Moreira, *PHYS REV E* **67**: 016107(2003).

Método do Expoente de Crescimento

$$p_3=0$$



Espalhamento de Danos



Transição caótica reentrante.

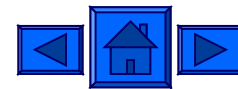
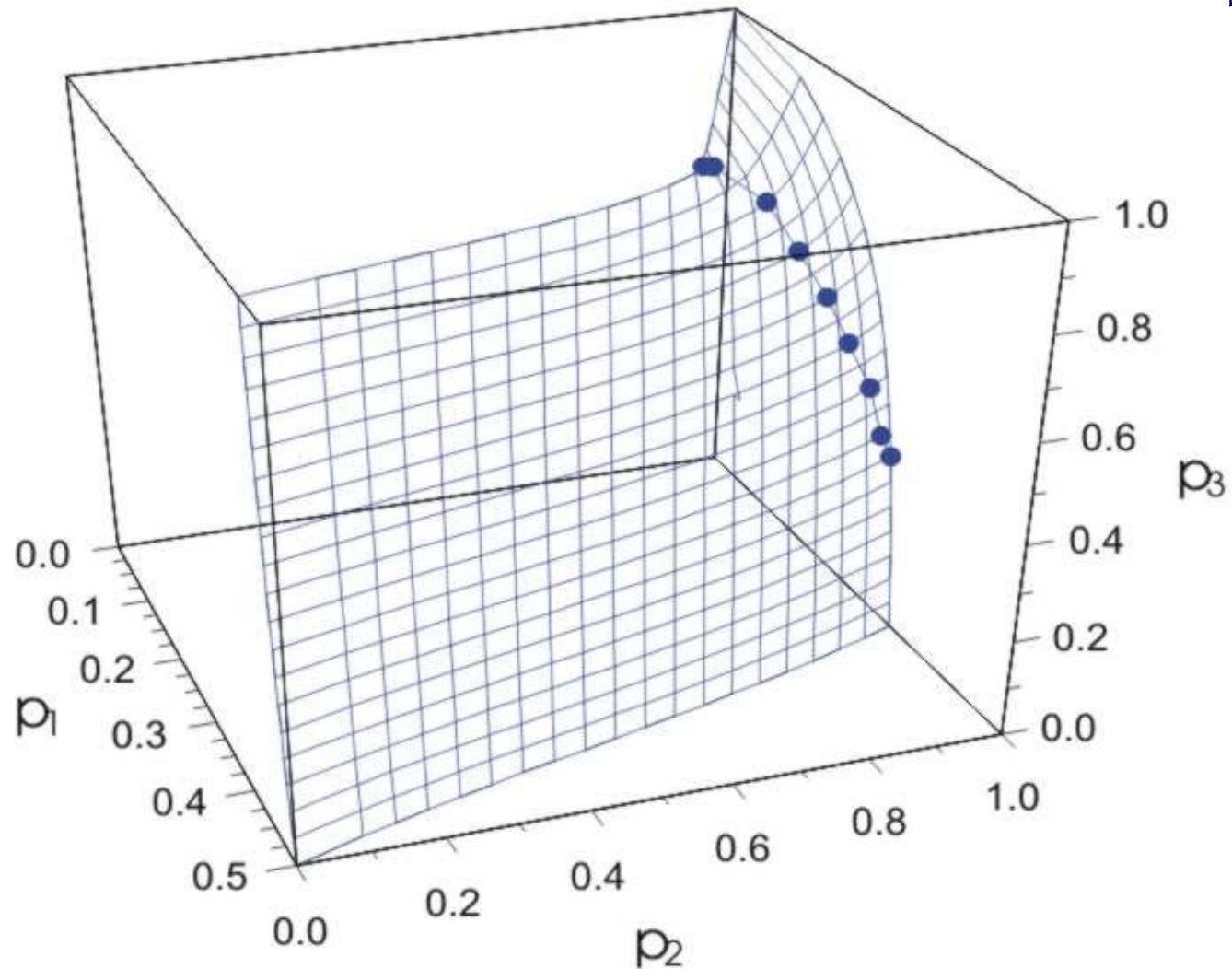
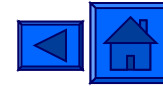


Diagrama de Fases



Superfície crítica, linha tricrítica e ponto bicrítico terminal.

Sumário

Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:

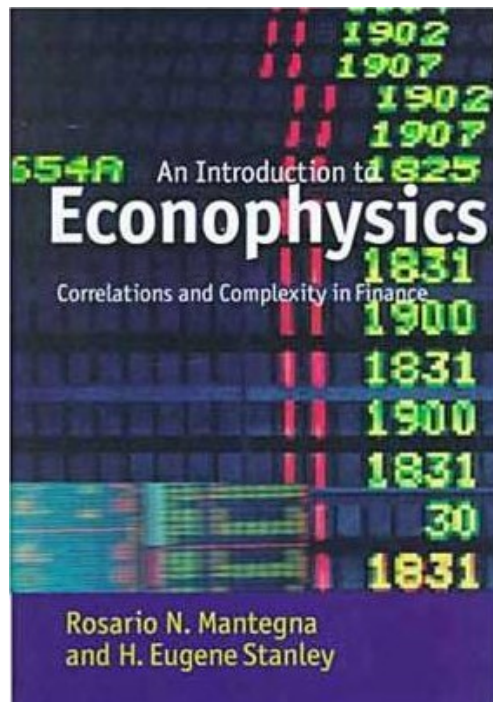
Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;

Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

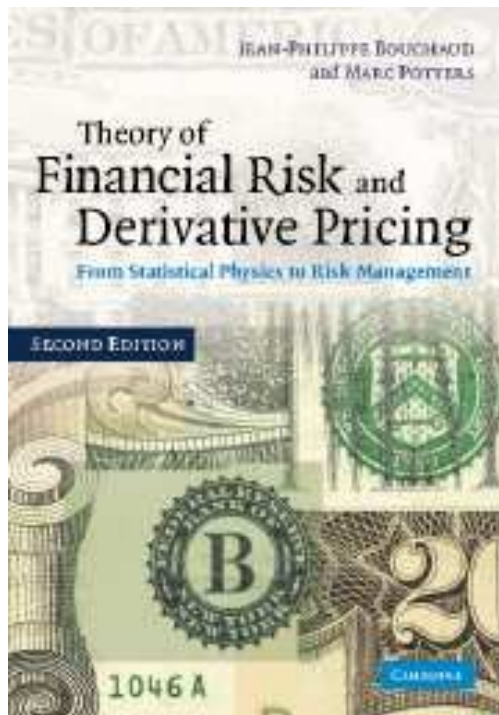
- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**
- **Materiais Granulares:**
 - **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
 - **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**

ECONOFÍSICA



Objetivo:
compreender e modelar o risco e a incerteza associados aos investimentos financeiros.

Métodos:
Análise multidisciplinar (estatística, probabilidade, física estatística, sistemas dinâmicos, processos estocásticos, simulação computacional) utilizando ferramentas da mecânica estatística para o estudo de séries temporais financeiras e o comportamento dos agentes econômicos.



Um dos principais dilemas enfrentados nesta área é a dicotomia entre a teoria econômica clássica, demasiado simplista para reproduzir mercados reais, e a teoria de finanças comportamentais, que utiliza modelos baseados em indivíduos para reproduzir com grau razoável de fidelidade o comportamento observado no mercado.

Entre as estratégias mais comuns encontram-se a integração de equações diferenciais estocásticas, que incorporam uma aleatoriedade aos modelos tradicionais, e a modelagem computacional através de modelos baseados em indivíduos – MBI, que será o caso abordado aqui.

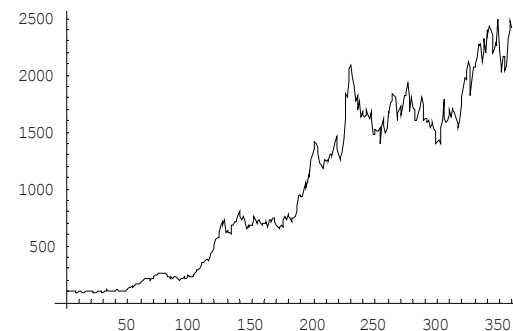
Black-Scholes

S Preço no instante t

μ Tendência (constante)

σ Volatilidade (constante)

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dW$$



COMPORTAMENTO DO INVESTIDOR NA COMPLEXIDADE DO MERCADO DE AÇÕES.

Neste trabalho iremos considerar o mercado como representado por um autômato celular em duas dimensões onde cada sítio representa um investidor. A extensão linear da rede é $L=100$, com $N=10000$ sítios (investidores). As regras de evolução serão determinísticas ou probabilísticas, dependendo do tipo de implementação considerada. Serão testados diferentes estados iniciais para as opções dos investidores. A variável $St(i,j)$ denota a opção do investidor no sítio (i,j) , no tempo t , entre as seguintes opções: Sc (comprar), Sm (manter) e Sv (vender). Utilizamos a vizinhança de Moore, com oito vizinhos, e regras de evolução diferentes para cada caso de comportamento de investimento. De um modo geral, as regras são determinadas pelo estado predominante da vizinhança em um dado passo de tempo. Dessa forma, a opção do investidor no tempo $t+1$ é uma função do estado majoritário entre os vizinhos no tempo t :

Dissertação de **Bruna Amin Gonçalves**, Mestre no Programa de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional do CEFET/MG, bolsista da CAPES junto ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Sistemas Complexos.

Defesa: junho de 2011 – Banca: Daniel Cajueiro – UNB e INCT-SC

Arthur Rodrigo Bosco de Magalhães – CEFET/MG

Rodrigo Tomas Cardoso Nogueira – CEFET/MG

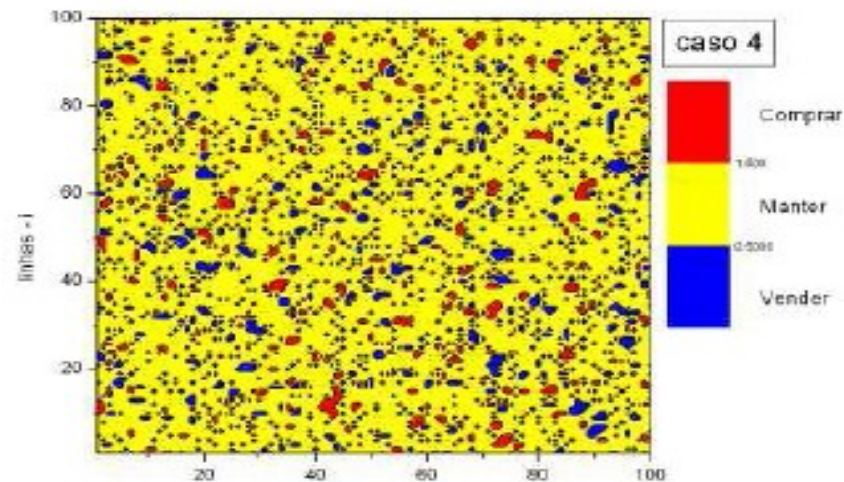
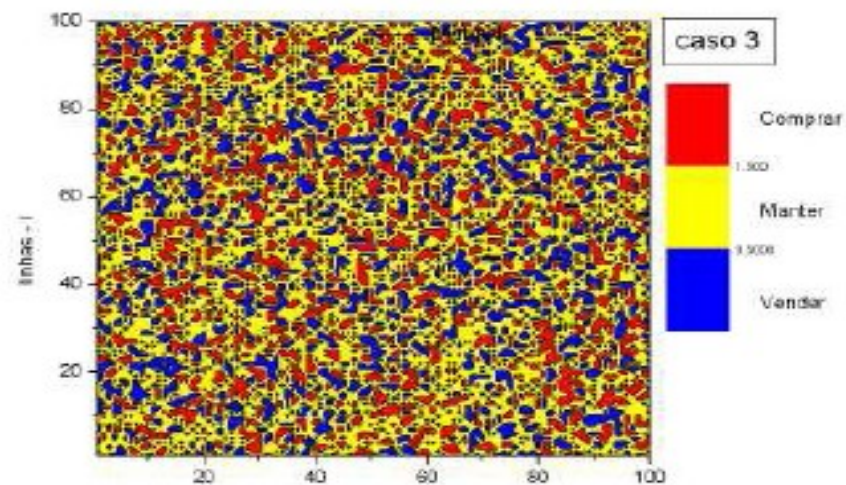
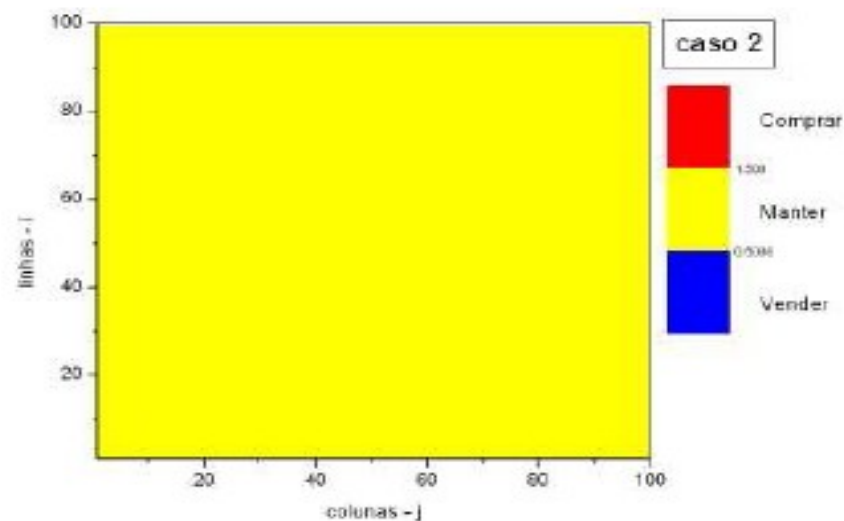
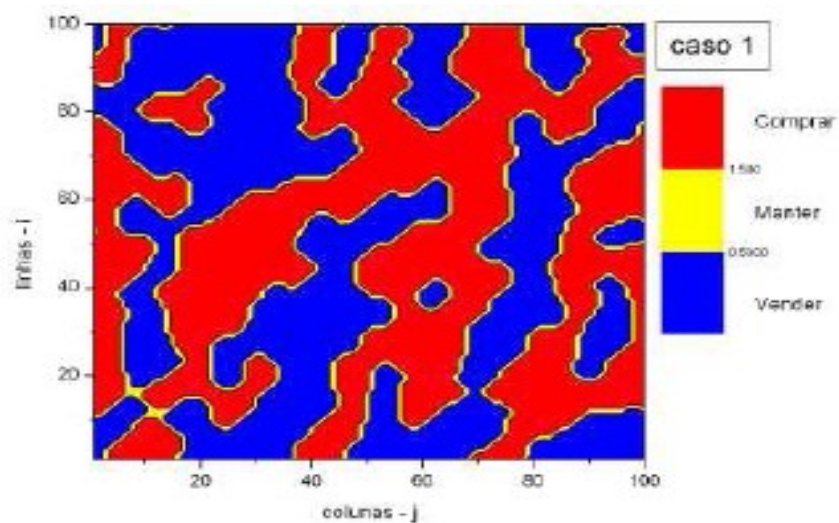
Allbens Atman Picardi Faria – CEFET/MG e INCT-SC - orientador

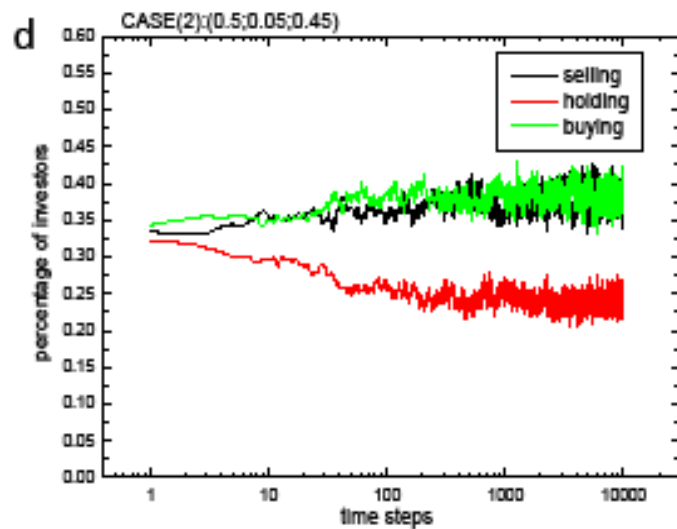
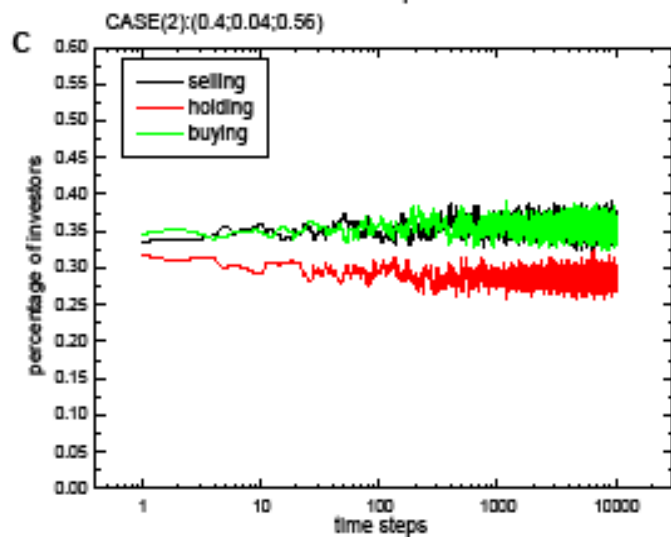
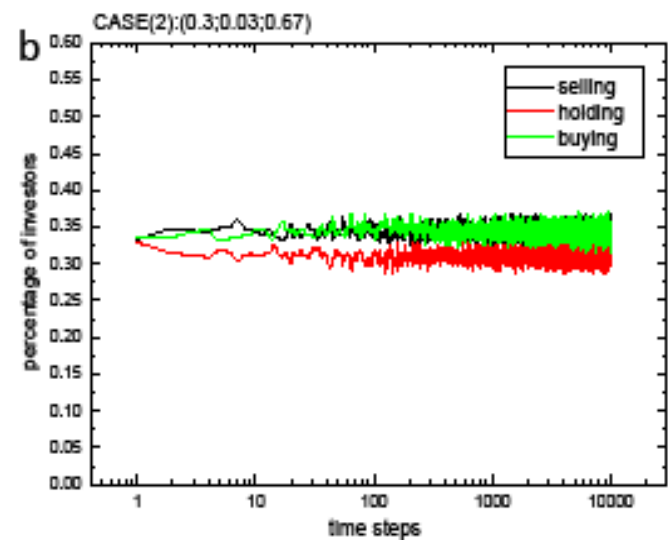
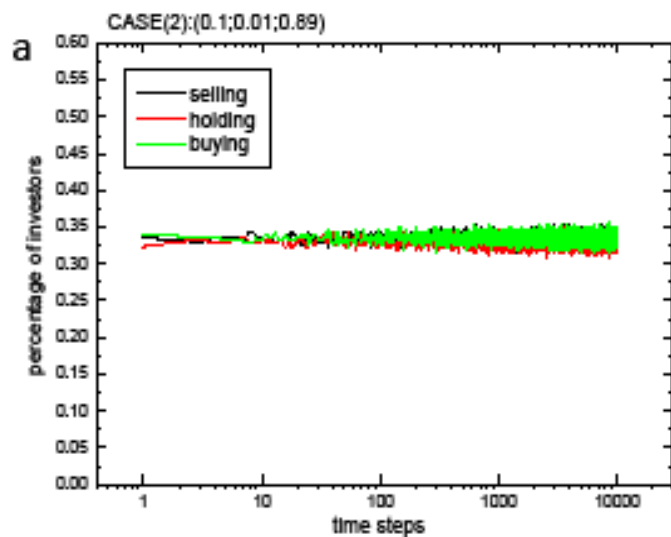
Referência principal:

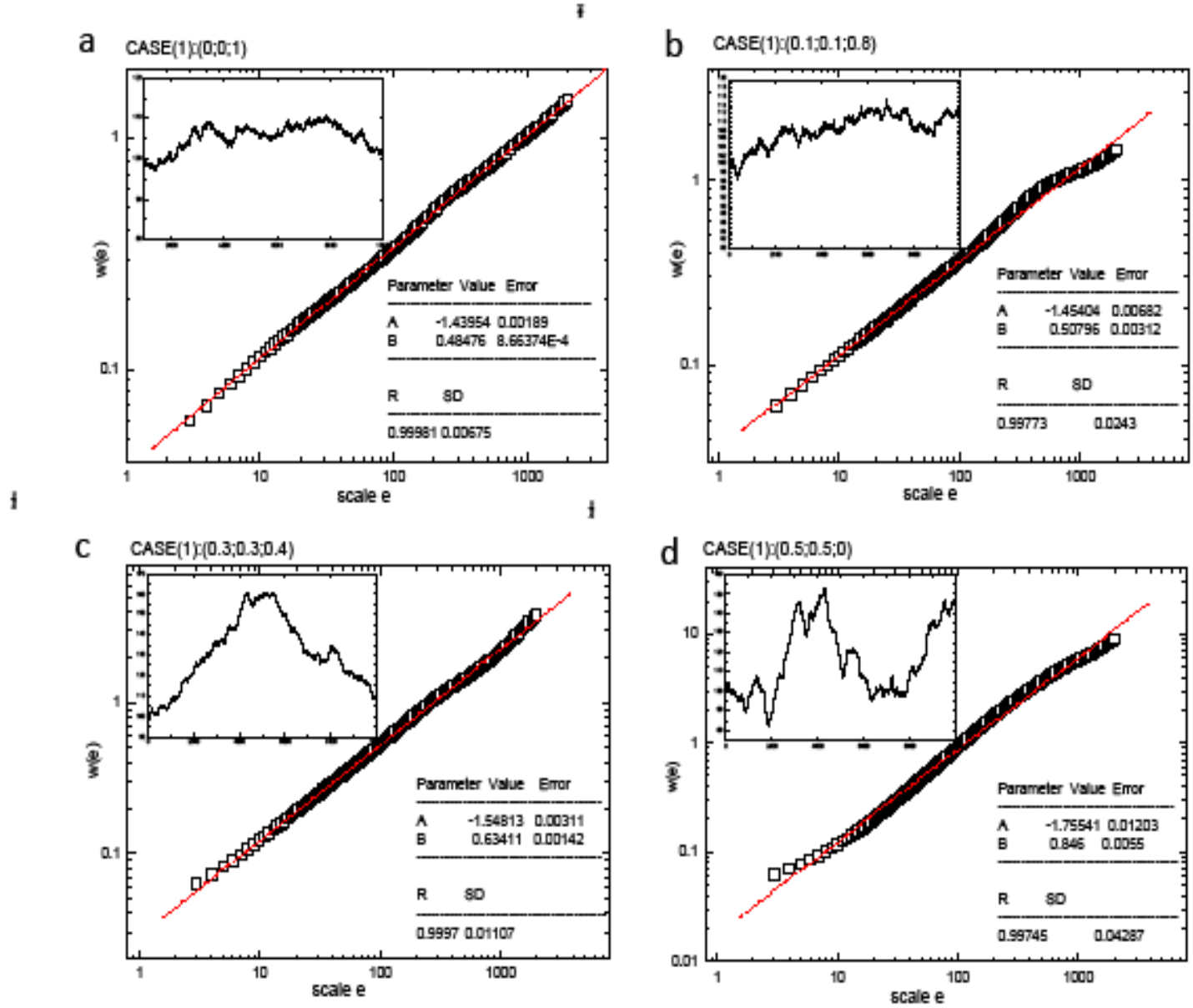
Yi-ming Weia, Shang-jun Yingb, Ying Fana, Bing-Hong Wangc, *The cellular automaton model of investment behavior in the stock market*, Physica A 325 (2003) 507 – 51.

Quatro casos foram simulados:

- (1) 100% imitadores;
- (2) 100% anti-imitadores;
- (3) 100% indiferente;
- (4) 33% imitadores, 33% anti-imitadores, 33% indiferentes.







B. A. Gonçalves ; ATMAN, A. P. F. . *Comportamento do investidor na complexidade do mercado de ações*. In: XIII Encontro de Modelagem Computacional, 2010, Nova Friburgo. Proceedings do XIII Encontro de Modelagem Computacional. Nova Friburgo, 2010. v. único. p. 1-7.

ATMAN, A. P. F. ; Gonçalves, Bruna Amin . Influence of the Investor s Behavior on the Complexity of the Stock Market. Brazilian Journal of Physics (Impresso), v. 42, p. 137-145, 2012.

A.P.F.Atman, Simulações em Sistemas Complexos, INCT-SC, Rio de Janeiro , 02-04 maio de 2012.

MODELAGEM COMPUTACIONAL DA PROPAGAÇÃO DA LEISHMANIOSE

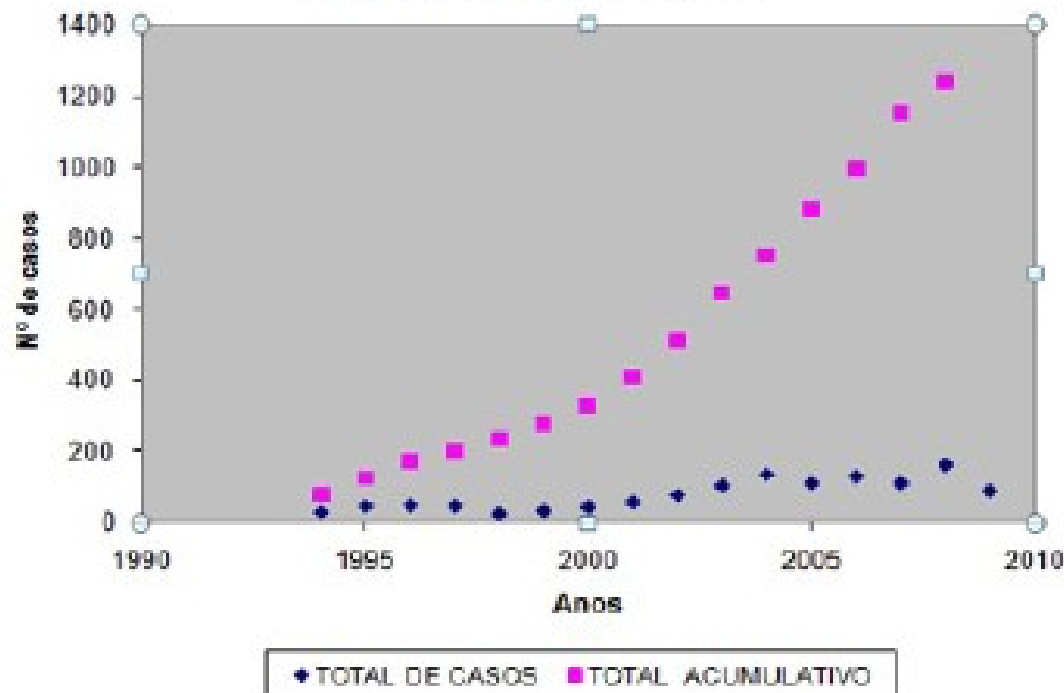
Consideramos o processo de propagação da doença em uma rede, ou seja, tanto os hospedeiros (homem e cachorro) e os vetores (flebotomos) ocupam os sítios de uma rede quadrada; cada sítio pode ser ocupado por mosquitos, humanos, cachorros ou estar vazio. De modo a reproduzir um ambiente próximo de um sistema real, procuramos reproduzir na rede um espaço geográfico, representando, por exemplo, um bairro no qual existem casas com moradores que possuem cachorros e em outras não. Para isto, foi criada uma matriz de dimensões $m \times m$ (onde m é um número múltiplo de quatro) e dividida em blocos. Cada bloco possui dezesseis sítios que representam uma casa; nesta versão simplificada, cada casa possui quatro humanos nos sítios internos, e pode possuir ou não cachorros que ficam nos sítios periféricos. Os hospedeiros são estáticos, ou seja, ocupam sempre os mesmos sítios; no caso dos cachorros, consideramos que cada casa possui apenas um cão, mas este pode ser encontrado em qualquer parte do “jardim”; quando o cachorro é infectado, todos os sítios periféricos são alterados (figura 1). Neste momento, são inseridos os vetores, sorteando-se aleatoriamente a posição inicial para cada um deles. A dinâmica do mosquito consiste em uma caminhada aleatória pela rede, podendo eventualmente picar um dos indivíduos suscetíveis. A morte do mosquito é simulada comparando-se a PM com um número aleatório cujo valor aumenta exponencialmente com o tempo de vida do vetor. Um vetor sadio que pica um hospedeiro infectado torna-se infectado, e se tornar a picar um hospedeiro sadio passa a doença com uma dada probabilidade (PH ou PC). Quando o mosquito pica um hospedeiro, seu tempo de vida é incrementado de forma a simular a alta mortalidade observada nos vetores neste momento. Dessa forma, o modelo proposto é um híbrido pois incorpora características de autômato celular para as regras de transição entre os estados, e o método de Monte Carlo, utilizado para a caminhada aleatória e na morte dos mosquitos

Dissertação de **Cintia Loureiro dos Santos**, defendida junto ao Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional do CEFET/MG em 21 de janeiro de 2011.

Tabela 2.1: Casos de LV em Belo Horizonte no período de 2004 a 2010¹

Distrito	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*	Total
Barreiro	6	6	9	5	10	14	13	63
Centro Sul	5	6	3	5	9	7	2	37
Leste	16	12	9	13	16	8	12	86
Nordeste	24	14	23	21	41	17	18	158
Noroeste	24	17	30	22	29	23	12	157
Norte	22	20	14	12	13	19	9	109
Oeste	10	11	10	7	9	15	14	76
Pampulha	6	10	3	6	5	6	8	44
Venda Nova	21	13	24	17	25	24	13	137
Indeterminado	0	1	3	2	4	11	6	27
Total	134	110	128	110	161	144	107	894
Total Acumulativo	134	244	372	482	643	787	894	

Evolução dos casos



Projeto Financiado
pelo Programa
PESQUISADOR
MINEIRO – 2010
da FAPEMIG

Modelo

Rede quadrada representando a área urbana;

Cada “casa” possui 16 sítios, e cada sítio pode estar vazio (estado 0), ocupado por humano (estado 1) ou ocupado por outro hospedeiro (estado 2);

```
-2-2-2-2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2
-2 1 1-2 2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2
-2 1 1-2 2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2
-2-2-2-2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2

0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2
0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2
0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2
0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2

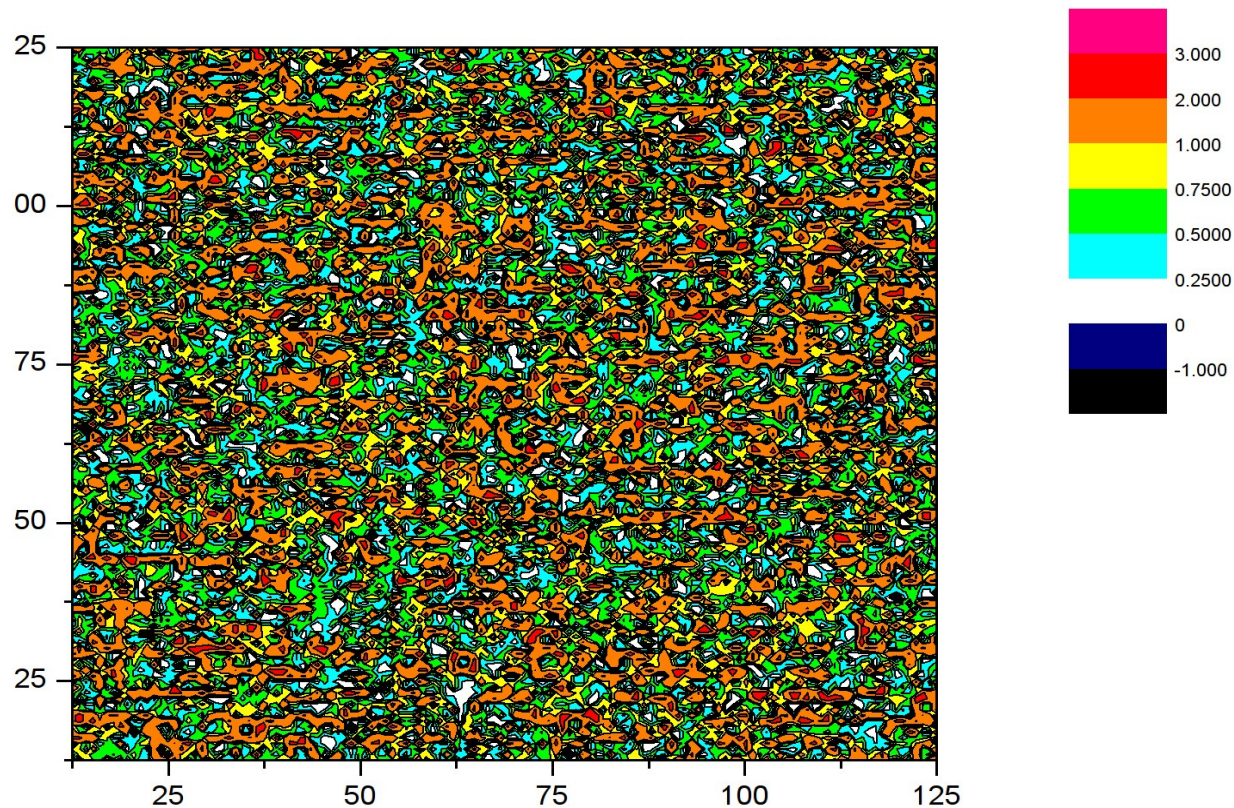
2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0
2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0
2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0
2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0

0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2
0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2
0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 2 1 1 2
0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2

2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2
2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2
2 1 1 2 0 1 1 0 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2 0 1 1 0 2 1 1 2
2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2 0 0 0 0 2 2 2 2
```

Modelo

Estudamos duas situações: região homogênea, onde todos os sítios possuem as mesmas características, e região heterogênea, onde cada sítio possui características únicas - ruído congelado.



Dinâmica dos vetores

Os vetores (mosquitos) podem ocupar qualquer sítio da rede; Inicialmente, N mosquitos são distribuídos aleatoriamente na rede; Em seguida, atualiza-se o estado de todos os mosquitos de forma síncrona;

A cada passo de tempo, é sorteada uma das seguintes ações:

- 1 - mover-se (considerando-se passeio aleatório ou vôo de Lévy);
- 2 - tentar alimentar-se, caso o sítio possua um hospedeiro;
- 3 - depositar ovos, caso esteja devidamente alimentada;

Ao final de cada iteração, implementa-se um sorteio para simular a morte do mosquito com probabilidade de morte proporcional à idade do mosquito;

Após alimentar-se ou depositar ovos, a idade do vetor é incrementada de modo a considerar o risco maior nestas ações.

Dinâmica dos vetores

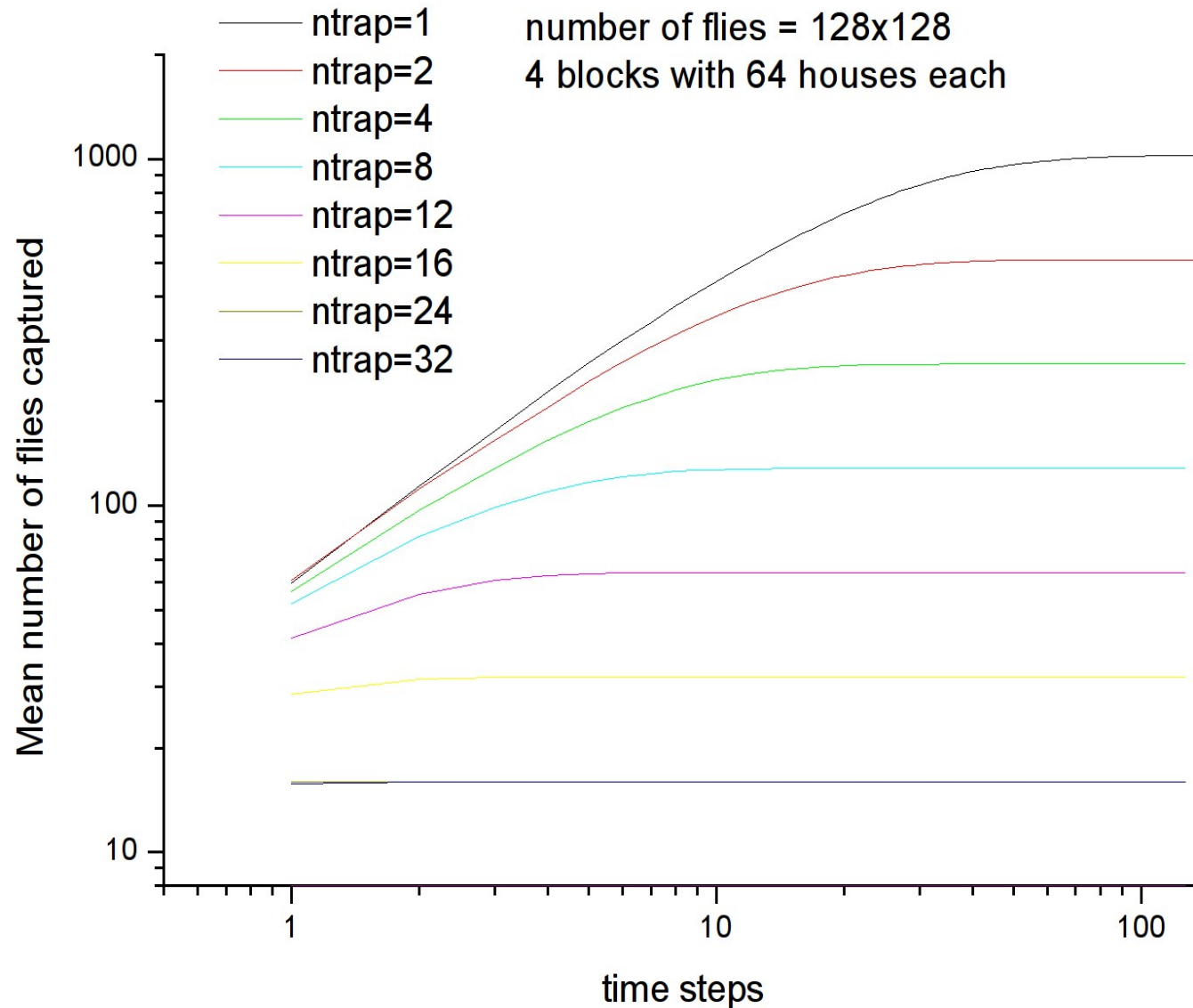
Procuramos inicialmente validar a dinâmica utilizando os resultados empíricos de Eiras et al. para o *Aedes aegypt*.

Consideramos um sistema com 256 casas (16 sítios cada uma) e 128x128 mosquitos, movimentando-se com **passeio aleatório ou vôo de Levy**;

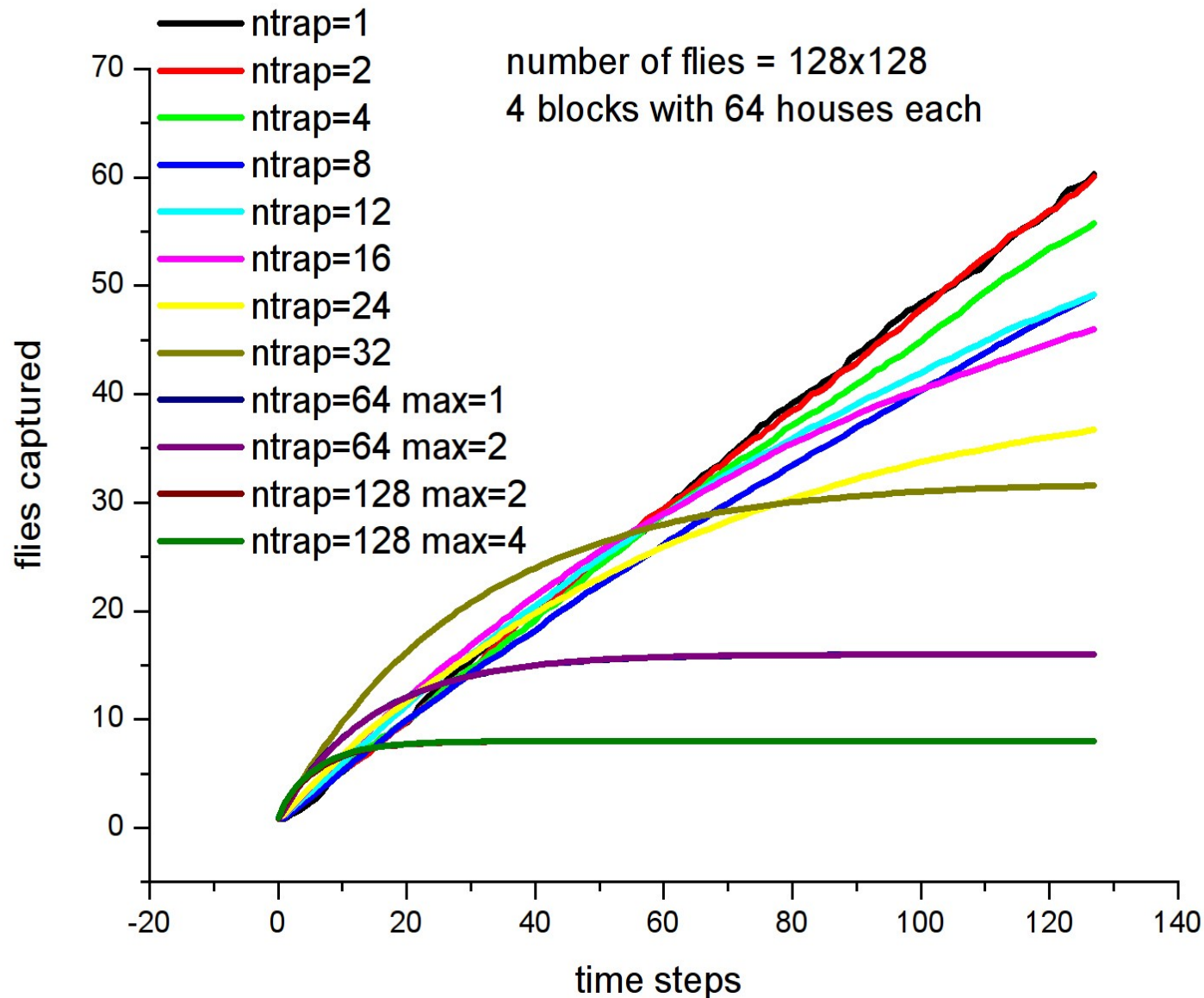
Inicialmente estudamos apenas a dinâmica dos mosquitos sem considerar hospedeiros ou reprodução (equivalente ao estudo de uma geração de mosquitos);

Distribuimos aleatoriamente na rede armadilhas para capturar os mosquitos; o sistema foi dividido em 4 blocos de 64 casas cada e variamos o número de armadilhas por bloco.

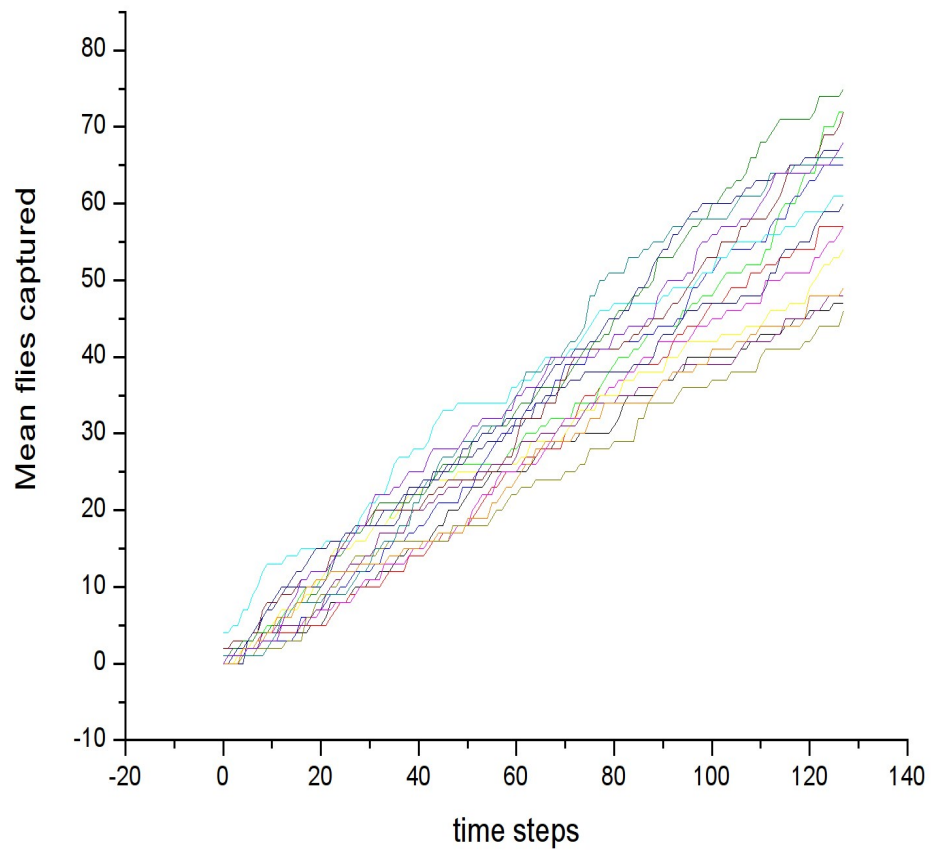
Resultados: região homogênea



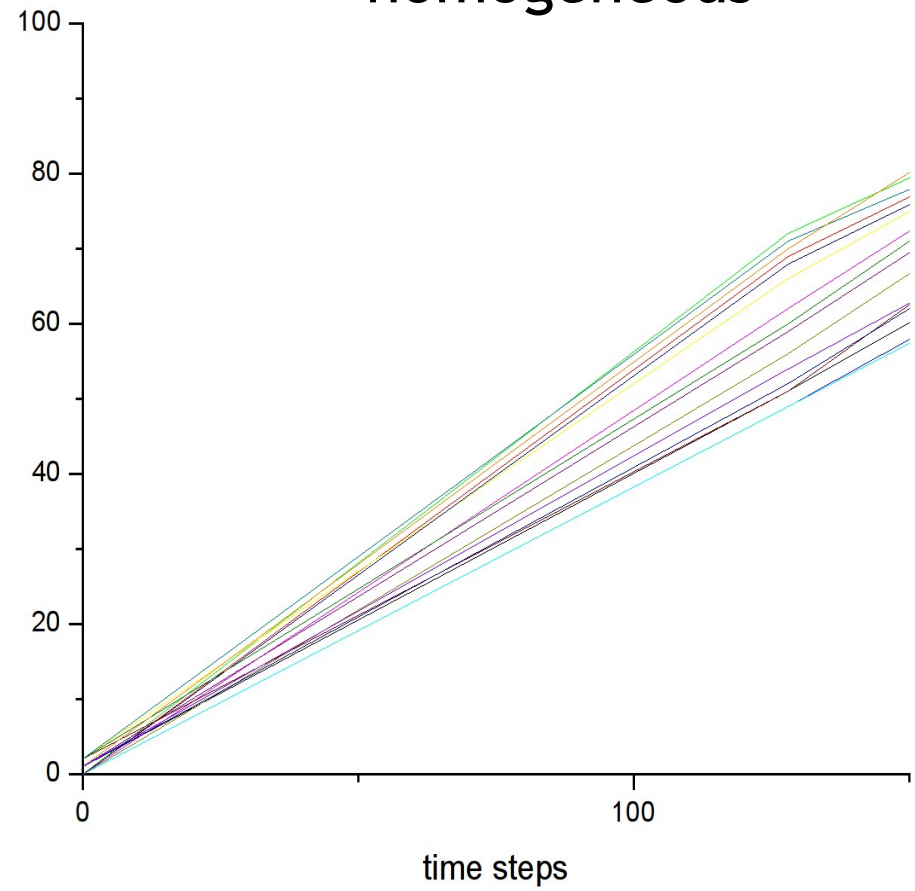
Resultado: ruído congelado

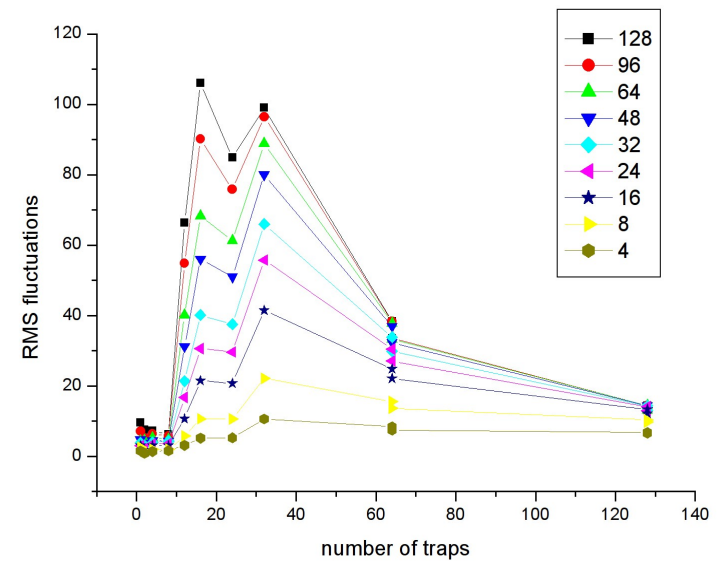
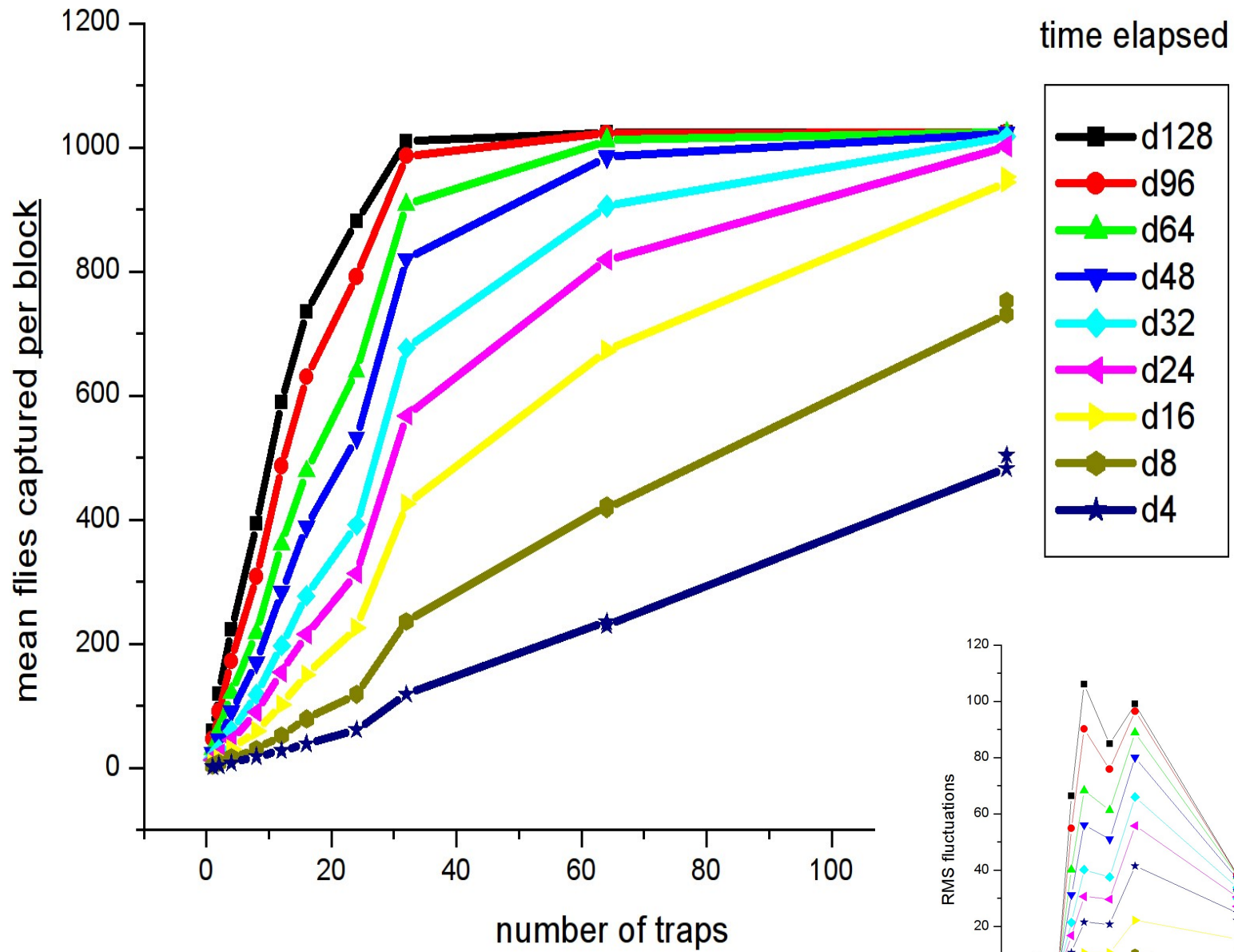


quenched

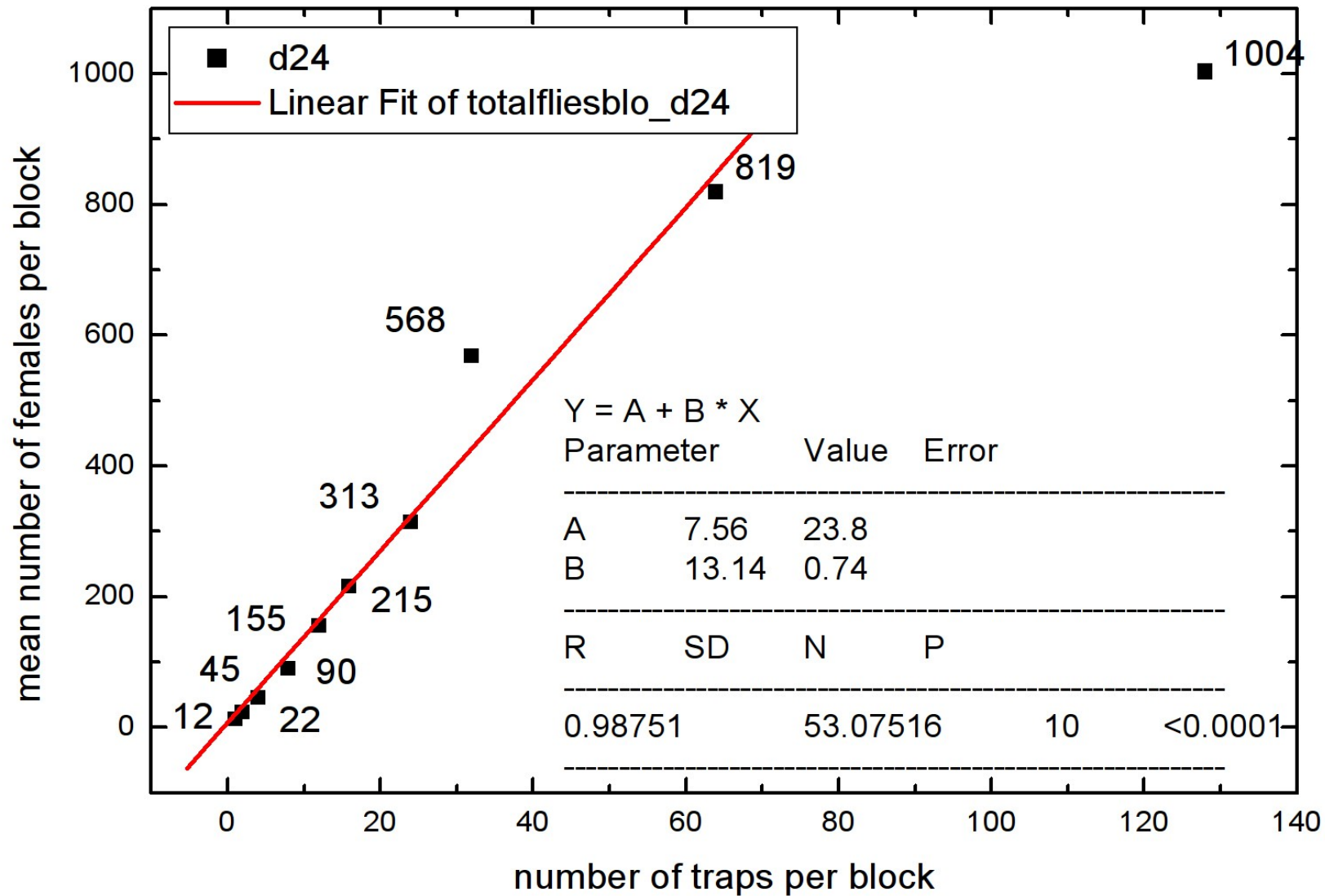


homogeneous





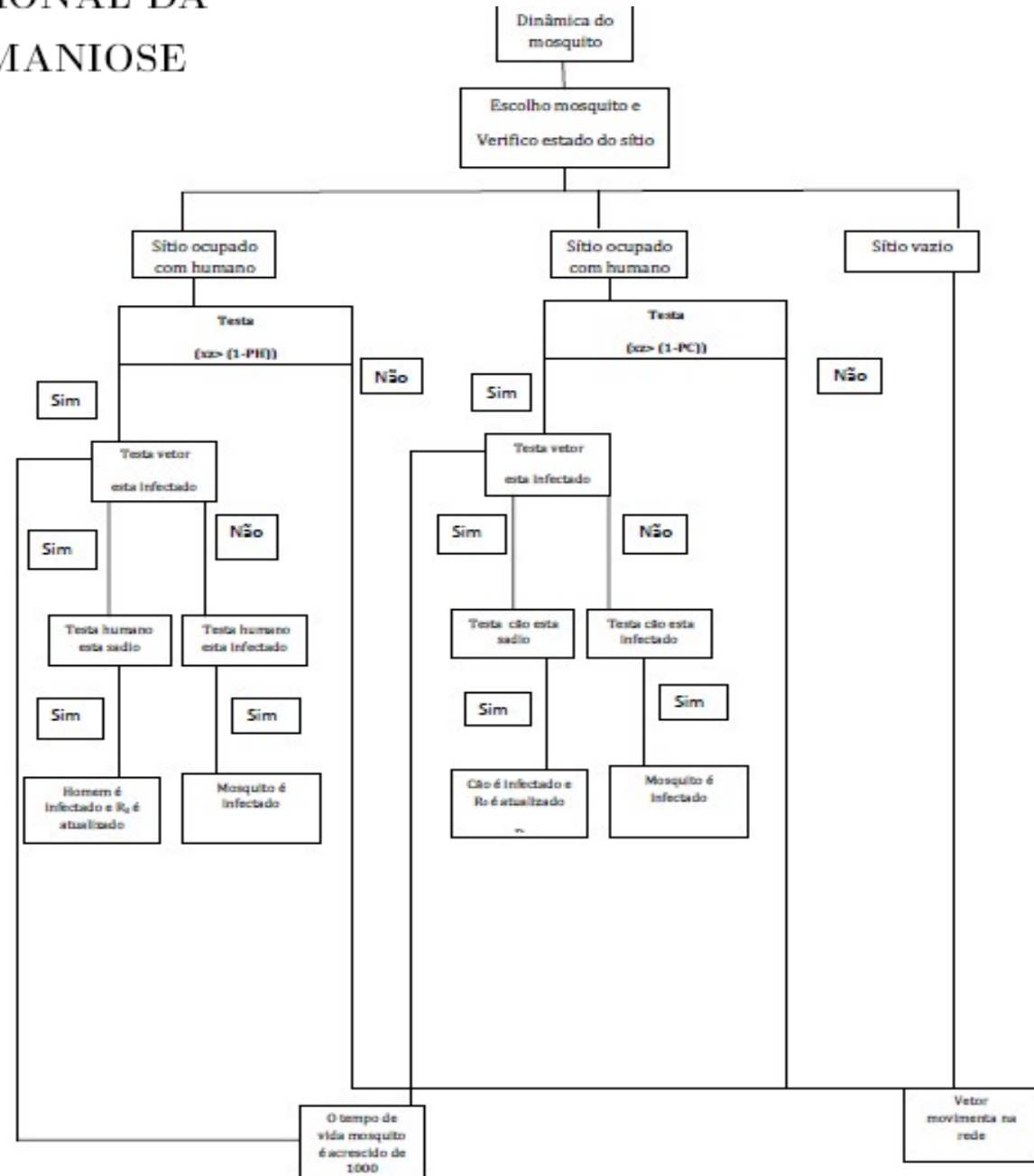
Resultado Experimental



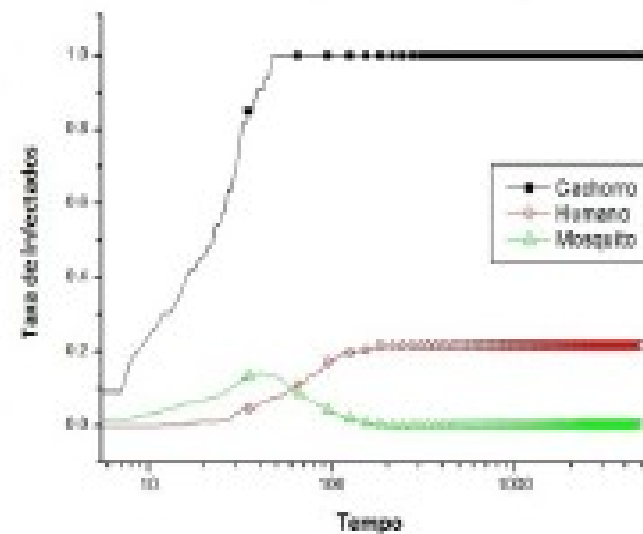
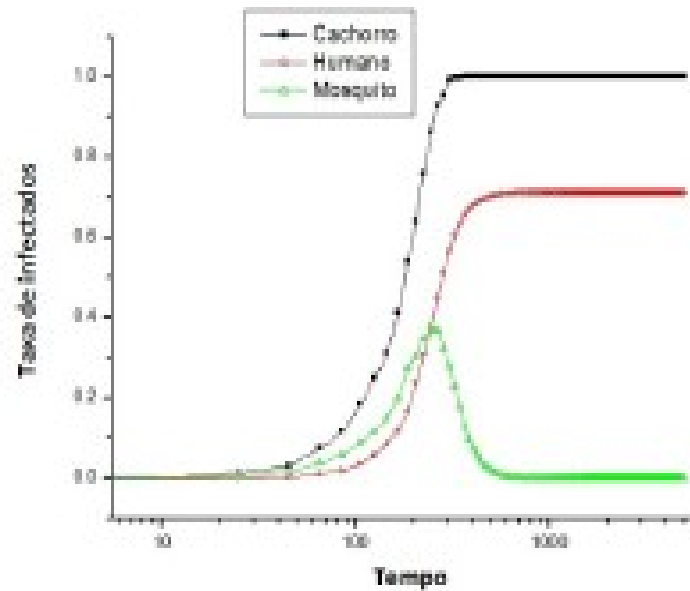
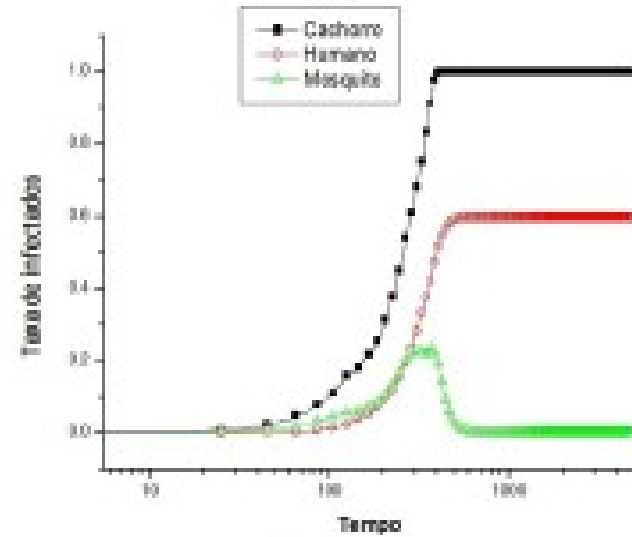
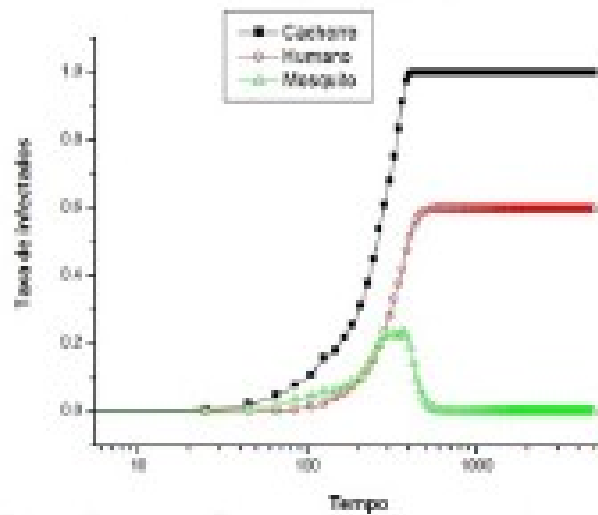
MODELAGEM COMPUTACIONAL DA PROPAGAÇÃO DA LEISHMANIOSE

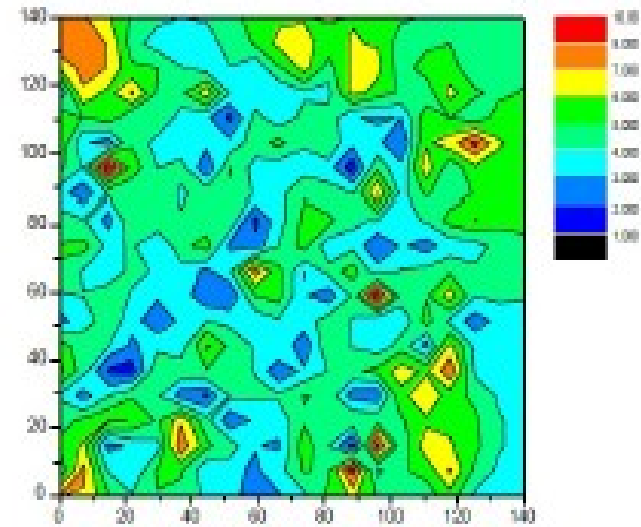
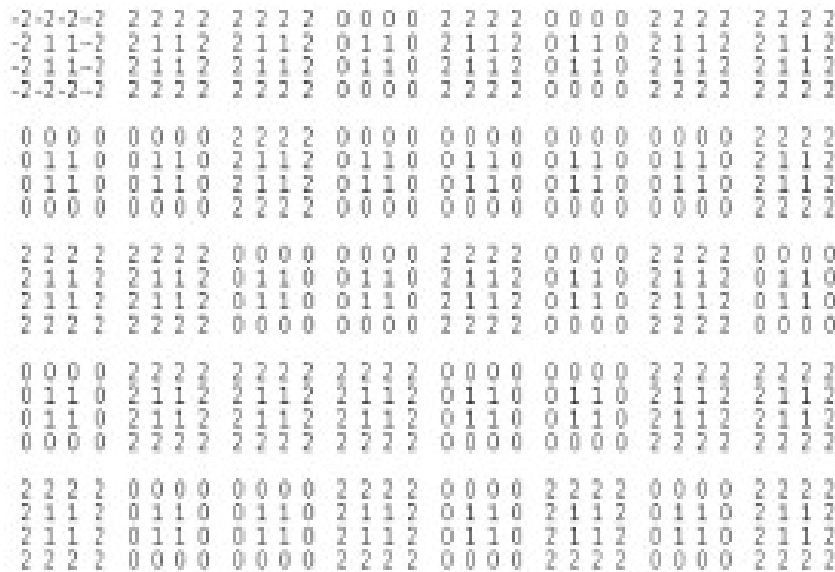
Dissertação de Mestrado:
Cintia Loureiro dos Santos

Defesa: janeiro 2011



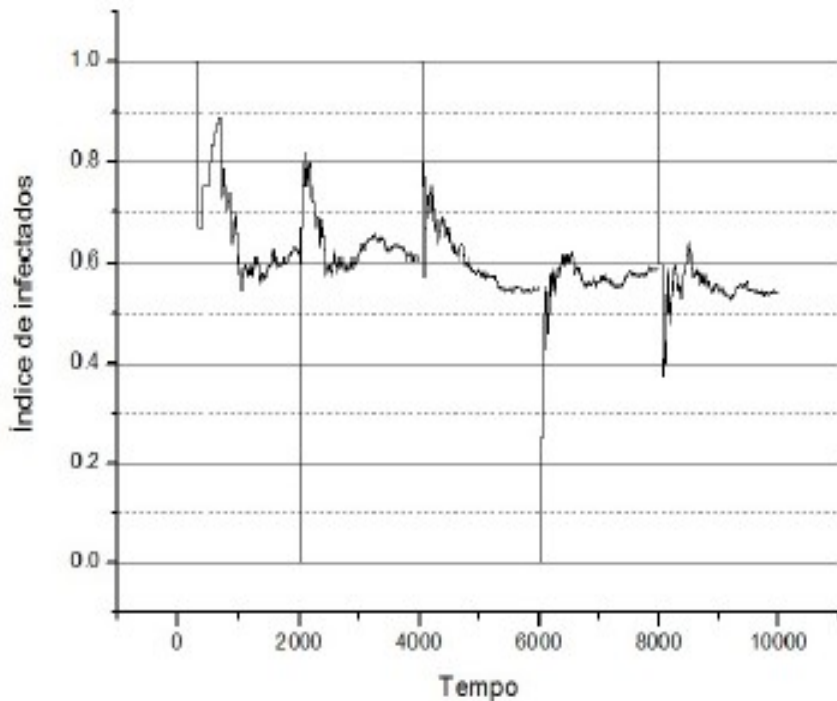
Resultados:



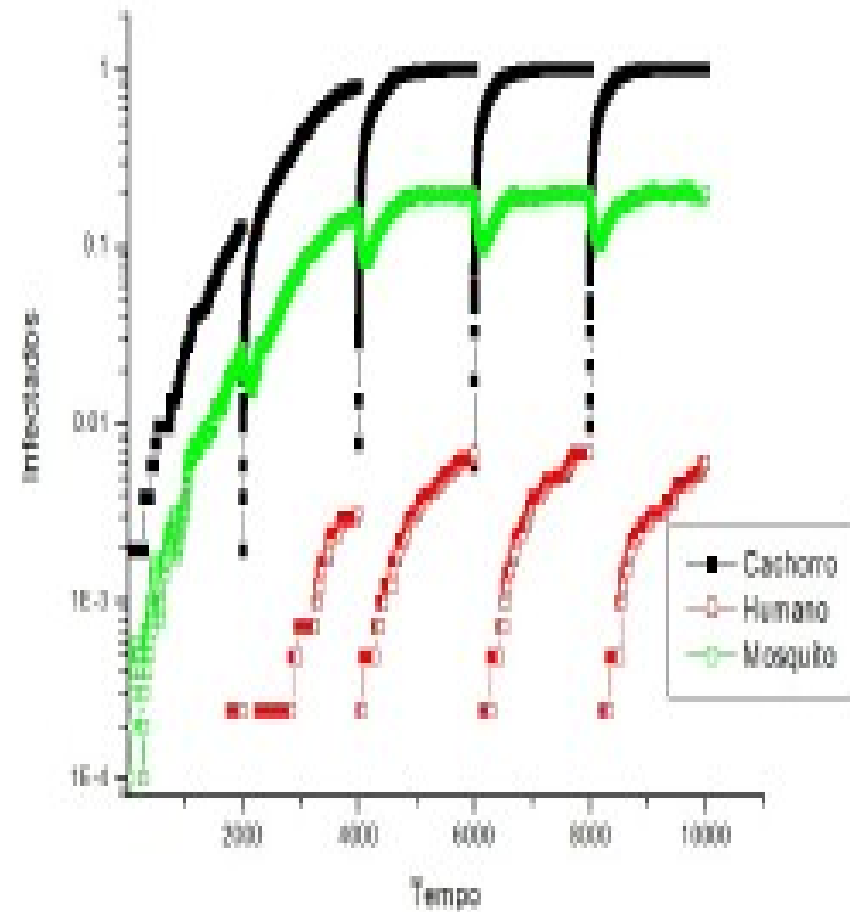
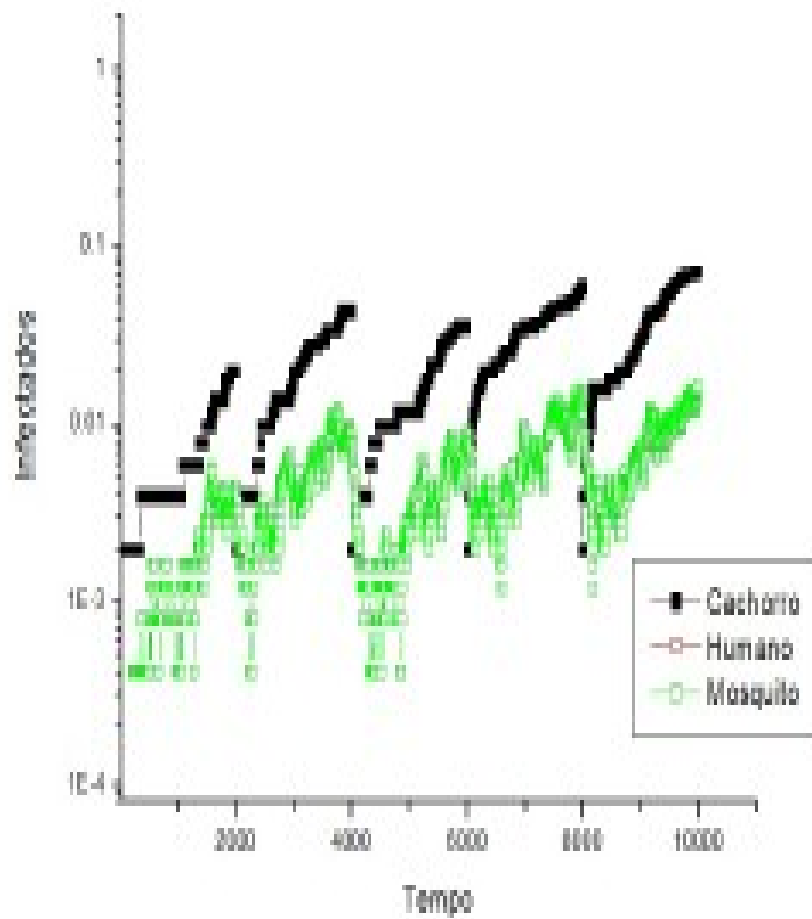


Reprodutibilidade basal R_0

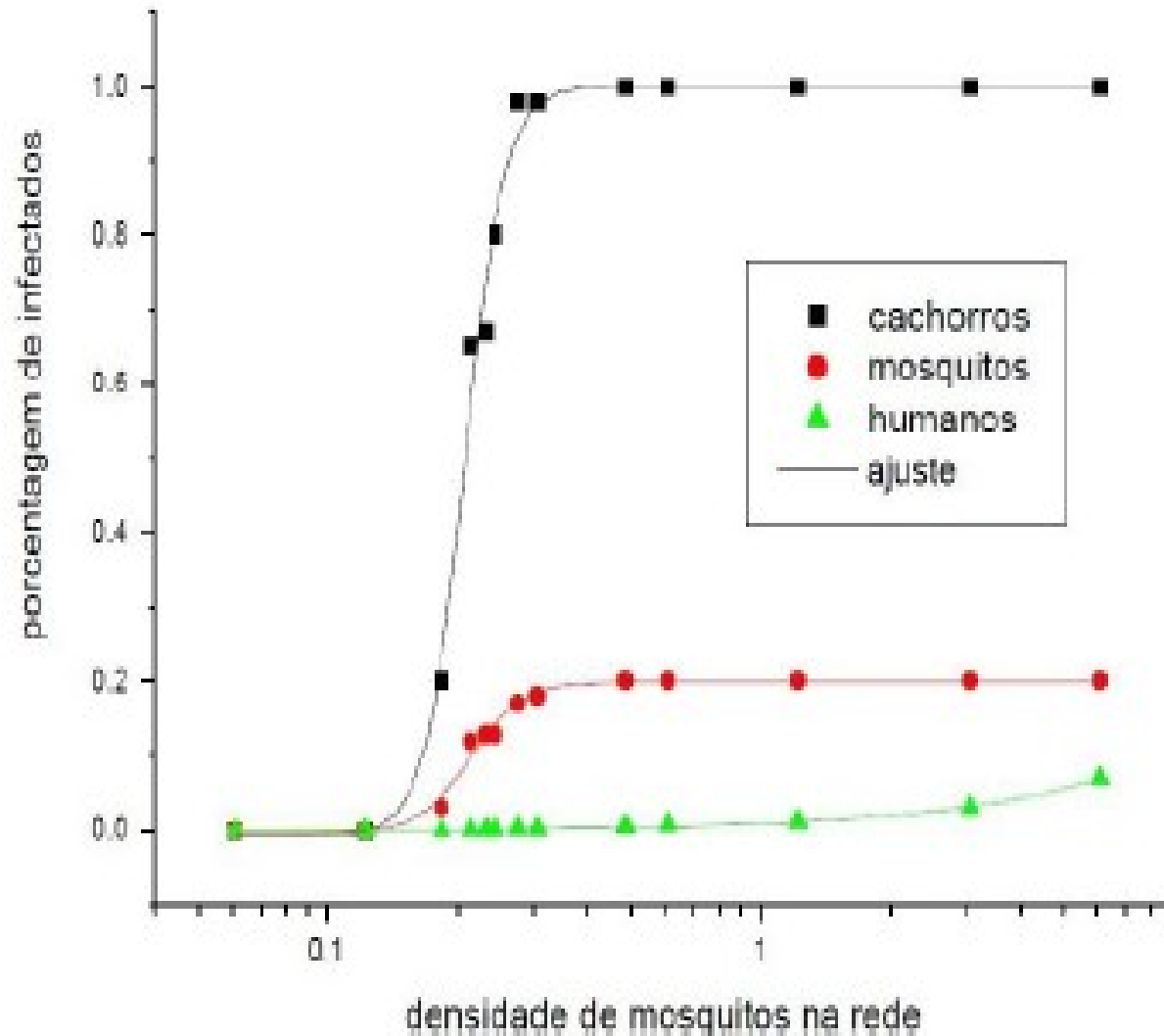
Conjectura: residentes em casas com cachorro possuem maior probabilidade de contrair leishmaniose?



Estratégias de controle: eliminação dos infectados

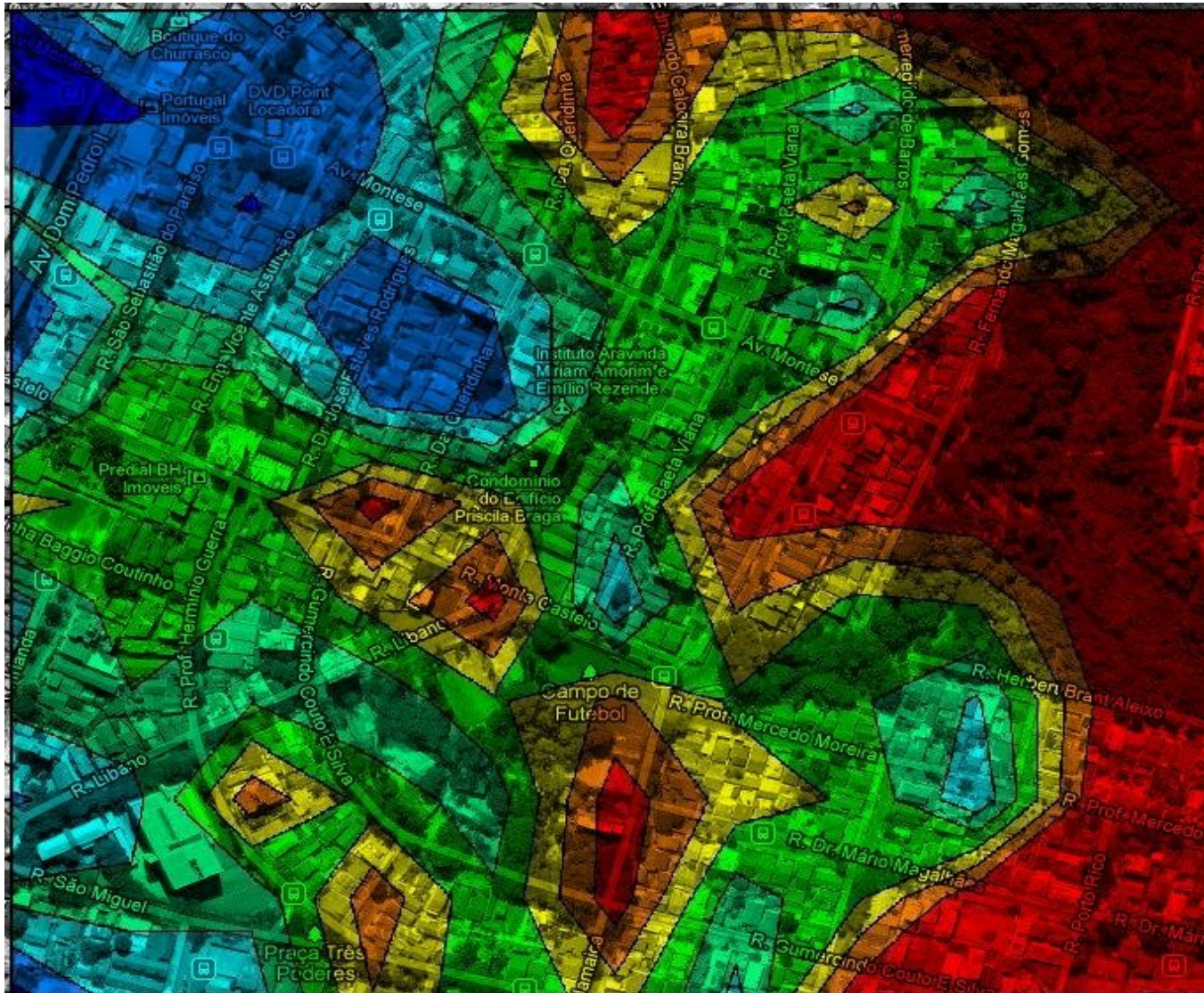


Síntese: Diagrama de Fases



Objetivos:

- Aplicar a **modelagem** ao caso **real** do Bairro Itapõa;
- Testar **estratégias** de **controle** do mosquito;
- Simular técnicas de **coleta** de vetores e de **controle** de **infectados**;



Google
Maps
+
Ruído
Congelado

Sumário

Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:

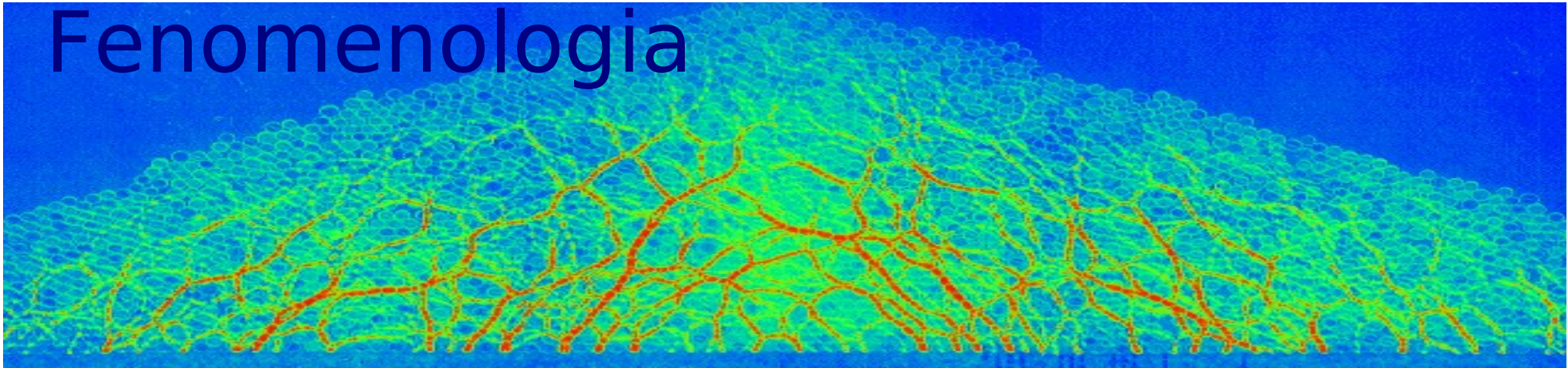
Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;

Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**
- **Materiais Granulares:**
 - **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
 - **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**

Fenomenologia



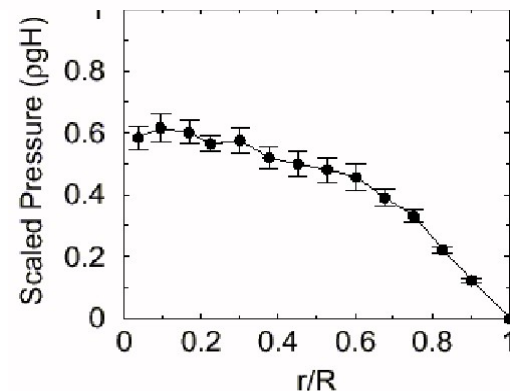
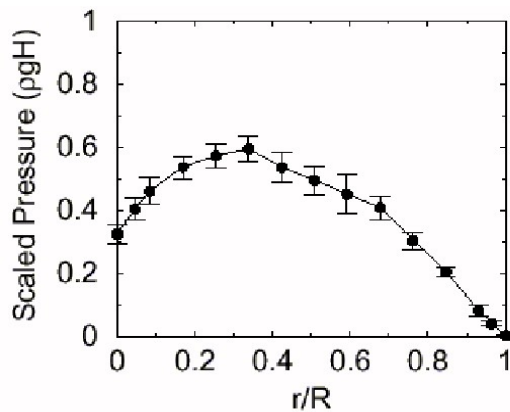
Distribuição de tensões **depende da história da preparação**

Vanel et al. PRE **60** R5040 (1999)

Deposição por fonte única (funil):
queda na pressão axial

Sandpile Stress Dip Effect

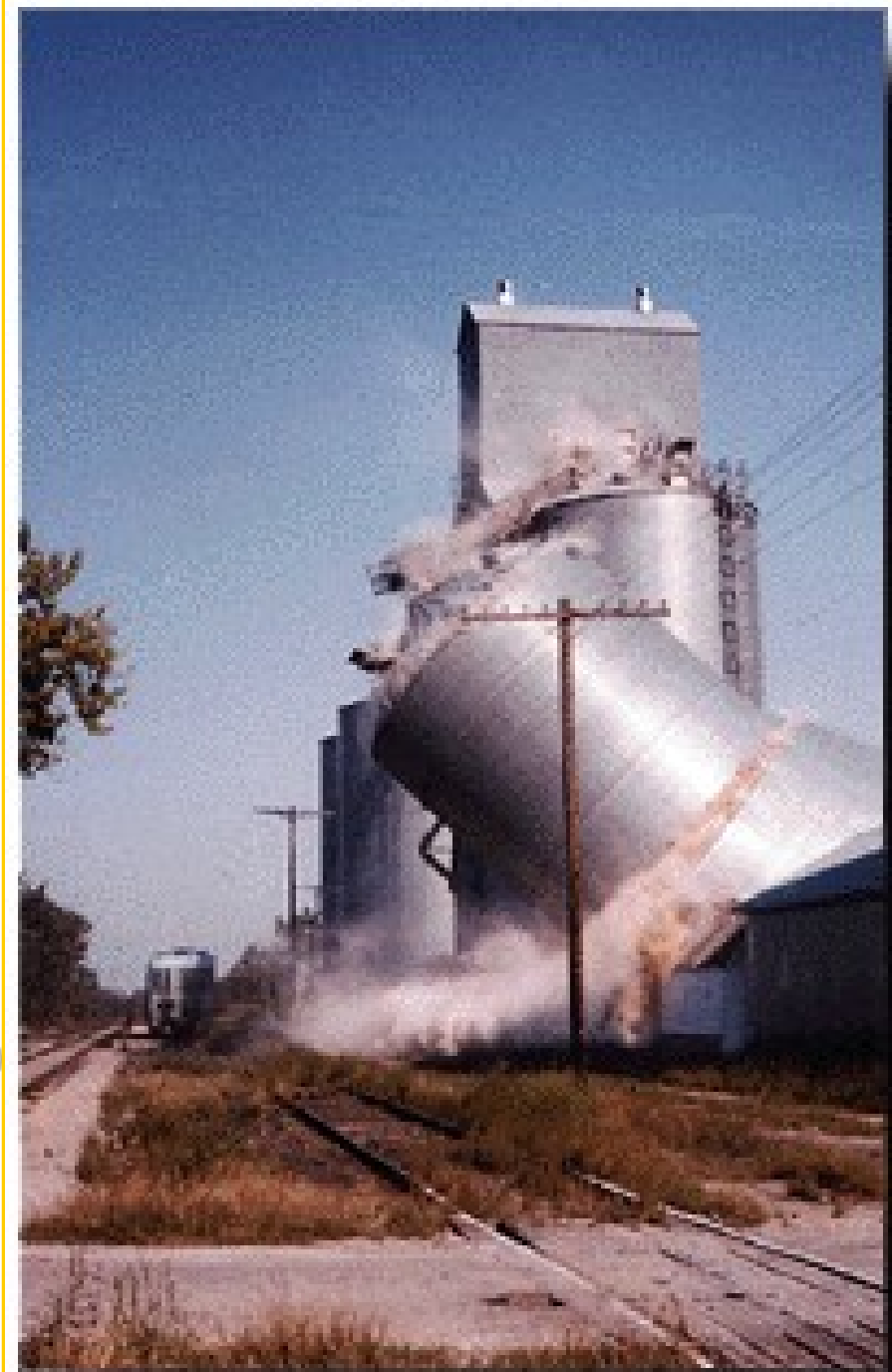
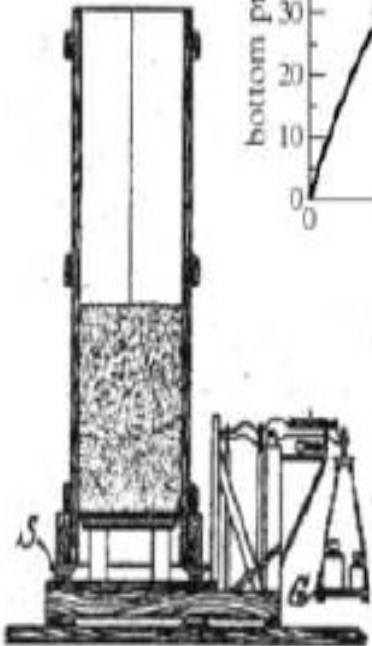
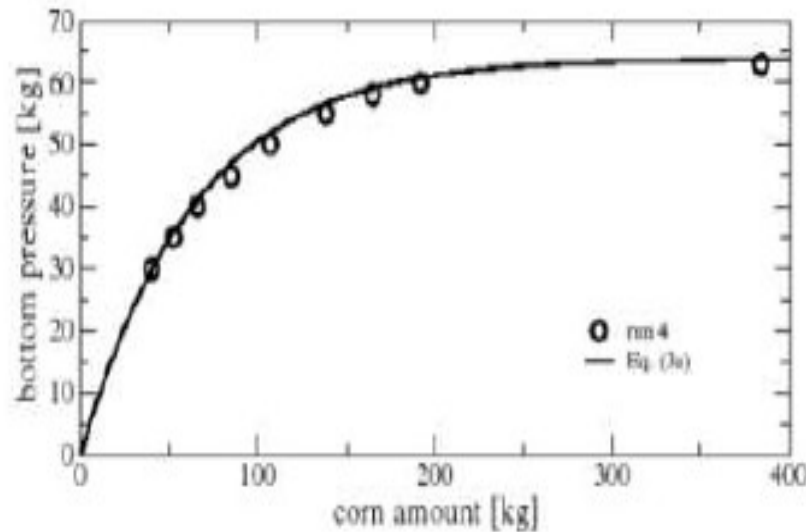
Deposição homogênea (peneira):
Não há queda na pressão axial



Fenomenologia

Fluidização de um meio granular;

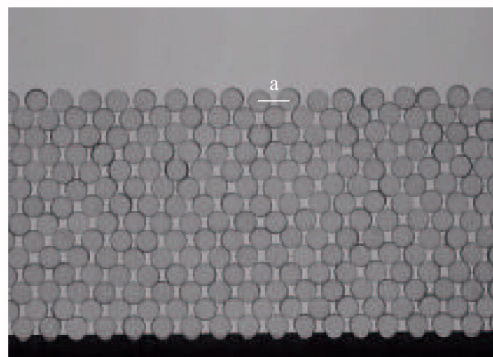
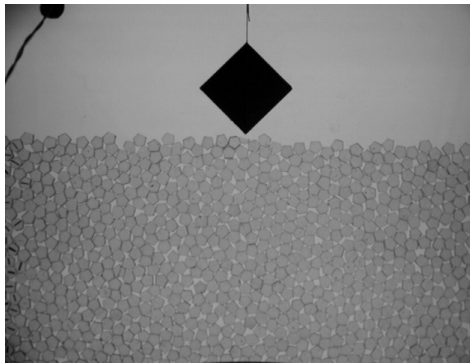
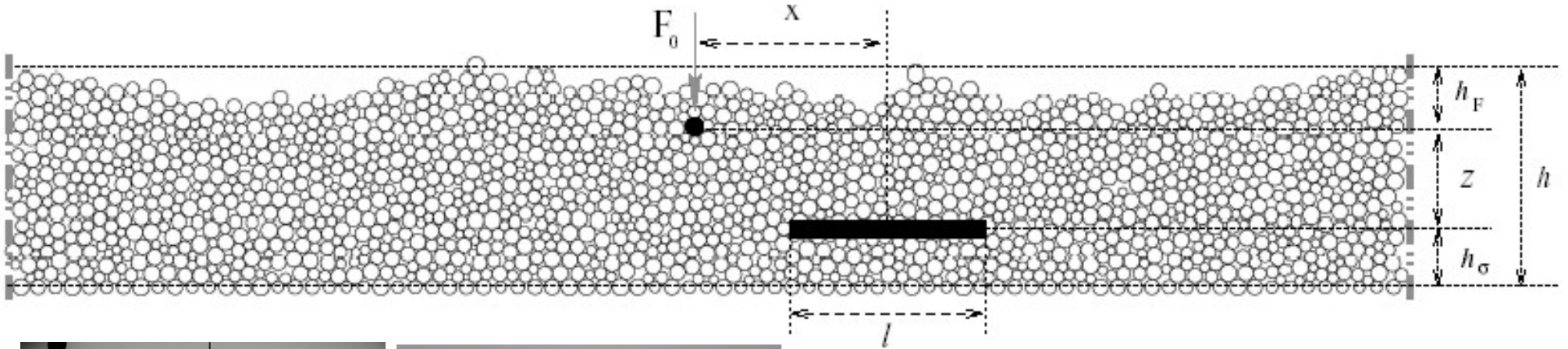
Efeito Janssen



Conceitos Básicos

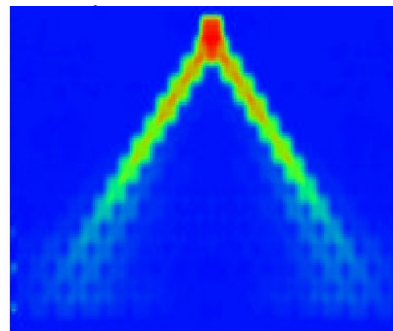
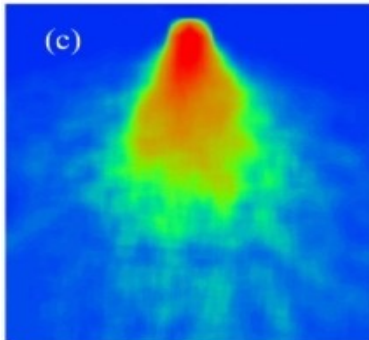
Função resposta a tensões

“Assinatura” da textura do empilhamento ?



Três abordagens:

experimentos[1];
modelos[2,3];
simulações;



- [1] Geng et al PHYSICA D **182**, 274 (2003)
- [2] Wittmer, J. P., Claudin, P., Cates, M. E. & Bouchaud, J.-P. NATURE **382**, 336-338 (1996).
- [3] Claudin P, Bouchaud J-P, Cates ME and Wittmer J P Models of stress fluctuations in granular media PHYS REV E **57** 4441-57 (1998)

Fragilidade dos Materiais Granulares



Philippe Brunet
Guillaume Reydellet
Evelyne Kolb
Philippe Claudin
Eric Clément

PMMH/ESPCI – CNRS – Paris VI

Gaël Combe

*Laboratoire Interdisciplinaire de
Recherche Impliquant la Géologie et
la Mécanique - LIRIGM,
Grenoble*

Junfei Geng
Bob Behringer
Duke University

Isaac Goldhirsch
Chay Goldenberg
Tel Aviv University

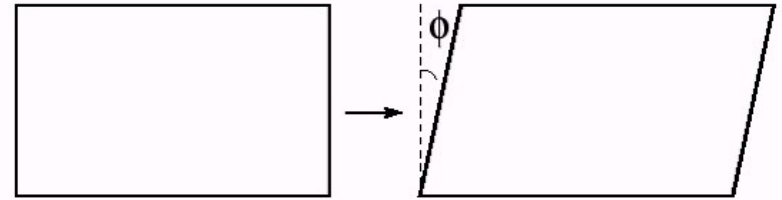
A.P.F. Atman

Humberto Alencar de Paiva - CEFET/MG
Rosiene Correa Ruiz – Mestrado CEFET/MG
Caio Franca M. Magalhães – Doutorado UFMG
Nathália Melo M. Paixão - PIBIC FAPEMIG
Gustavo Henrique B. Martins - PIBIC – FAPEMIG
Gabriela Moreira Lana – PIBIC FAPEMIG
Jéssica Agnes de A. Barros – PIBIC FAPEMIG
Isadora Cota Carvalho – PIBIC FAPEMIG
Gabriela de Oliveira Souza- PIBIC CNPq

CEFET-MG

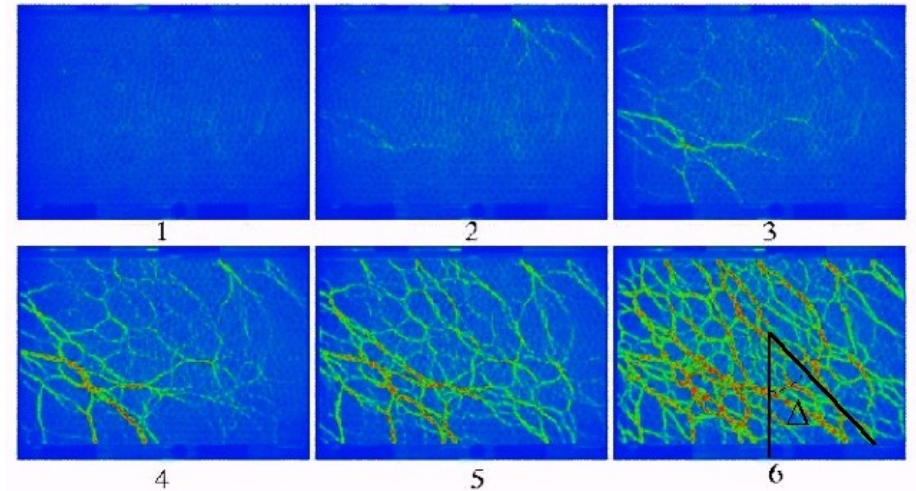
Desvio na função resposta devido à deformação por cisalhamento

Cisalhamento de uma célula 2D: $\phi=5$

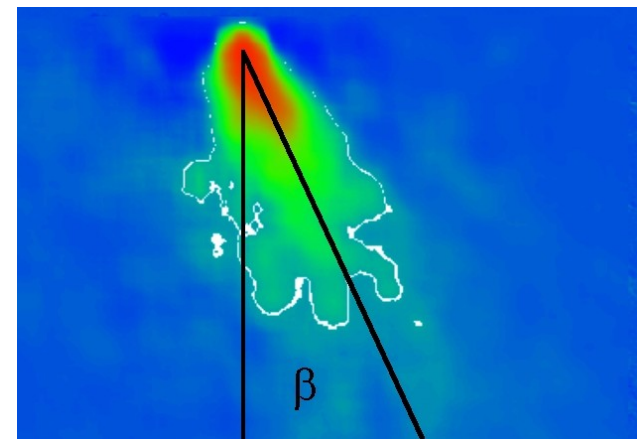


Interior: empilhamento de pentágonos fotoelásticos

Desvio na orientação das cadeias de força devido ao cisalhamento: $\Delta = 45^\circ$



Desvio na orientação da função resposta:
 $\beta = 22^\circ$ (2D)
 $\beta = 8^\circ$ (3D)



Geng et al., PHYSICA D **182**, 274 (2003)

Em síntese

- A textura é sensível a deformações/tensões externas, induzindo fortes efeitos macroscópicos na distribuição de tensões

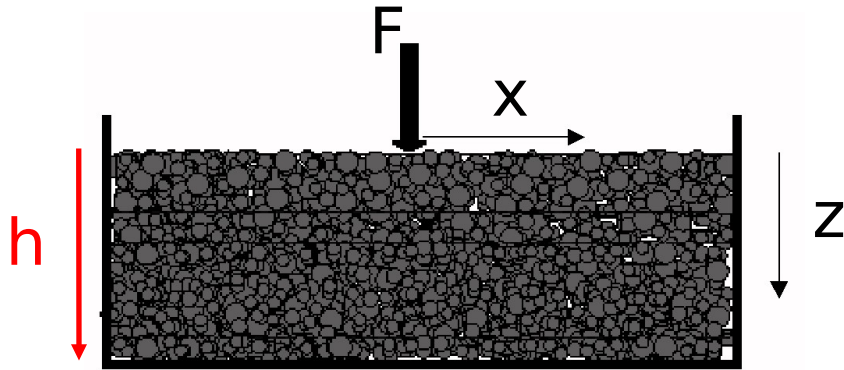
Distribuição de contatos
Orientação das cadeias de forças

- Elasticidade isotrópica é uma abordagem compatível mecanicamente?

Podemos modelar a dinâmica dos coeficientes constitutivos em relação à evolução da textura devido aos esforços externos?
Um passo para compreender a plasticidade granular...

From the stress response function (back) to the sandpile pressure 'dip',
A. P. F. Atman, G. Reydellet, P. Brunet, P. Claudin, J. Geng, R. P. Behringer and E. Clément, EUR. PHYS. J. E, **17**, 93-100 (2005).

Elasticidade Isotrópica



E : módulo de Young

ν_p : razão de Poisson

D : dimensão espacial

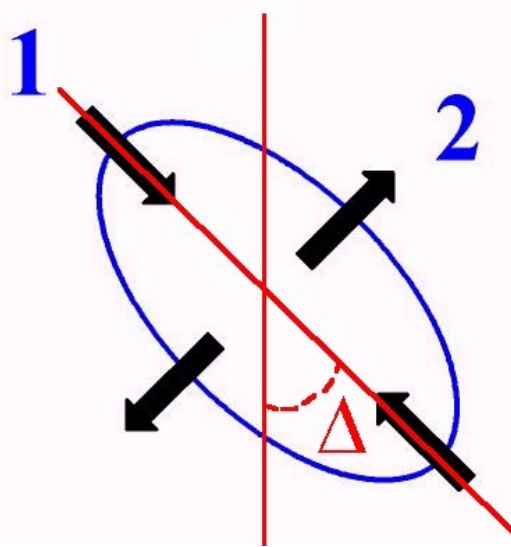
- espaço semi-infinito

$$z^{D-1} \sigma_{ij} = F \Phi_{ij}^{\infty} \left(\frac{x}{z} \right)$$

- empilhamento finito de espessura h

$$h^{D-1} \sigma_{ij} = F \Phi_{ij} \left(\frac{x}{h}, \nu_p \right)$$

Modelo Elástico Anisotrópico



2D Simplified Elastic Model
(modelo elástico simplificado)

Módulos de Young

1 direção 'dura' : E_1

2 direção 'macia' : $E_2 < E_1$

Δ : direção de **ortotropia**
eixo de rotação simétrico

$\Delta = 45^\circ$ a partir da direção de cisalhamento

$$E_{iso} = (E_1 + E_2) / 2 = const$$

$$\nu_p = (\nu_1 + \nu_2) / 2$$

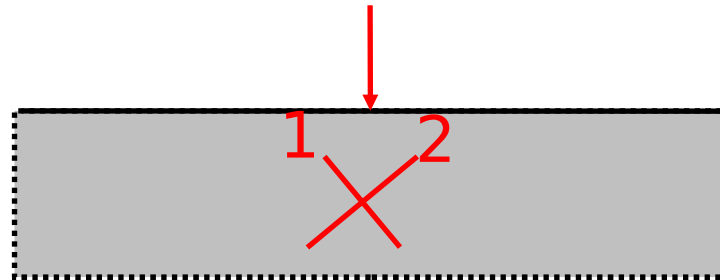
$$G = \frac{E_{iso}}{2(1 + \nu_p)}$$

Elasticidade Anisotrópica

$$\begin{pmatrix} \sigma_{22} \\ \sigma_{11} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} = \frac{1}{(1 - \nu_1 \nu_2)} \begin{pmatrix} E_2 & \nu_1 E_2 & 0 \\ \nu_2 E_1 & E_1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(G(1 - \nu_1 \nu_2)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \end{pmatrix}$$

Para plano semi infinito

Otto et al. PRE 67,031302 (2003)



Duas variáveis independentes

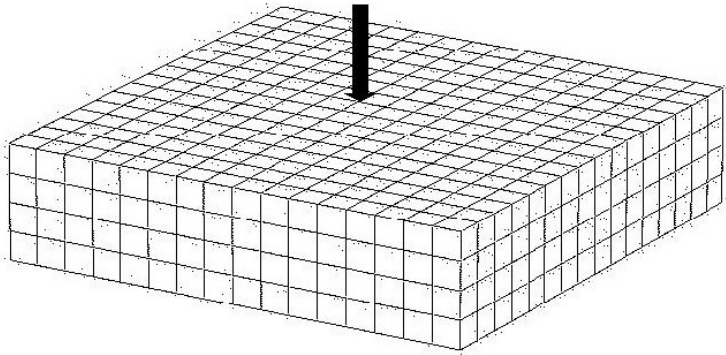
$$t = E_2 / E_1 = \nu_2 / \nu_1$$
$$r = \frac{1}{2} E_2 \left(\frac{2}{G} - \frac{\nu_1}{E_1} - \frac{\nu_2}{E_2} \right)$$



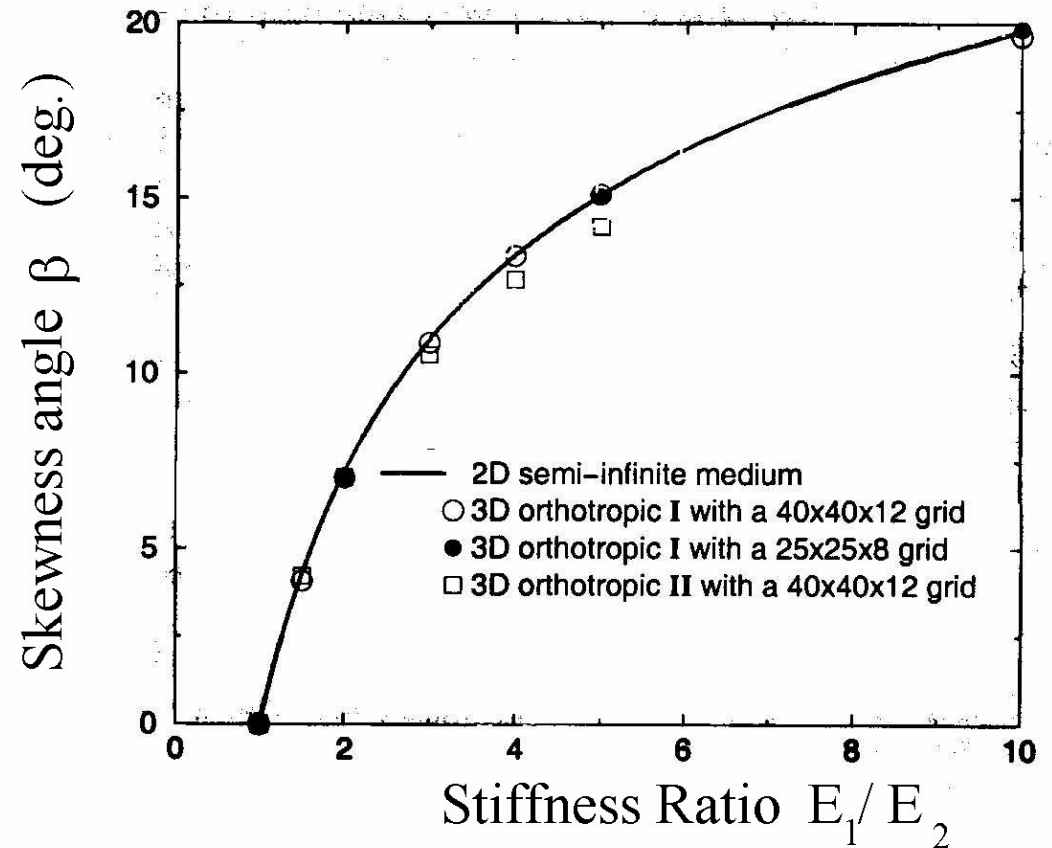
Generalização 3D

SEM: Cálculos por elementos finitos

(CAST3M)

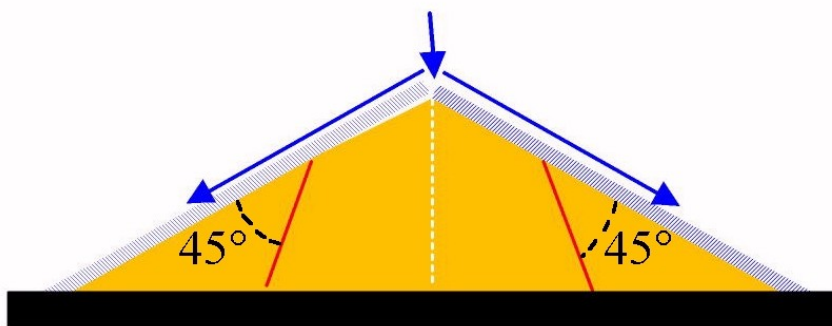
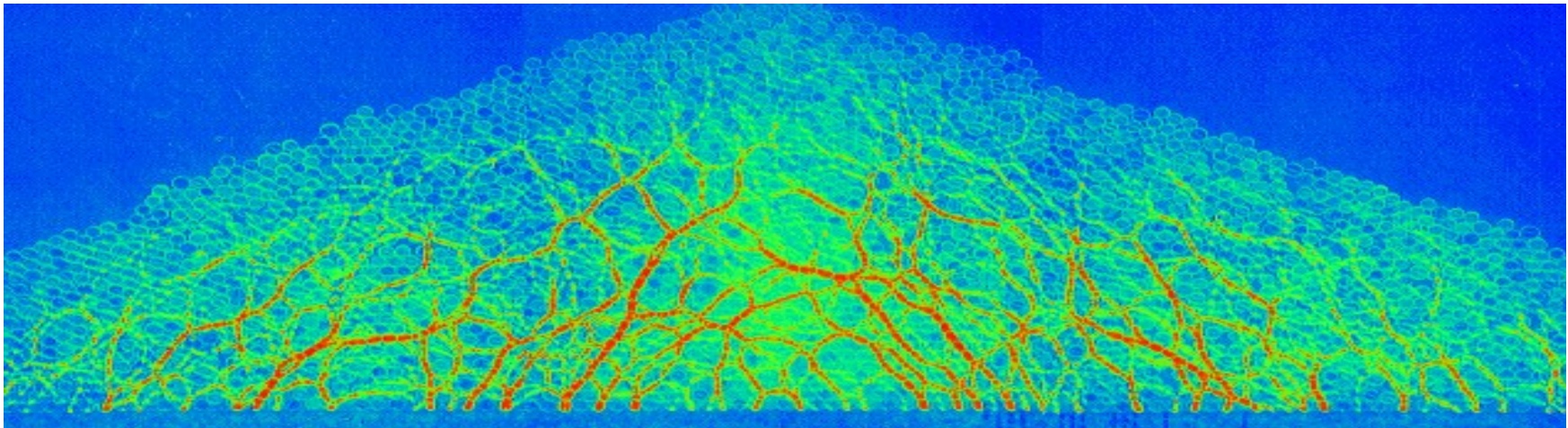


Quando a razão entre os módulos de Young aumenta, o ângulo de desvio aumenta



Uma explicação qualitativa para a queda de pressão sob uma pilha de areia

Efeito na textura devido ao cisalhamento provocado pelo processo de avalanches



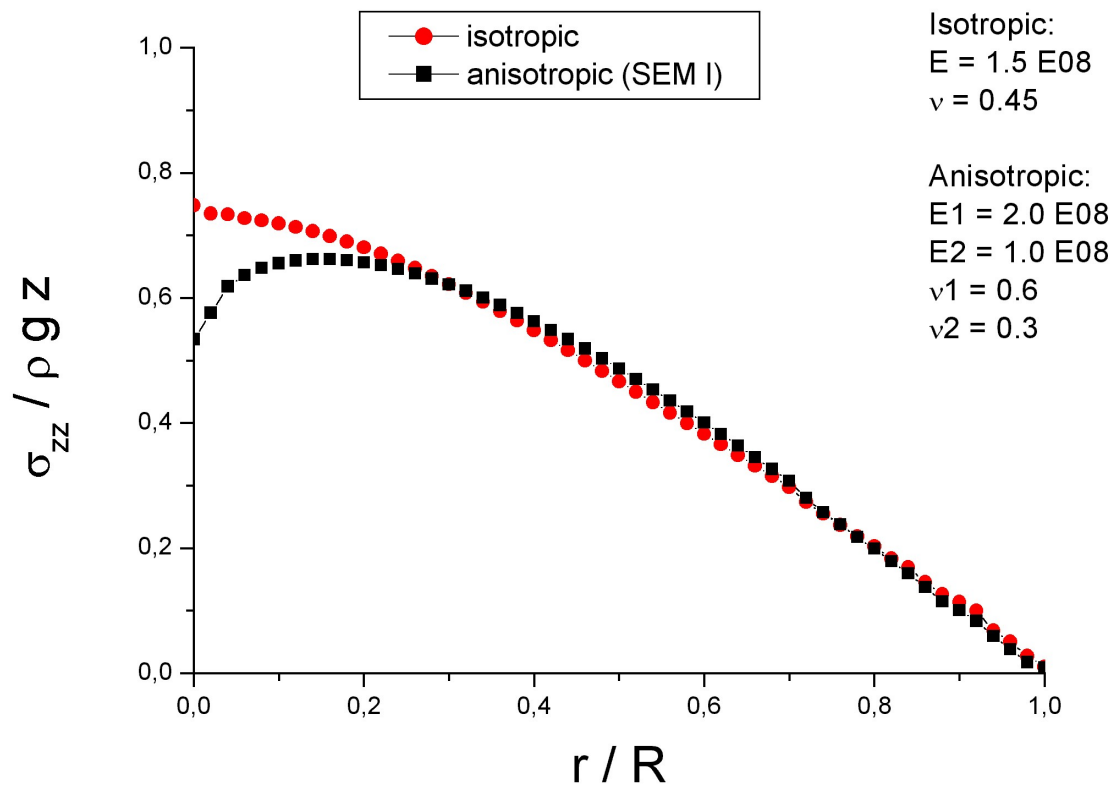
Modelo elástico anisotrópico
Eixo de ortotropia

$\Delta = 45^\circ$ / direção das
avalanches

ângulo de repouso para a pilha de areia:
 $\theta = 30^\circ$

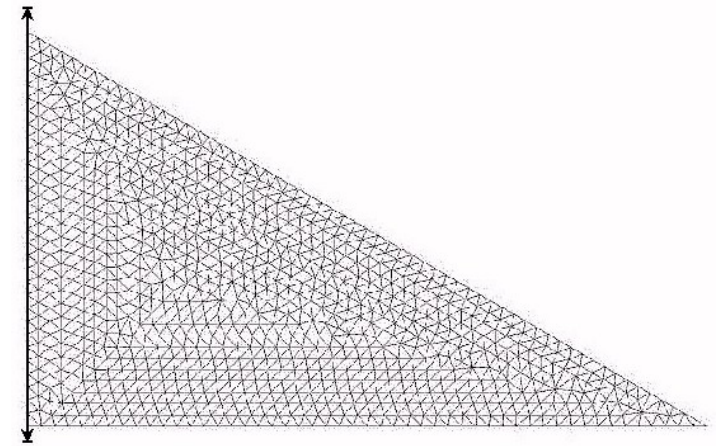
Cálculos numéricos no SEM

pilha cônica 3D



Isotropic:
 $E = 1.5 \text{ E}08$
 $\nu = 0.45$

Anisotropic:
 $E1 = 2.0 \text{ E}08$
 $E2 = 1.0 \text{ E}08$
 $\nu1 = 0.6$
 $\nu2 = 0.3$

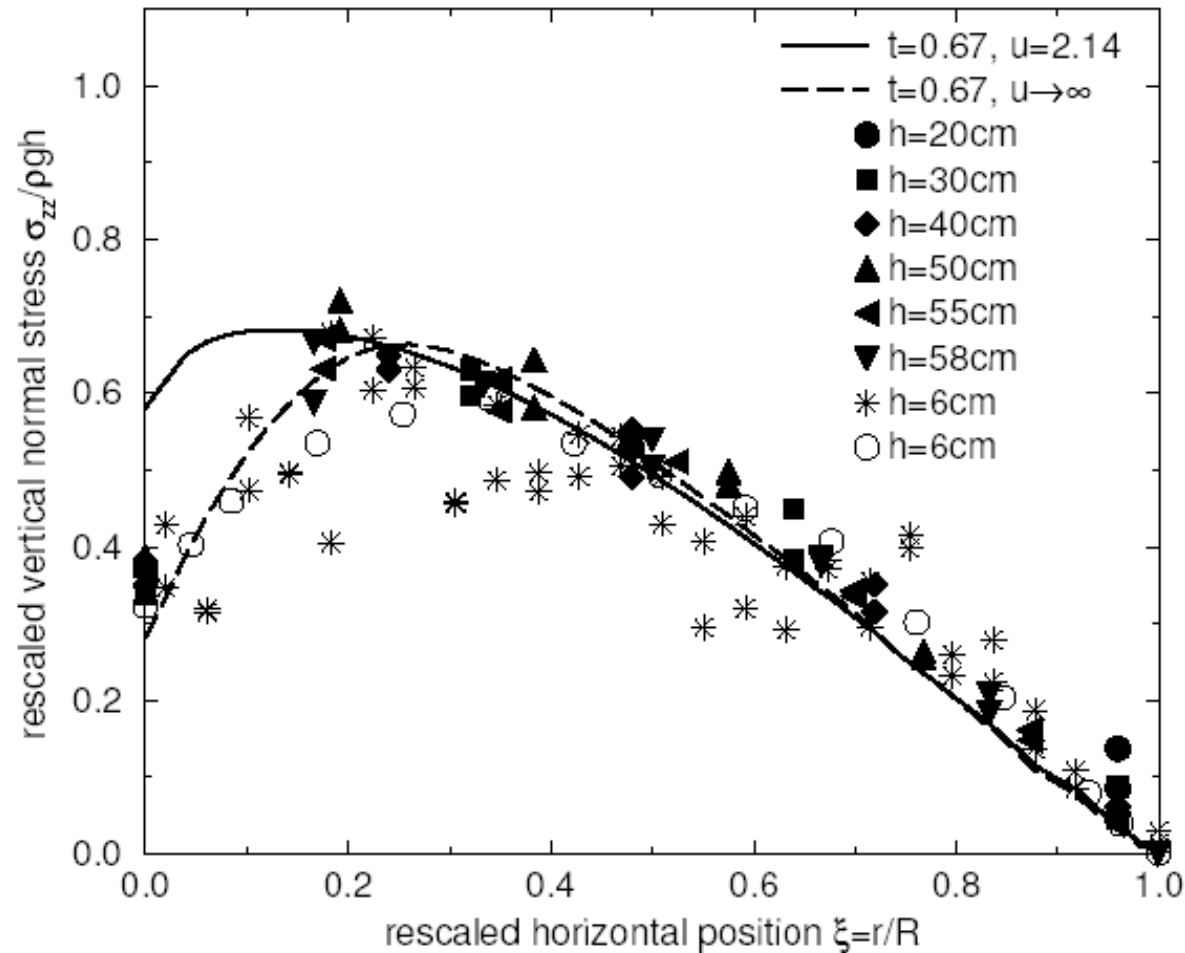


Elasticidade Isotrópica:

sem queda na pressão
 $\nu_p = 0.45$

Elasticidade Anisotrópica:
queda na pressão
 $E_1/E_2 = 2$ e $E_2 = E_3$ SEM I

Comparação com experimentos



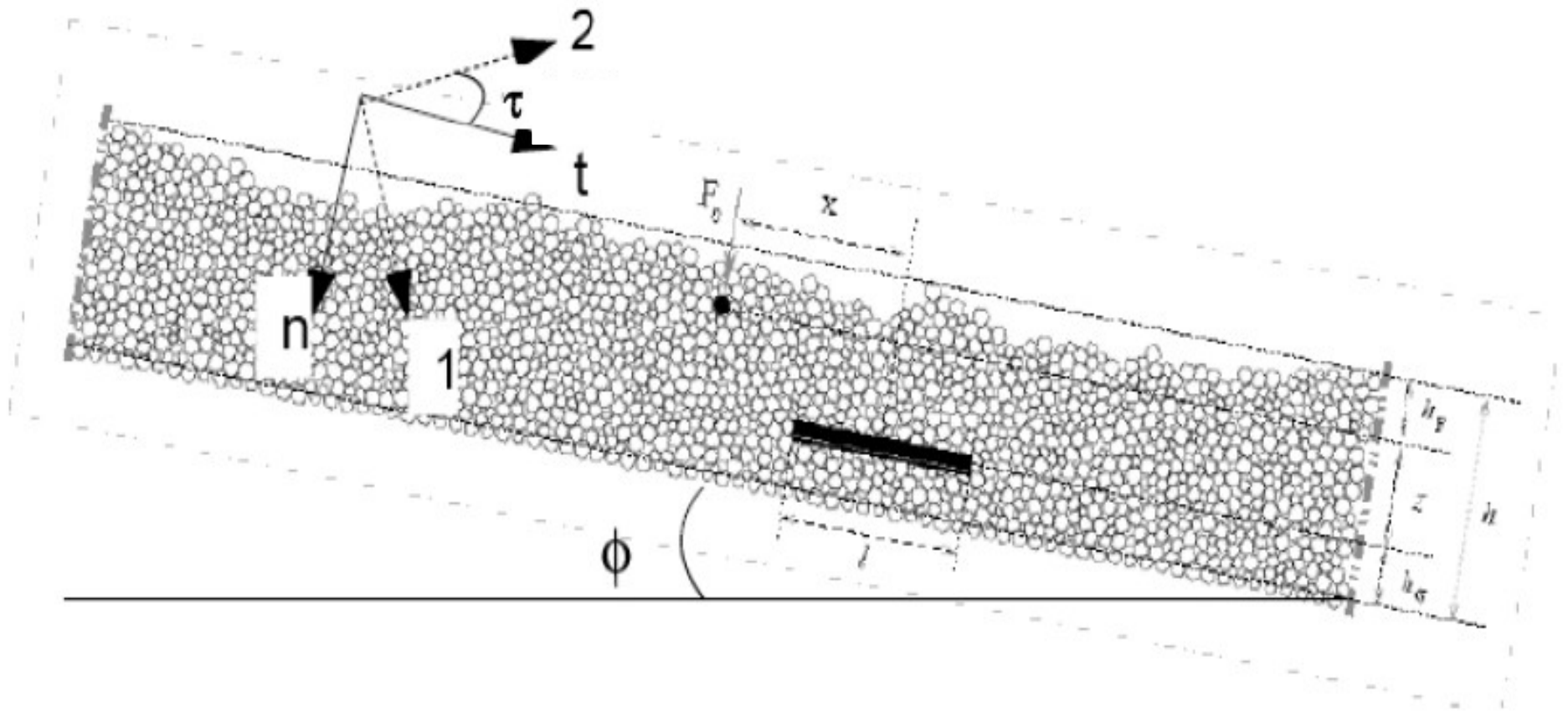
From the stress response function (back) to the sandpile pressure 'dip',

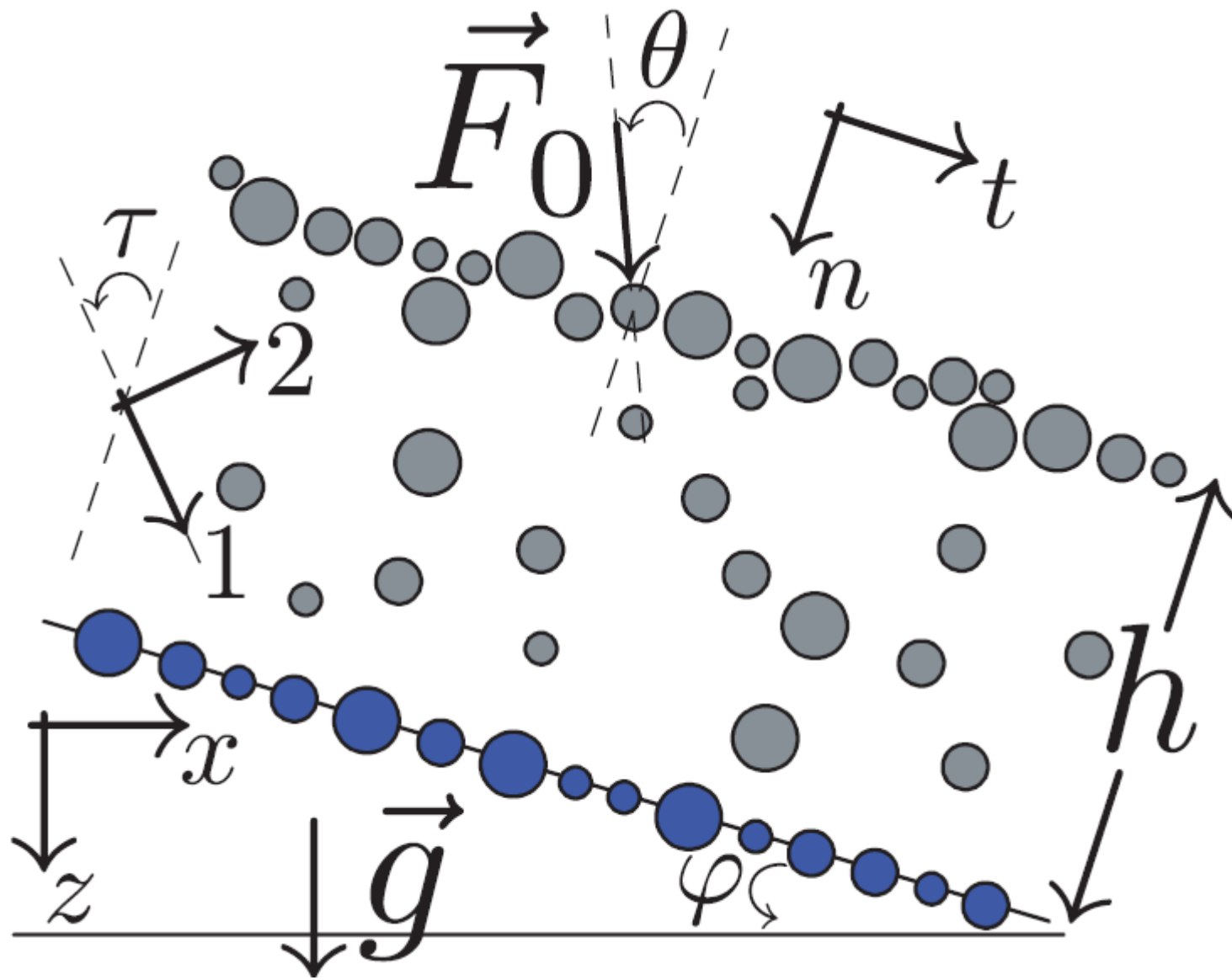
A. P. F. Atman, G. Reydellet, P. Brunet, P. Claudin, J. Geng, R. P. Behringer and E. Clément, EUR. PHYS. J. E, **17**, 93-100 (2005).

- A função resposta a tensões é uma ferramenta poderosa para explorar os efeitos dos tipos de preparação e revelar detalhes da microestrutura. Ela possui o caráter particular de teste não-destrutivo e permite sondar a estrutura do empilhamento para determinação das características elásticas efetivas, possibilitando aos pesquisadores buscarem o “*Santo Graal*” desta área: relacionar unívocamente os perfis da função resposta (*aspecto macroscópico*) à textura interna do empacotamento (*aspecto microscópico*).
- Nesse ponto, fica claro porque as simulações desempenham papel fundamental nestes estudos: elas permitem relacionar as características microscópicas dos modelos – os parâmetros de controle – às grandezas macroscópicas mensuráveis, obtidas por análise estatística dos resultados simulados ou a partir de experimentos reais. Um primeiro passo nesse sentido foi feito explorando a **sensitividade dos perfis de resposta a tensões à preparação do sistema**.

Afastamento da elasticidade:

Estimativa de parâmetros elásticos macroscópicos em sistemas granulares no limiar do desengarramento

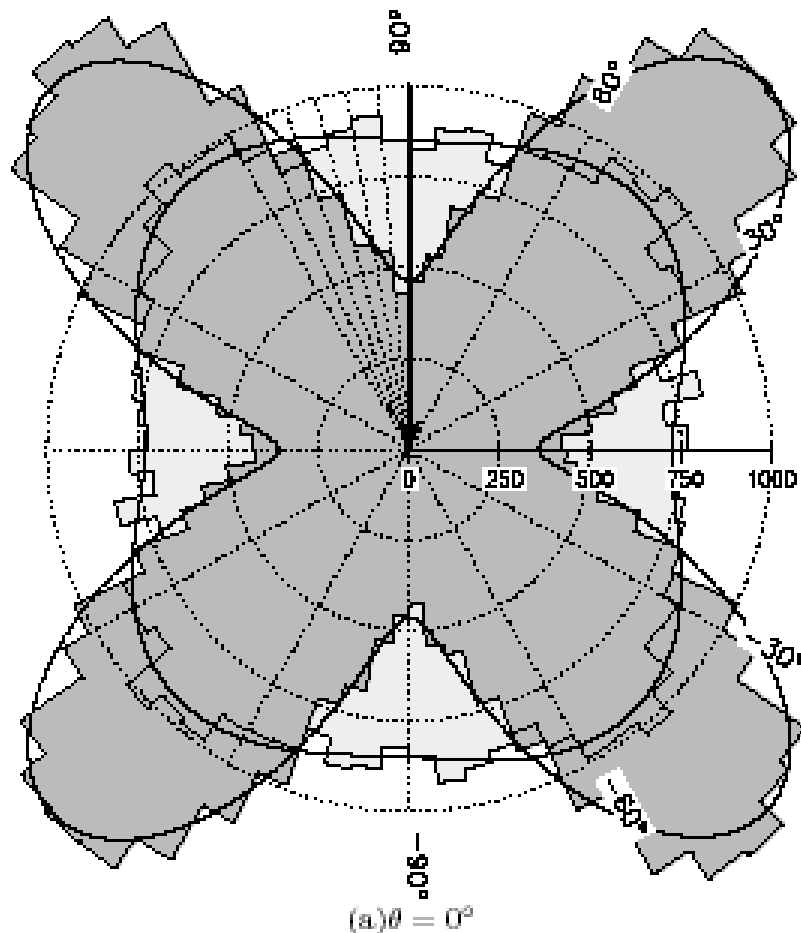




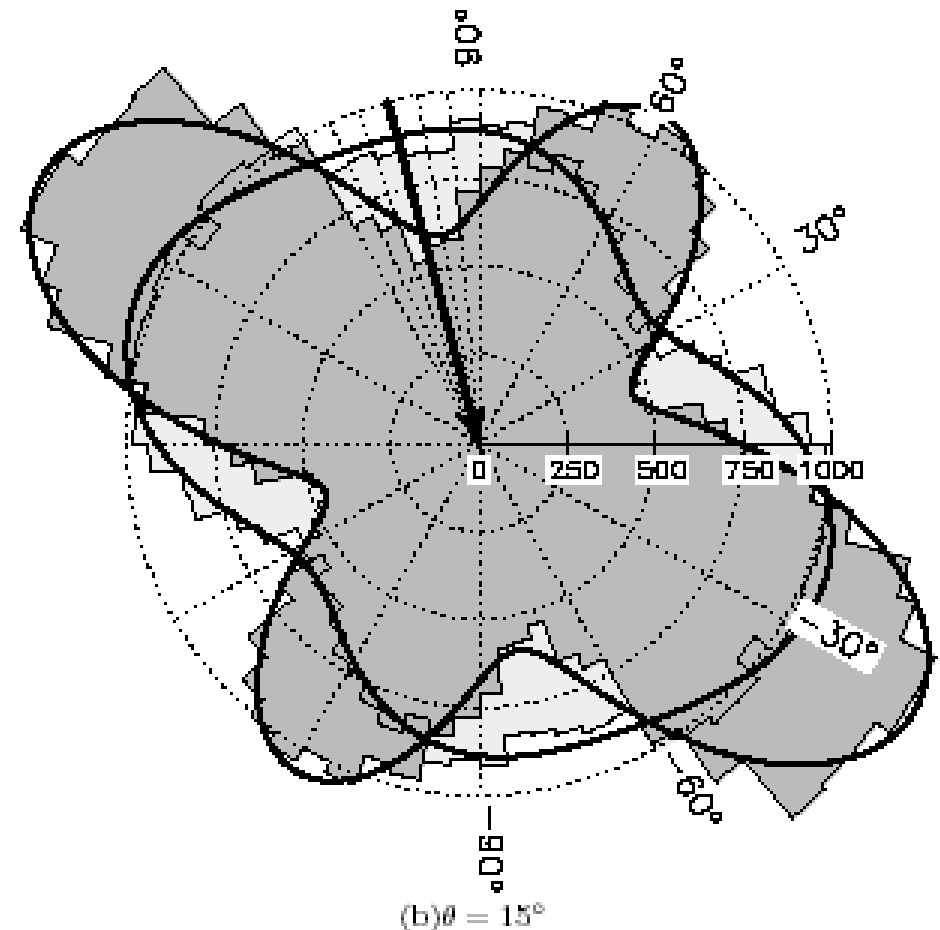
Deposição

Aspectos geométricos:
Distribuição de ângulos de contacto e
de força

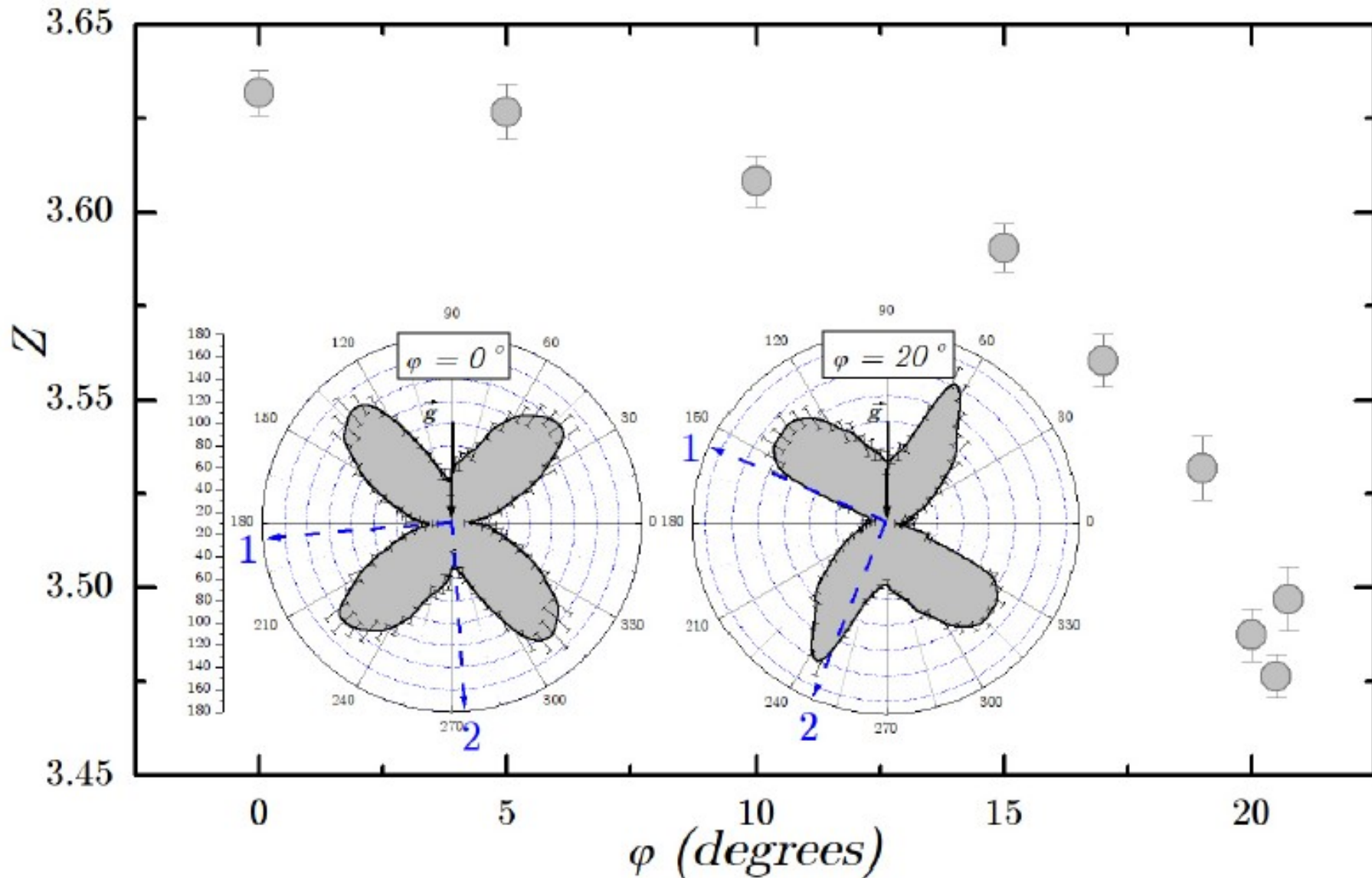
Rain-like

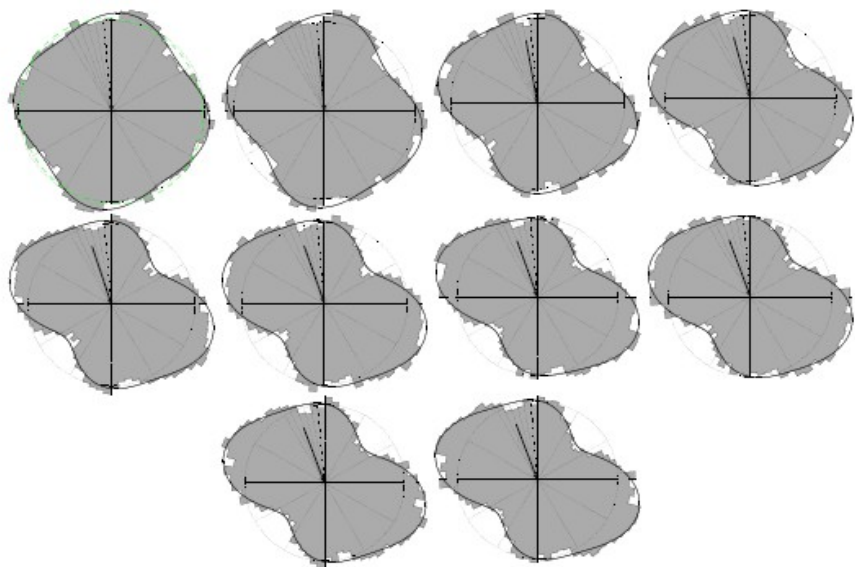


Grain-by-grain



Resultado: Estrutura microscópica

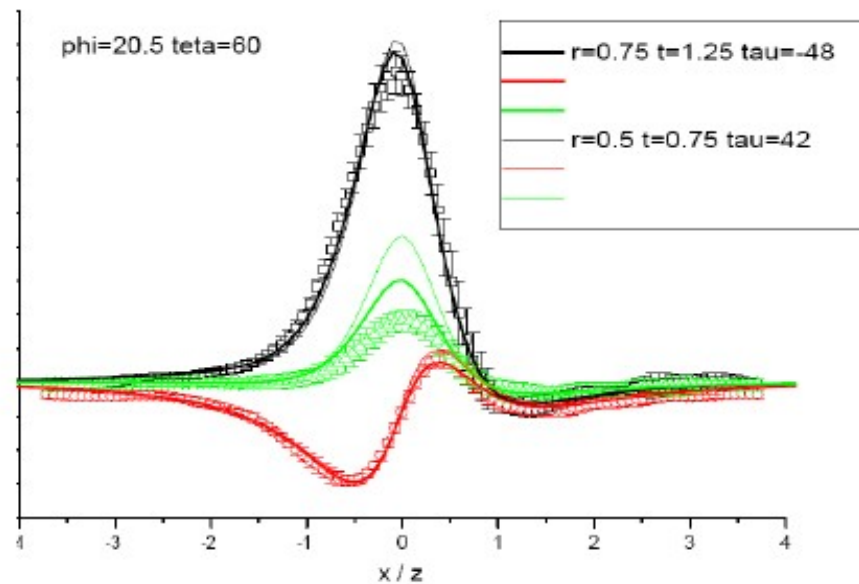
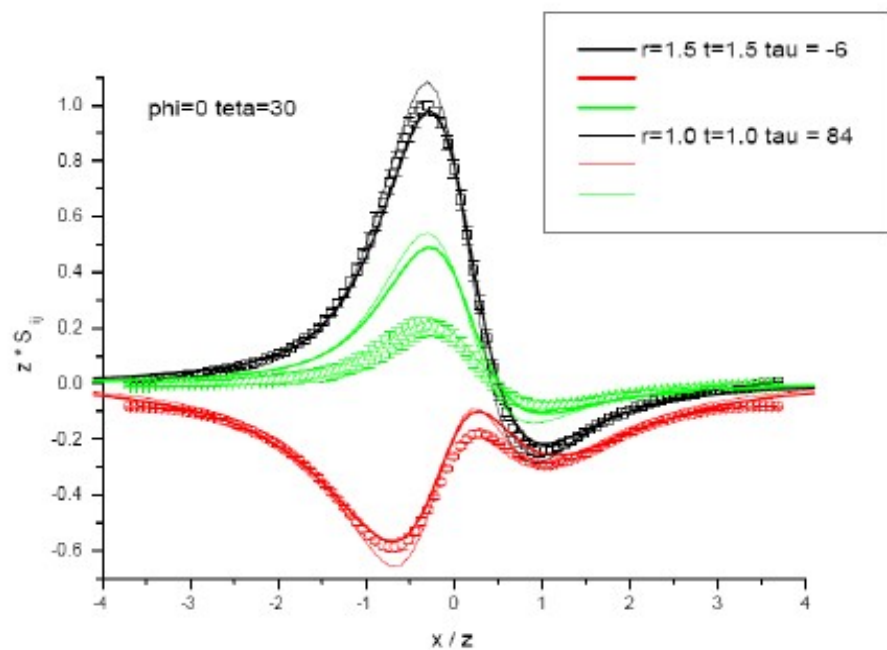




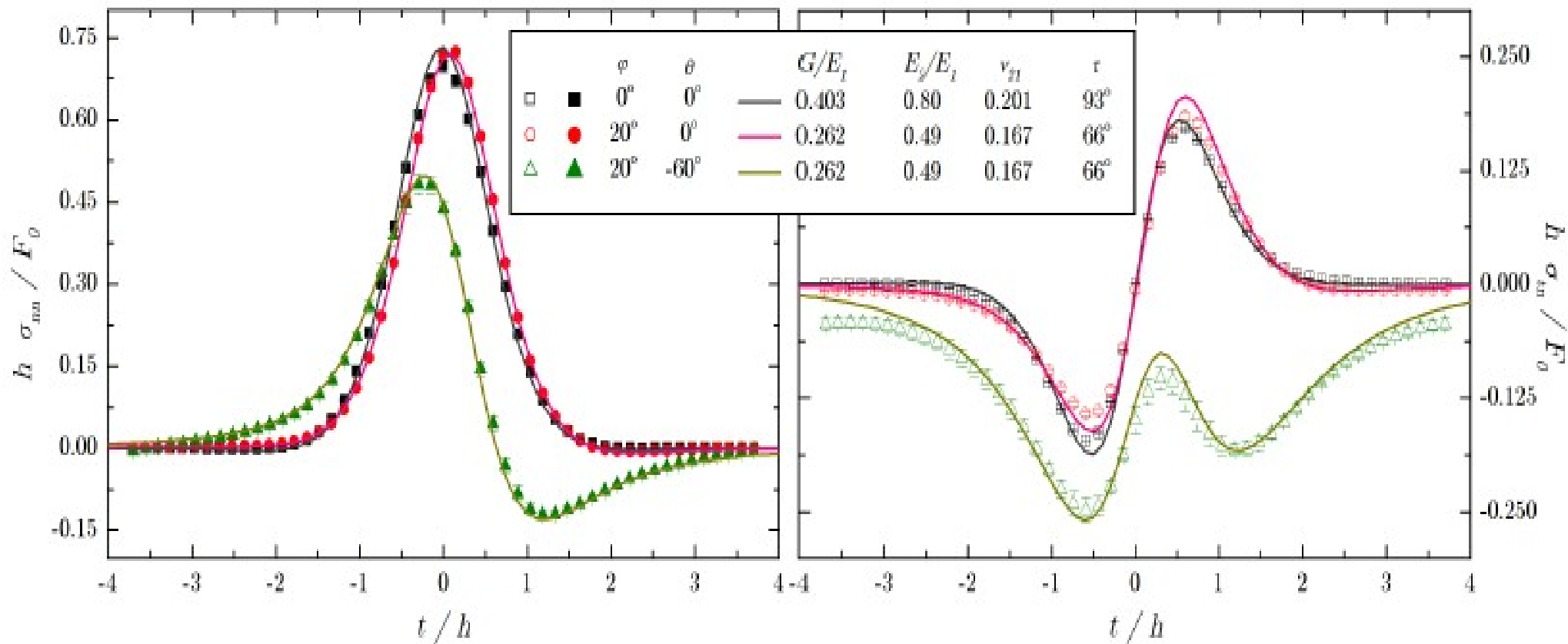
Parameters: r , t , τ and v_x

In: h , z , θ_0 , experimental or simulation data;

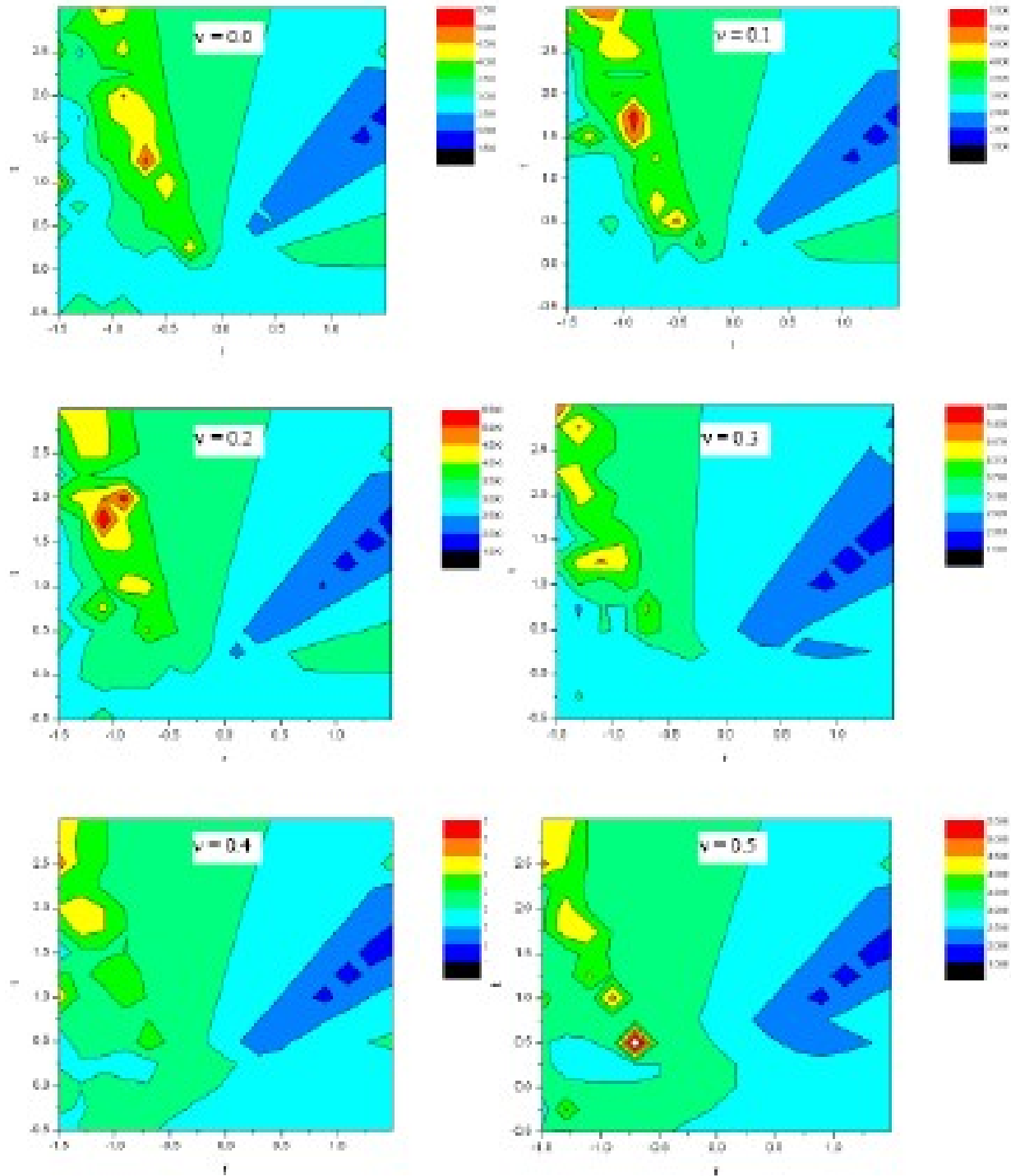
Out: stresses and parameters!



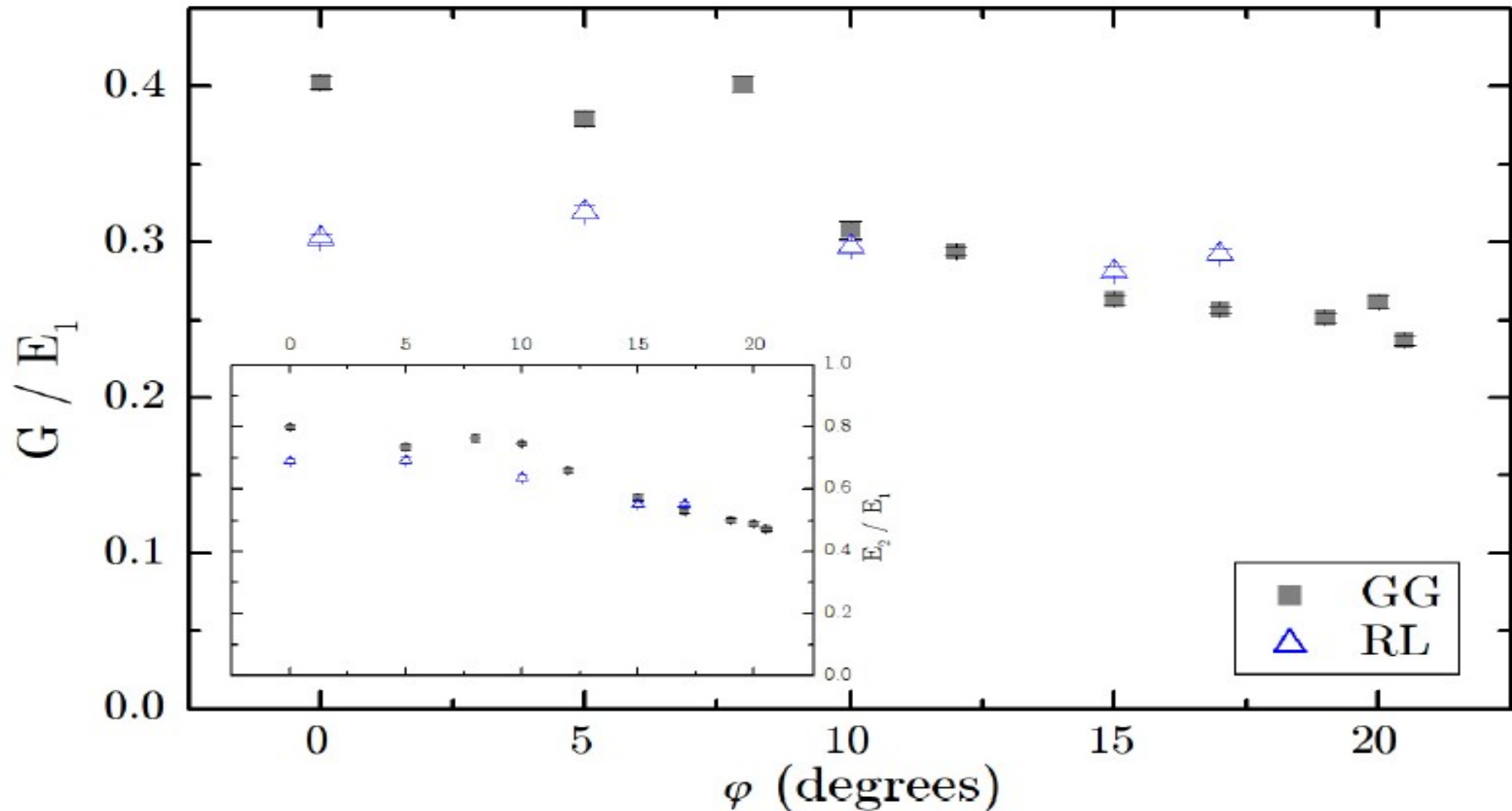
Ajuste de Parâmetros: Modelo Elastico Anisotrópico com ângulo de Ortotropia



Não se deixe enganar pelas aparências, são 4 parâmetros de ajuste!!!



Resultado: Módulo de Cisalhamento



Mechanical response of an inclined frictional granular layer approaching unjamming

A.P.F. Atman,^{1,*} P. Claudin,² G. Combe,³ and R. Mari²

Em processo final de revisão – PHYS REV LETT

Simulação

Algoritmo de Dinâmica Molecular (MD) em três estágios: **preparação**, **deposição** e **sobrecarga**;

Preparação:

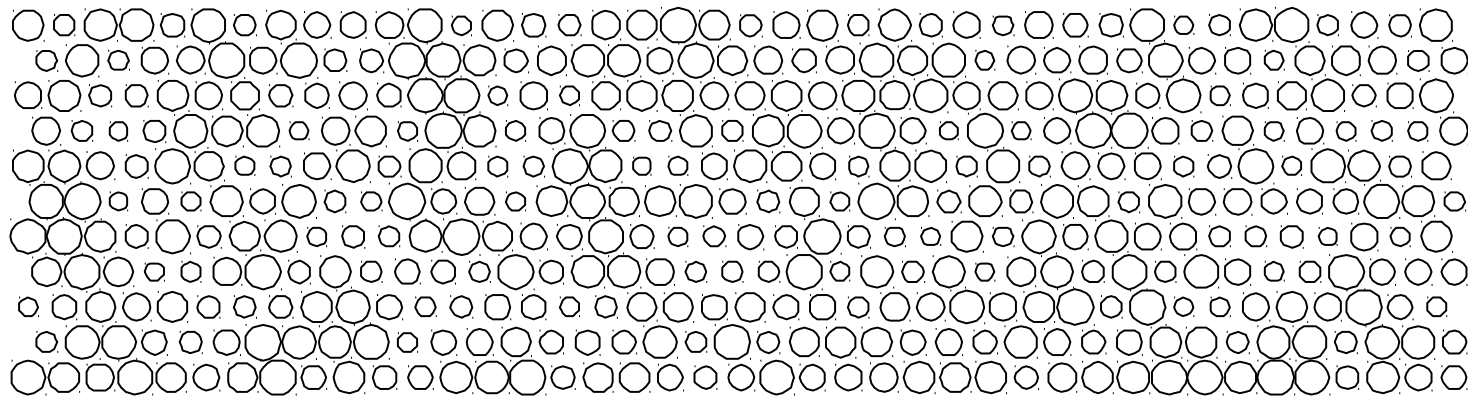
parte-se de um arranjo de grãos polidispersos com razão de aspecto 1:4 e raios entre R_{\min} e $R_{\max} = 2 * R_{\min}$;

características das partículas:

Constantes de mola normal/tangencial, k_n, k_s ;

Coefficiente de atrito, $\mu = 0.5$;

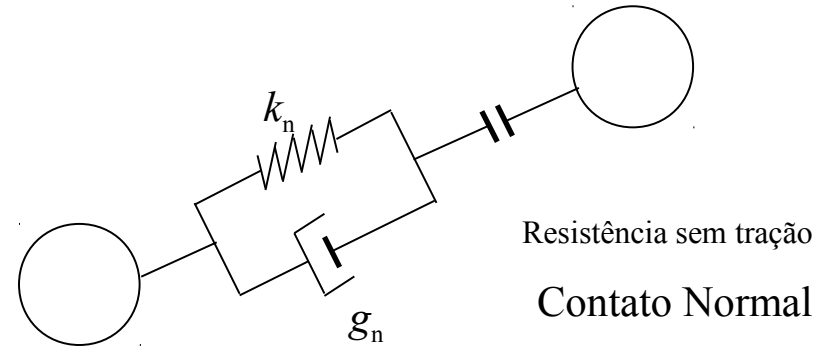
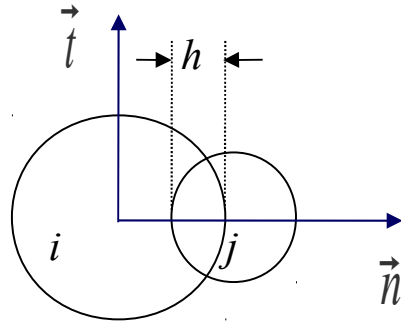
Coefficiente de amortecimento, g_n (Kelvin-Voigt);



Modelo:

P.A. Cundall and O.D.L. Strack, *Geotechnique* **29**, 47 (1979).

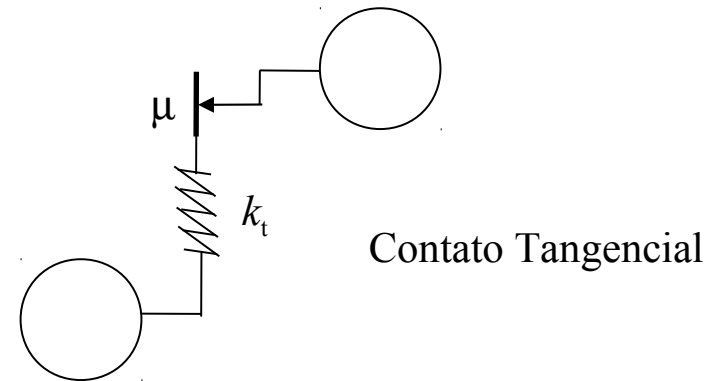
$$F_{ij} = k_n h$$



Equações DM:

$$M \ddot{\vec{x}}_i = \sum_j \vec{f}_{j \rightarrow i} + \vec{F}$$

$$\underline{I} \ddot{\vec{\theta}}_i = \sum \vec{\Gamma}_{j \rightarrow i} + \vec{M}_{\vec{F}}$$



Preditor-corretor de 3ª ordem com algoritmo de Verlet modificado;
M.P. Allen and D.J. Tildesley, *Computer Simulation of Liquids* (Oxford Univ. Press
Oxford, 2003).

Deposição

Deposição tipo 'chuva' sob gravidade e condições periódicas de fronteira;

Grãos interagindo através de forças elásticas e de atrito;

Critério de equilíbrio para parar a deposição:

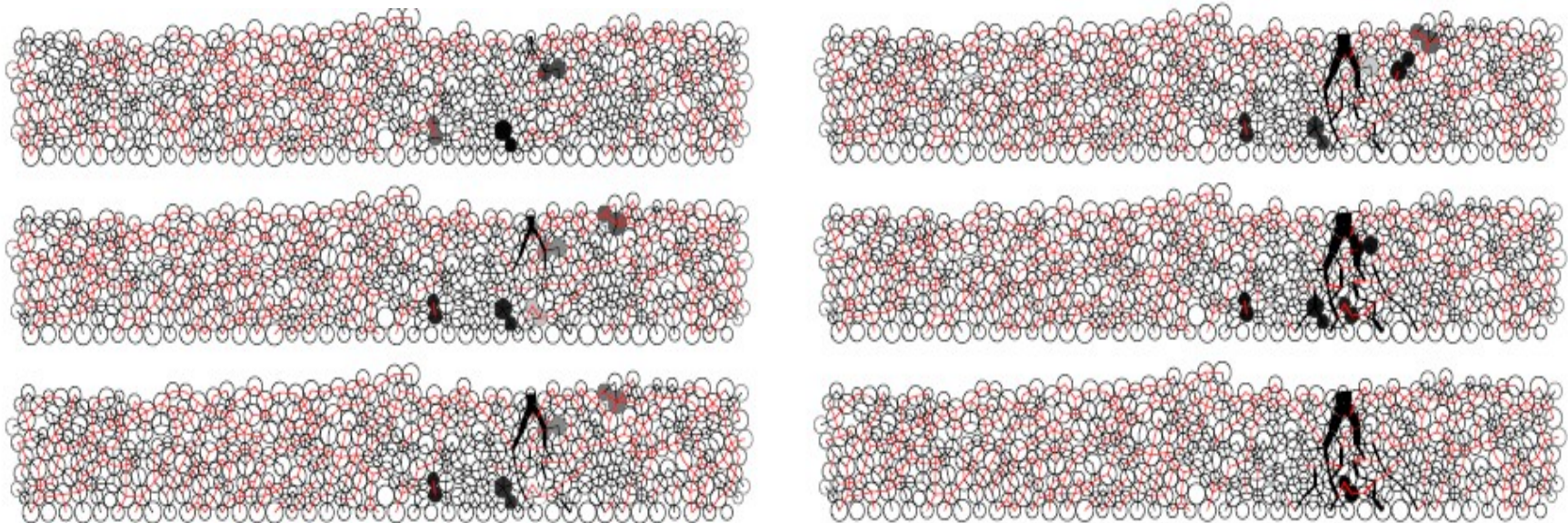
Critério de equilíbrio (testado a cada 100 MD passos):

1. Número de contatos ganhos ou perdidos = 0;
2. Número de contatos 'deslizando' = 0;
3. Peso total = \sum pesos das partículas individuais \pm tolerância
4. Ao menos dois contatos por partícula;
5. Energia cinética total < valor limite;

Sobrecarga

Força aplicada sobre um único grão com magnitude F_0 ;
O valor de F_0 deve ser suficientemente pequeno para não
causar qualquer rearranjo do empilhamento

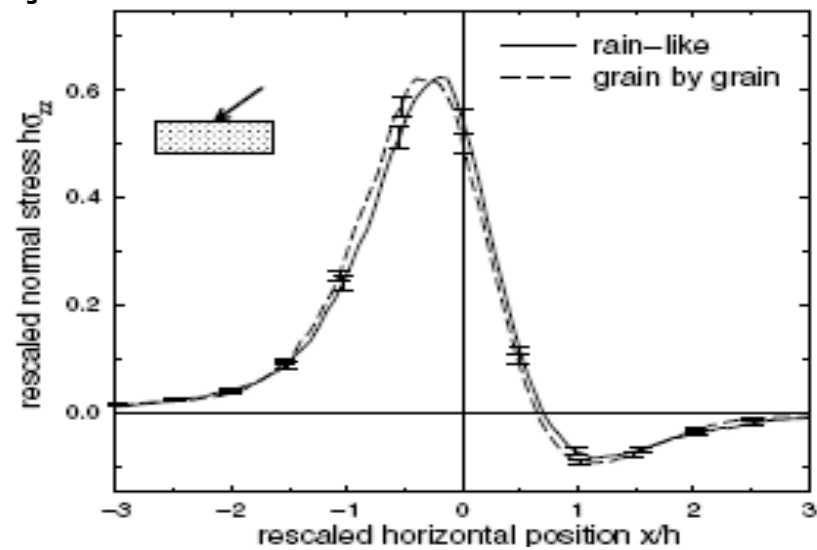
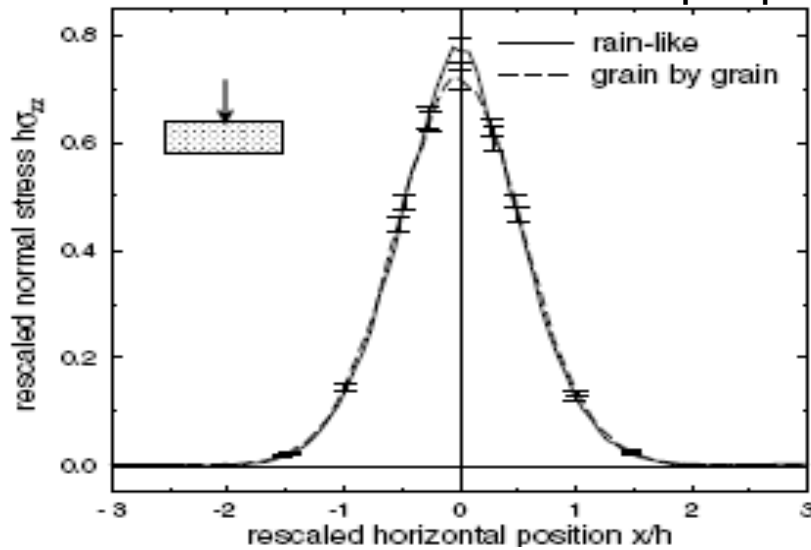
Sobrecarga aumenta paulatinamente durante 10000 MD passos (em cada passo a força é aumentada por $F_0/10000$ e permanece igual a F_0 após).



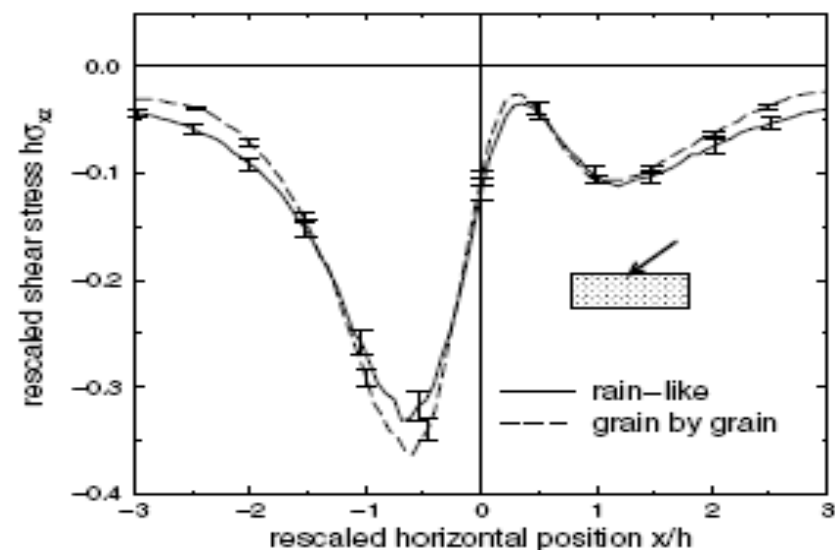
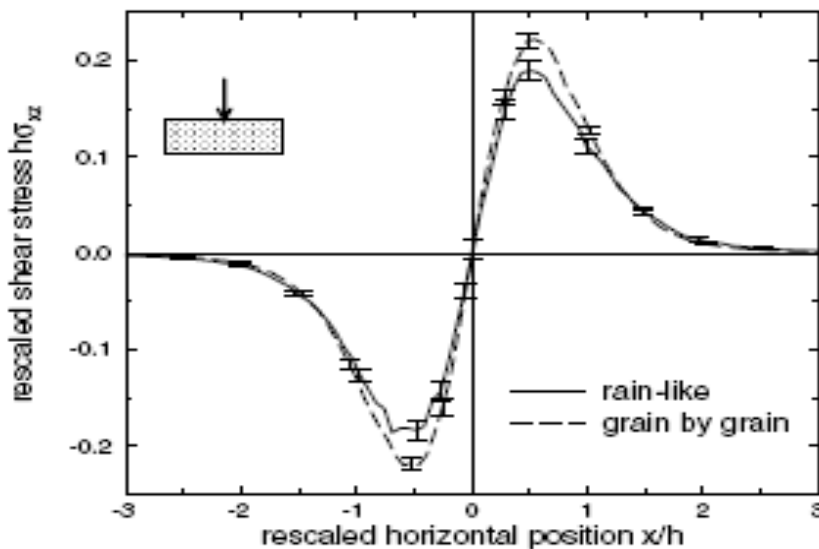
Critério de equilíbrio (testado a cada 100 MD passos): o mesmo usado na deposição,
porém agora o peso total = \sum pesos das partículas individuais + F_0 ;

Resultados

$N=3600$, $h \sim 22d$, ~ 110 amostras, 5 realizações diferentes de empilhamentos para cada preparação



A.P.F Atman, P. Brunet, J. Geng, G. Reydellet, G. Combe, P. Claudin, R. P. Behringer, E. Clément, *Sensitivity of stress response function to packing preparation*, J. Phys. Cond. Matt. **17**, p. S2391-S2403 (2005).

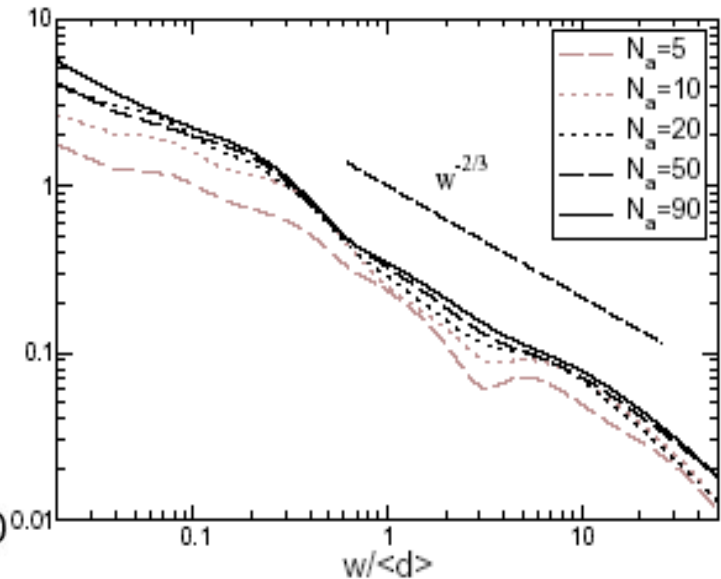
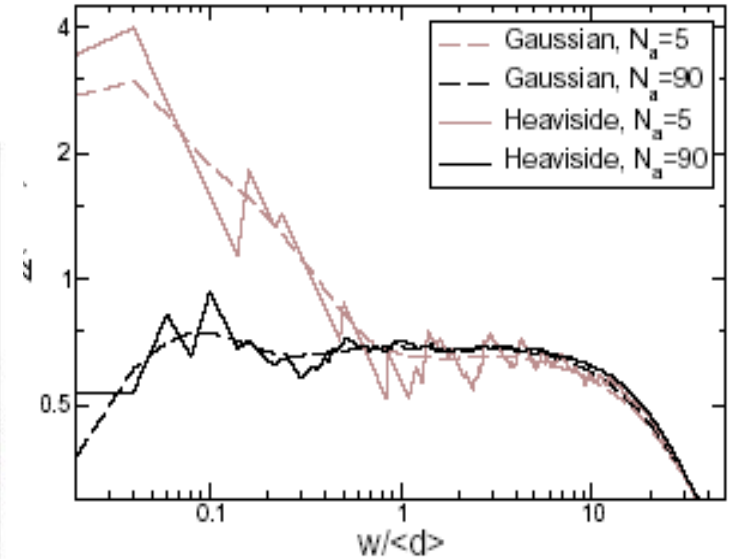
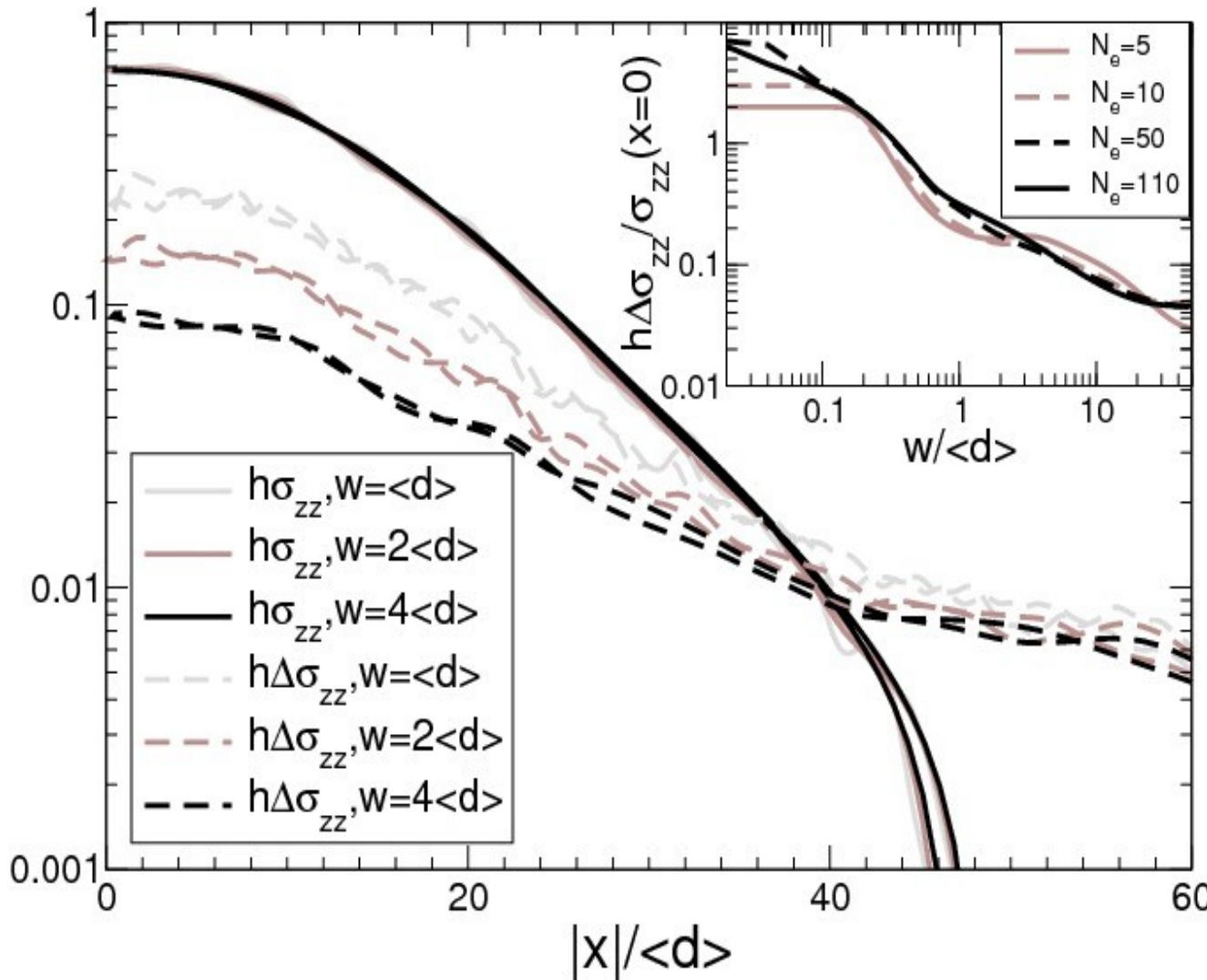


Flutuações

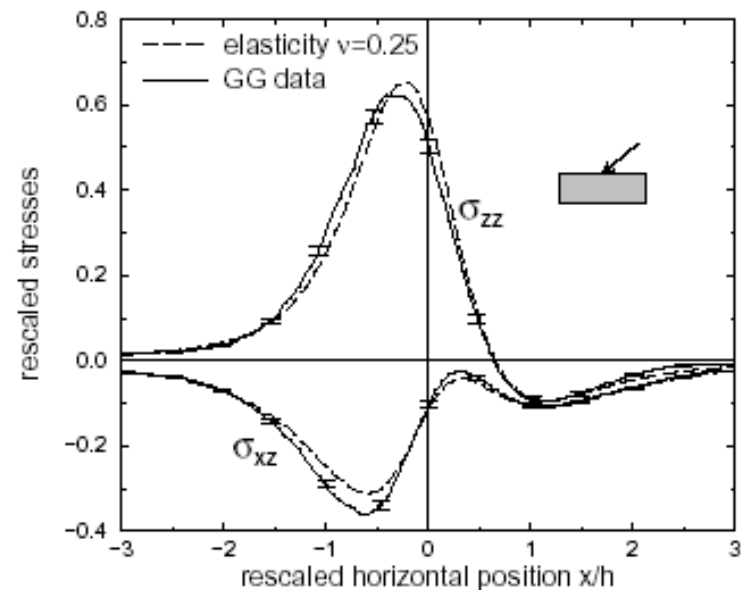
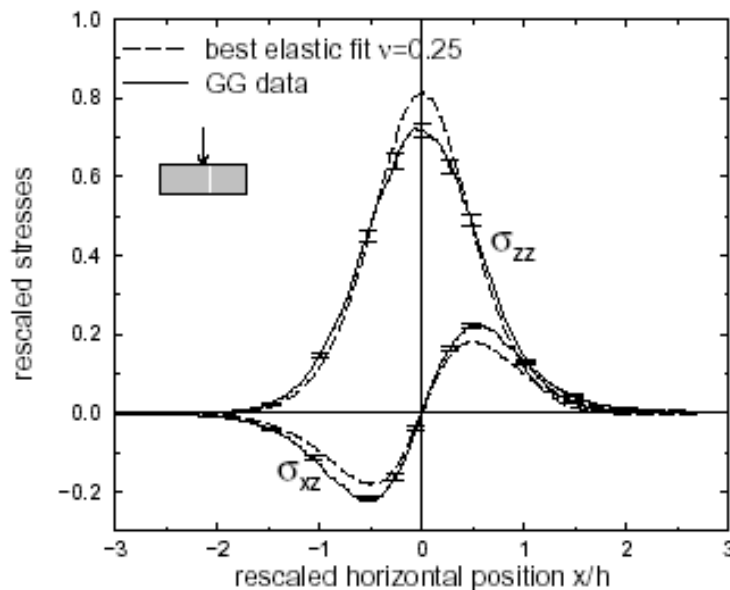
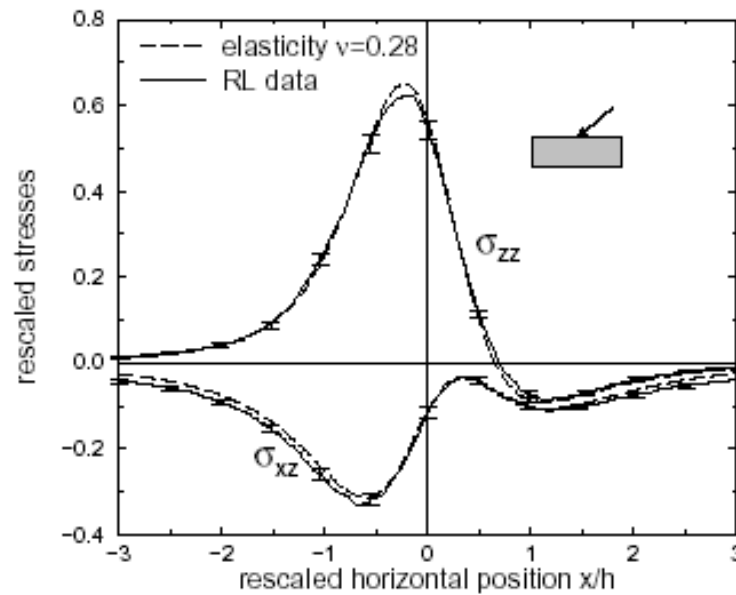
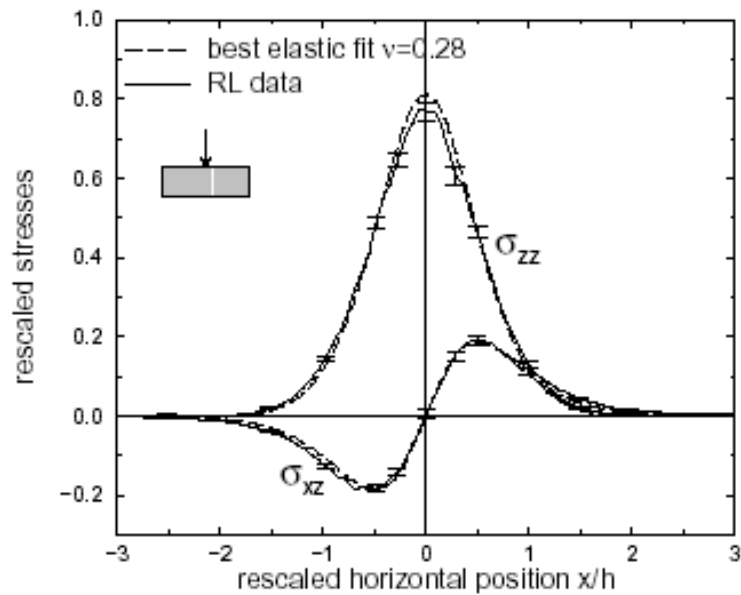
GOLDENBERG, C; ATMAN, A. P. F.; CLAUDIN, P; COMBE, G; GOLDBIRSCH, I.
Physical Review Letters, New York, v. 96, n.16, 168001, 2006.

* Editor's Note in the same edition.

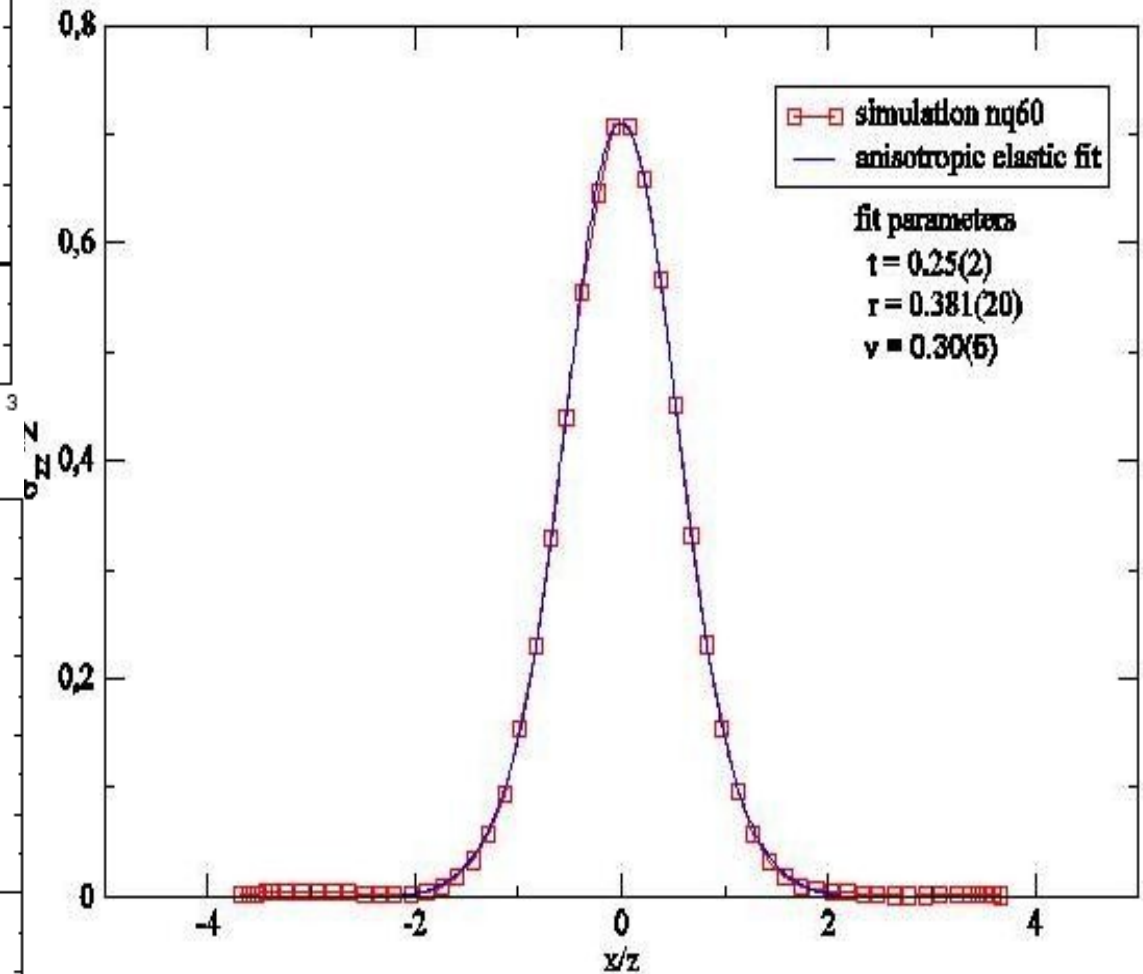
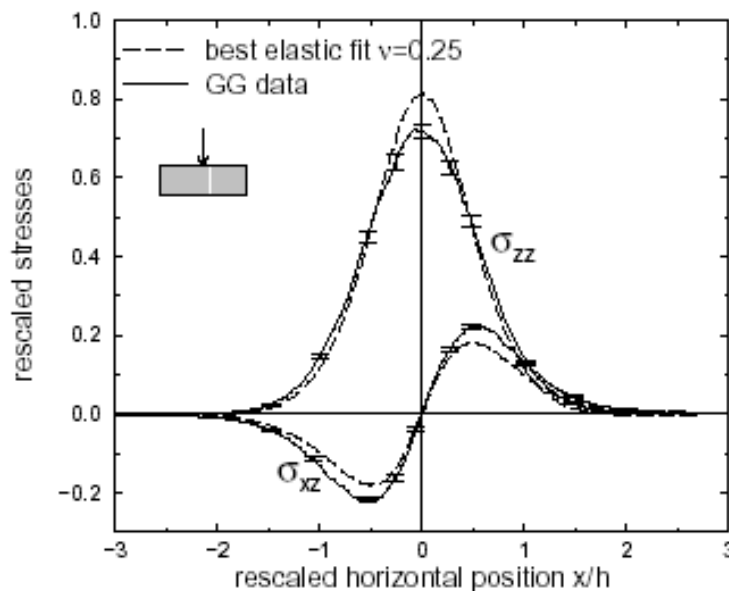
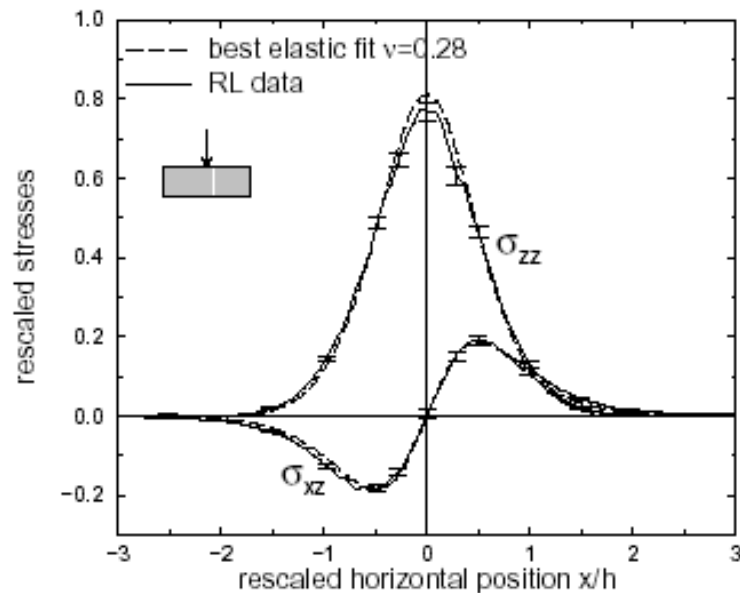
Deposição GG 3600 grãos
 razão de aspecto: $120 d \times 22 d$



Resultados - Ajuste elástico



Resultados - Ajuste Anisotrópico



Sumário

Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:

Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;

Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**

- **Materiais Granulares:**

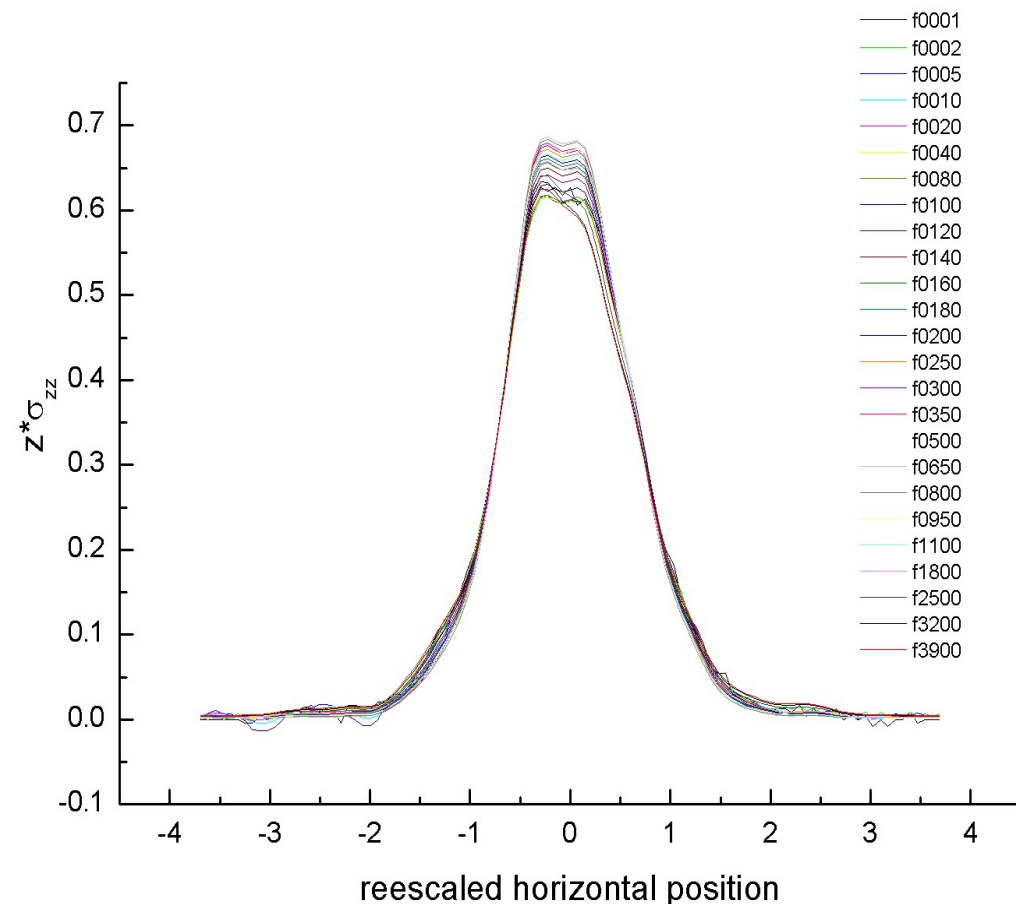
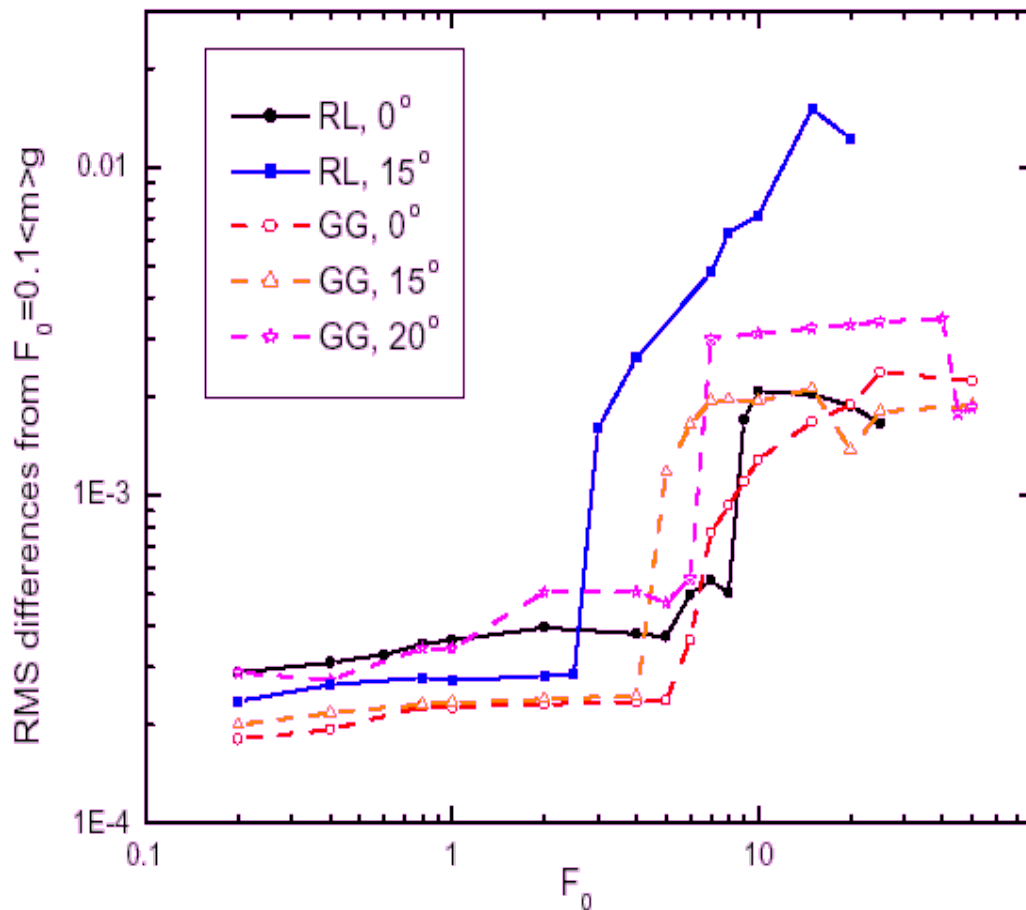
- **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
- **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**

Afastamento da elasticidade:

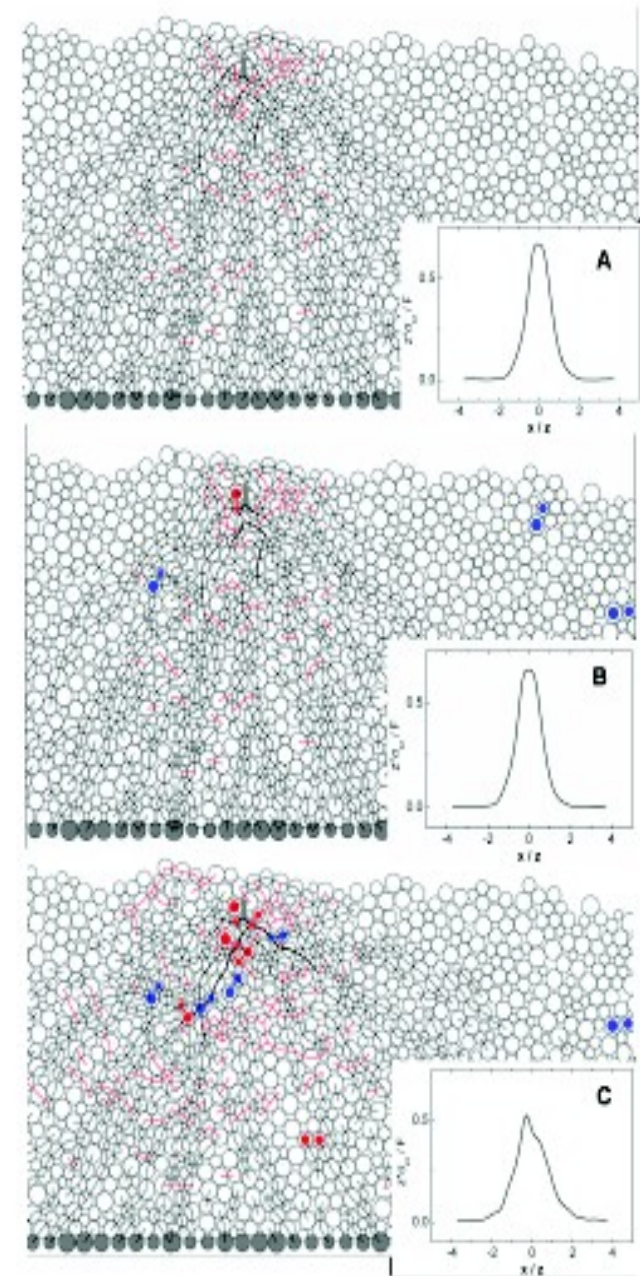
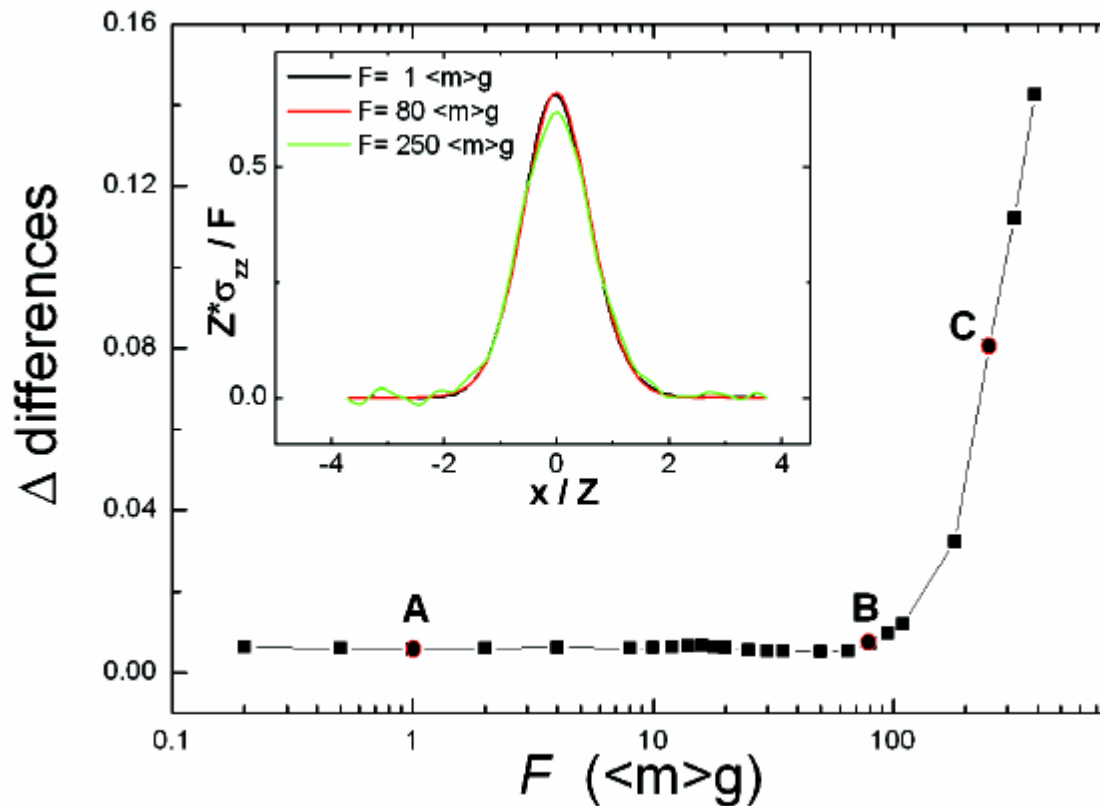
Respostas individuais

Teste de linearidade para uma vasta faixa de valores de força;

Diferenças RMS são medidas considerando um determinado perfil de resposta à tensões;

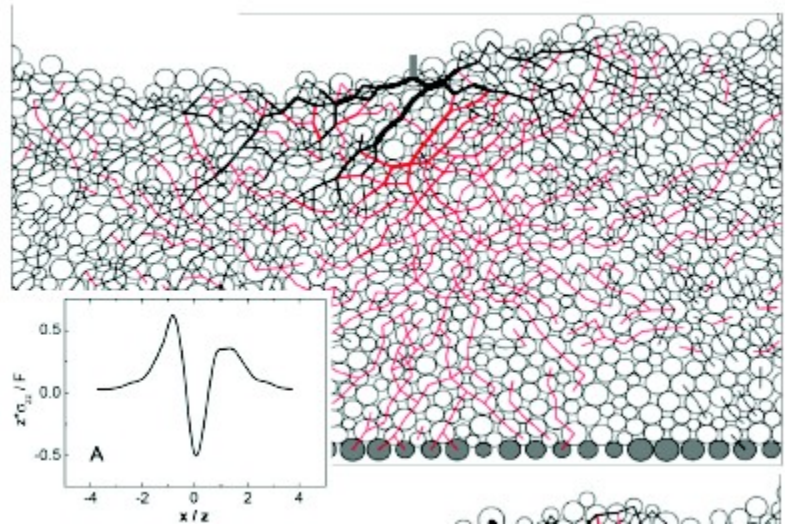
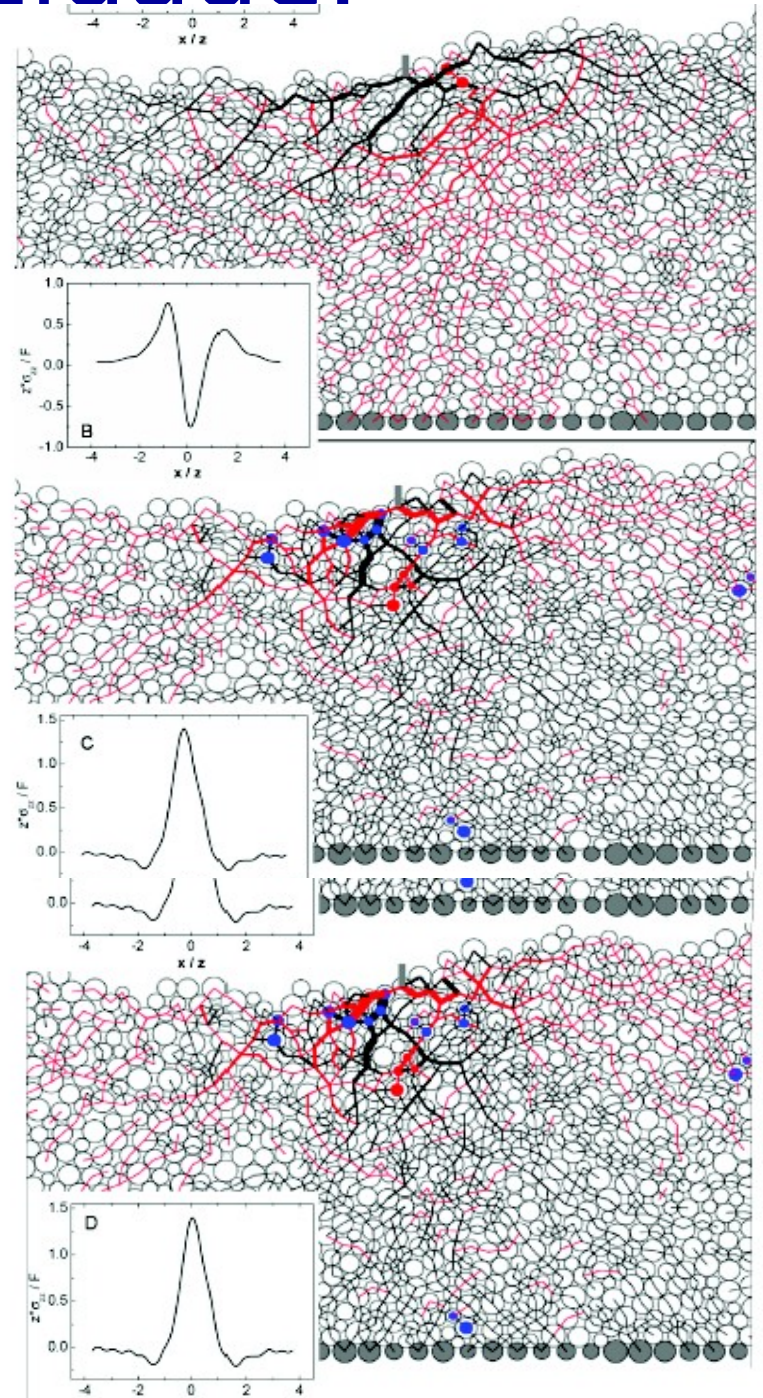
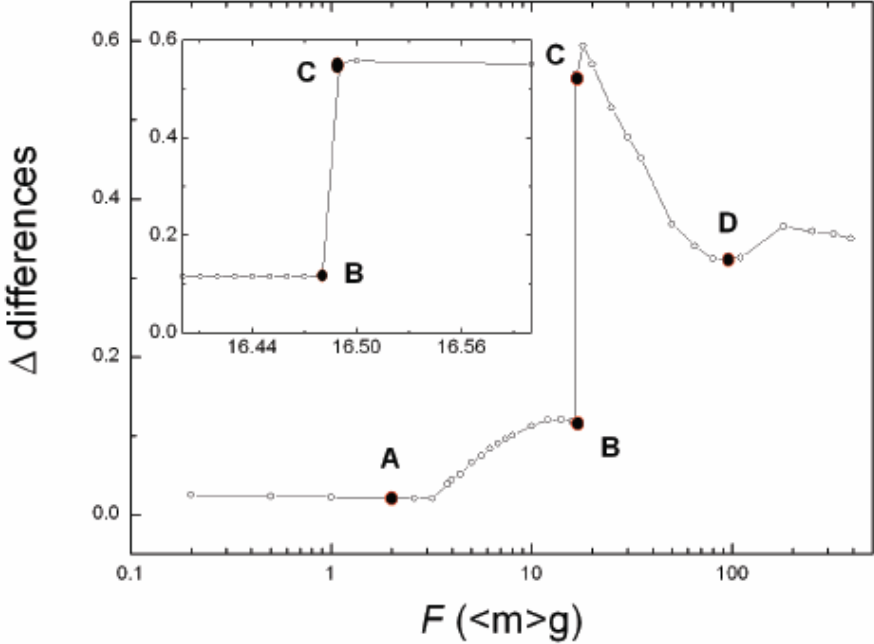


Afastamento da elasticidade:

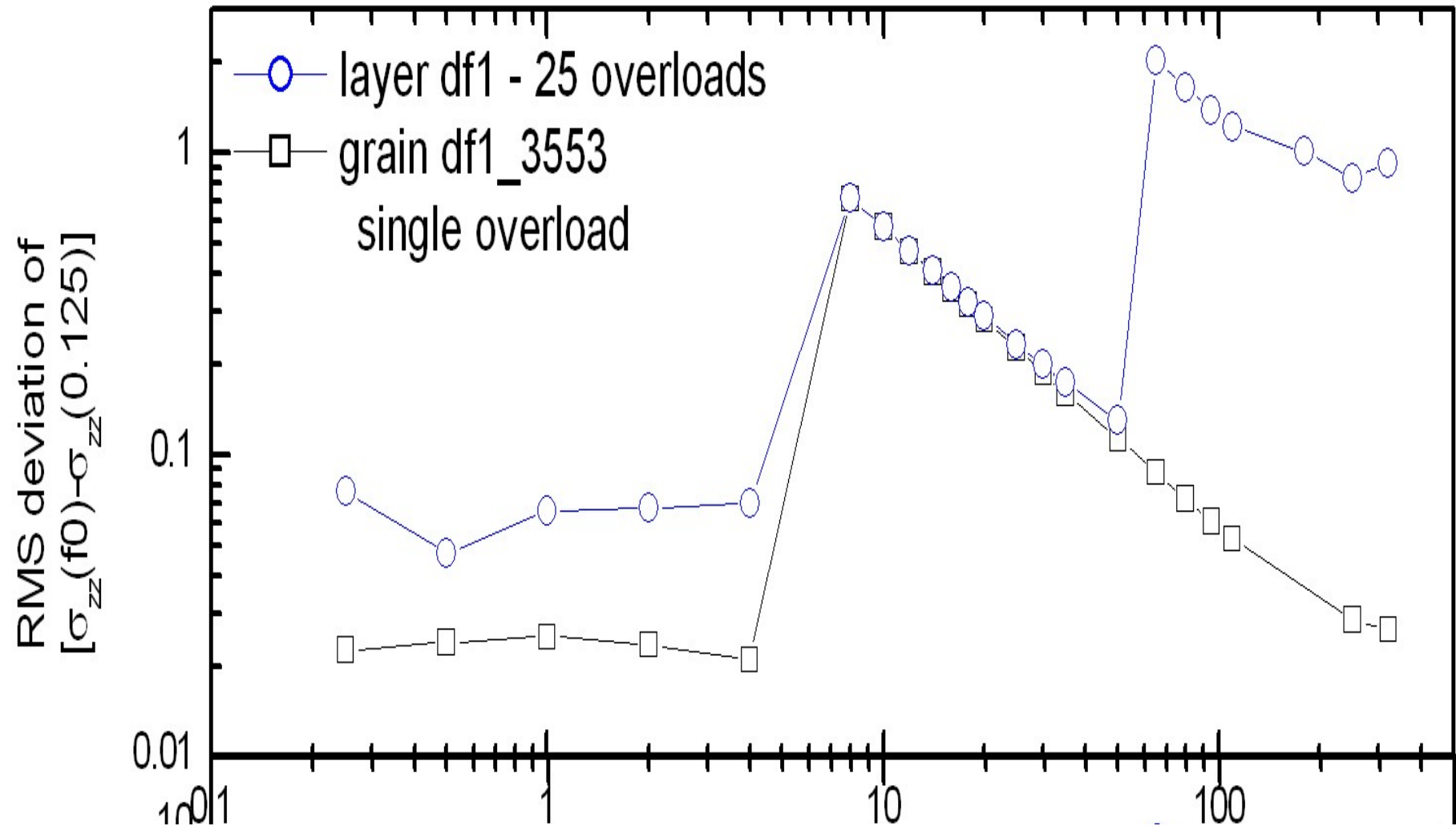


A.P.F. Atman, P. Claudin, G. Combe, C. Goldenberg, I. Goldhirsch, *Transitions in the response of a granular layer*, Proceedings of the 6th International Conference on Micromechanics of Granular Media. New York : American Institute of Physics, 2009. v. único. p. 492-495 (2009).

Afastamento da elasticidade:

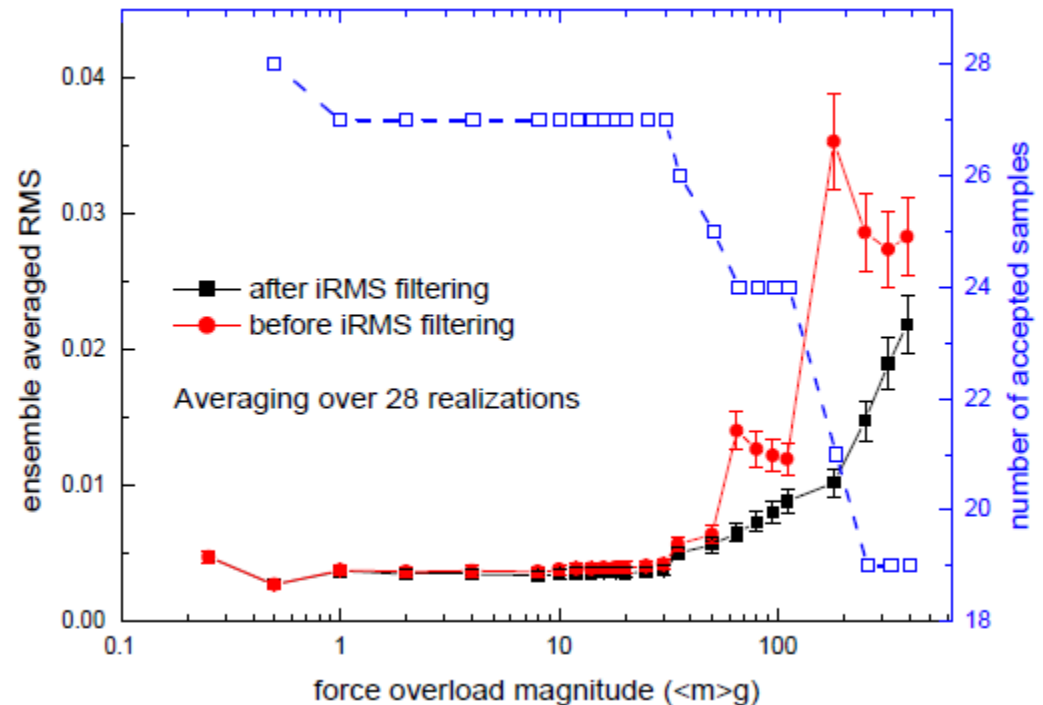
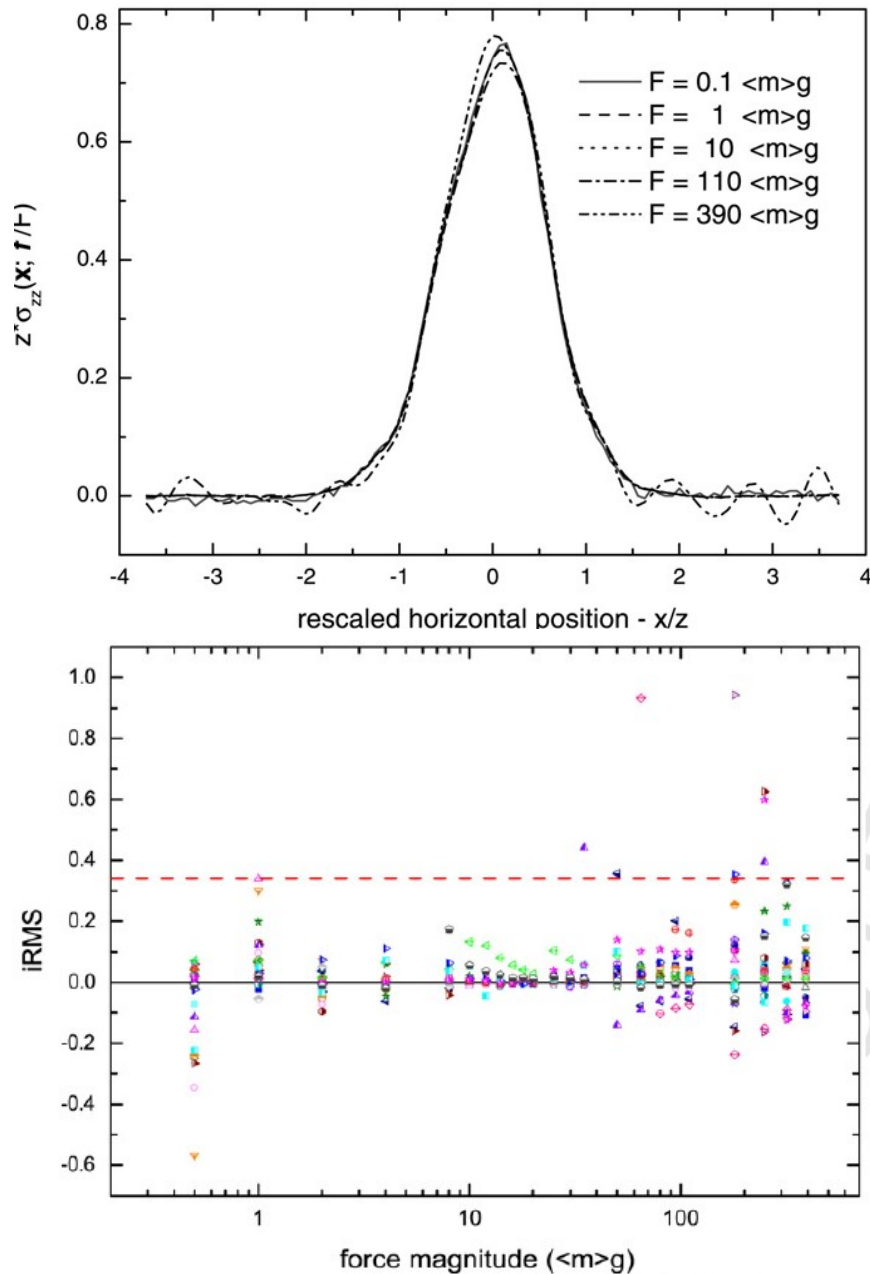


Afastamento da elasticidade:



Afastamento da elasticidade:

A.P.F. Atman, P. Claudin, G. Combe.,
*Departure from elasticity in granular layers:
 investigation of a crossover overload force,*
 Computer Physics Communications, v. 180,
 p. 612-615, 2009.



Sumário

Introdução

Sistemas Complexos: definição (?)

Autômatos Celulares:

Determinísticos: Wolfram e Jogo da Vida;

Probabilísticos: DKCA E BPCA

Aplicações de autômatos celulares:

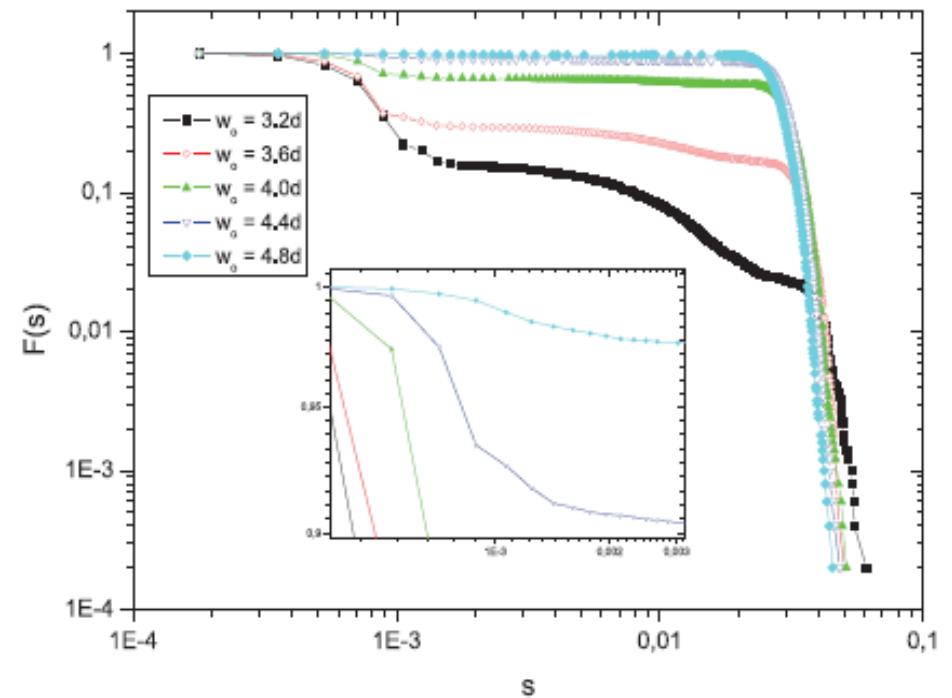
- **Comportamento dos investidores no mercado de ações**
- **Modelagem Computacional da Propagação da Leishmaniose**
- **Materiais Granulares:**
 - **Estudo da função resposta e afastamento da elasticidade em empilhamentos granulares**
 - **Determinação de grandezas elásticas macroscópicas no limite do desengarramento**
- **Formação de padrões e não-extensividade no escoamento entre grãos;**

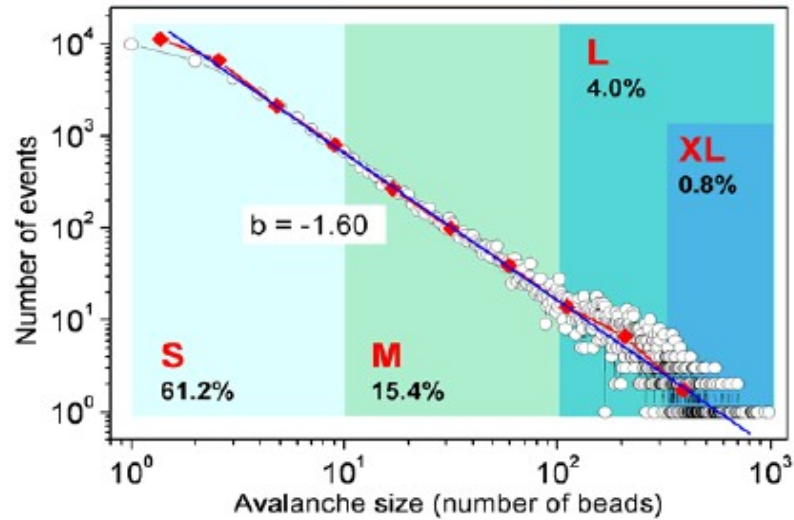
Avalanches na descarga de empilhamentos granulares



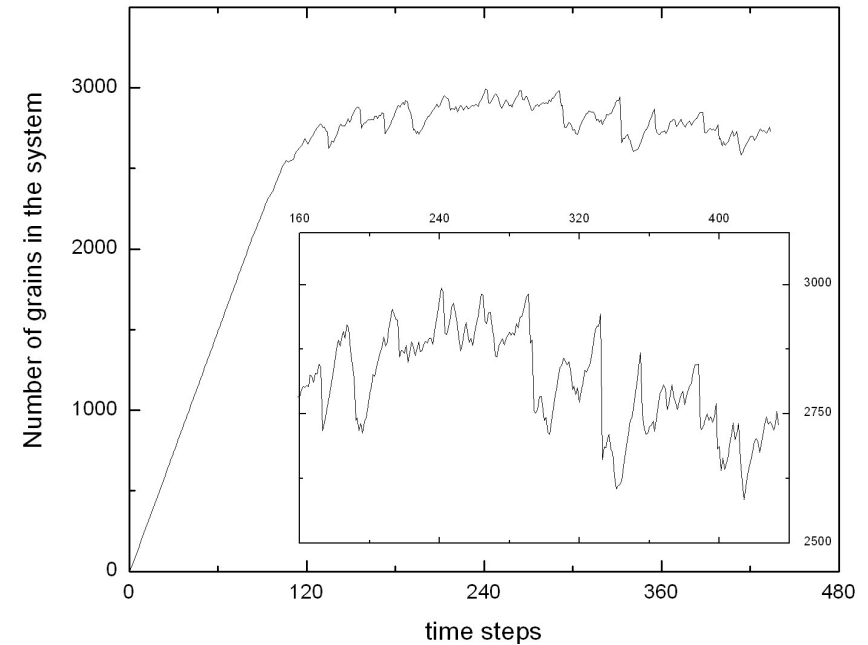
A.P.F. Atman
CEFET-MG

José Guilherme Moreira
Caio F. M. Magalhães - Doutorado
Ana Cristina de Oliveira - PIBIC - CNPq
UFMG

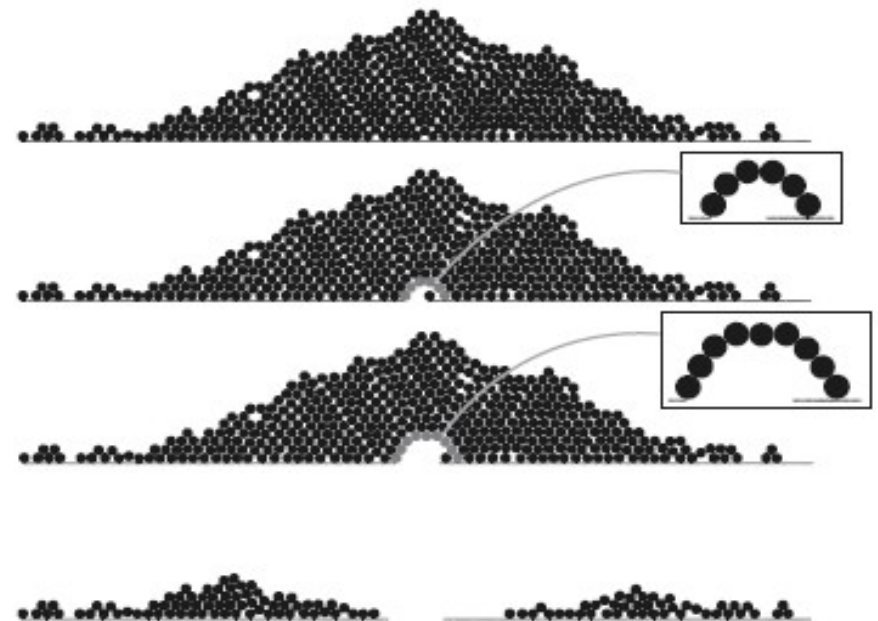


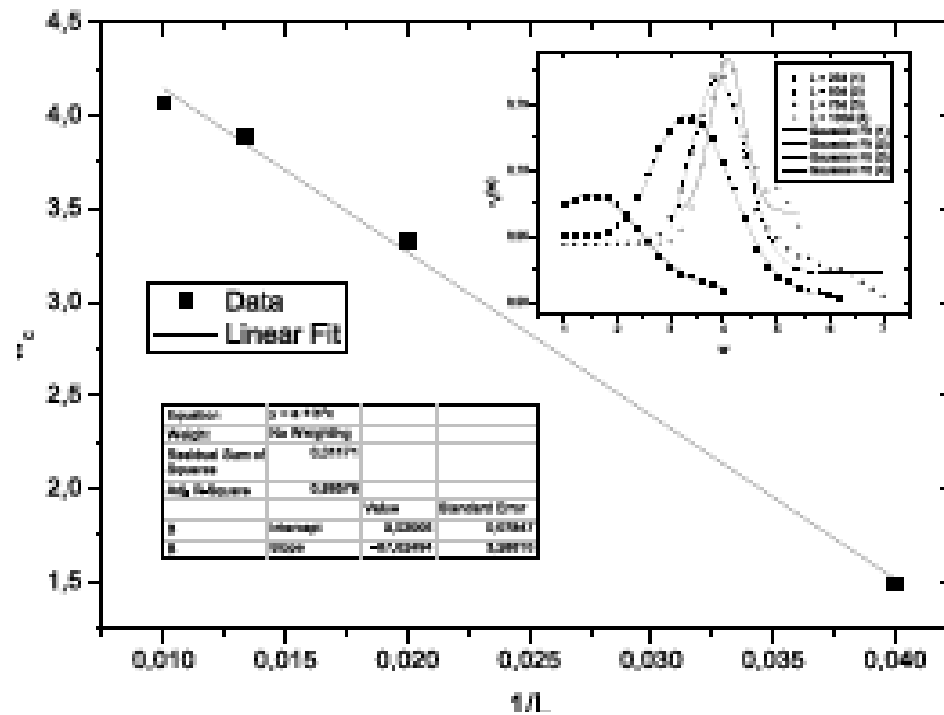
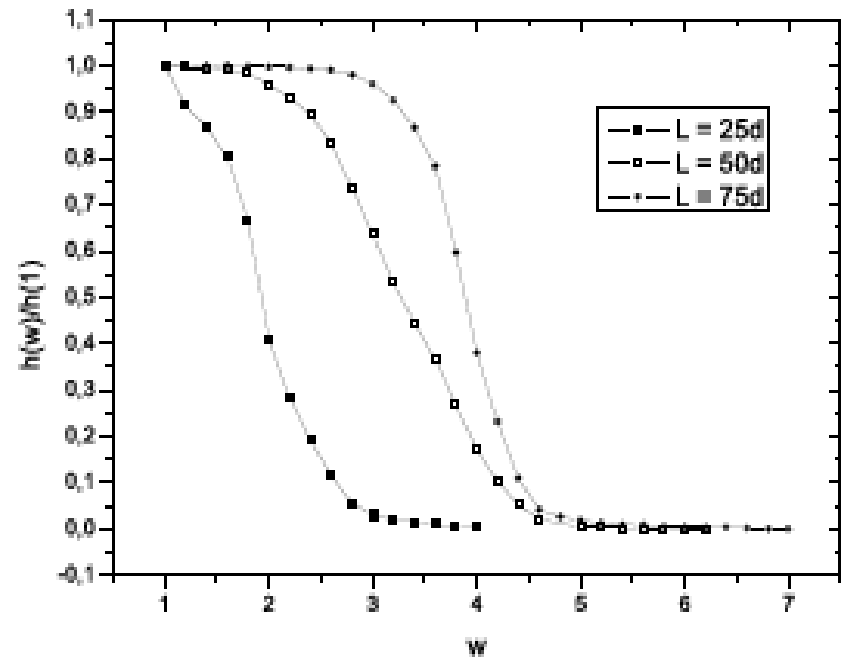
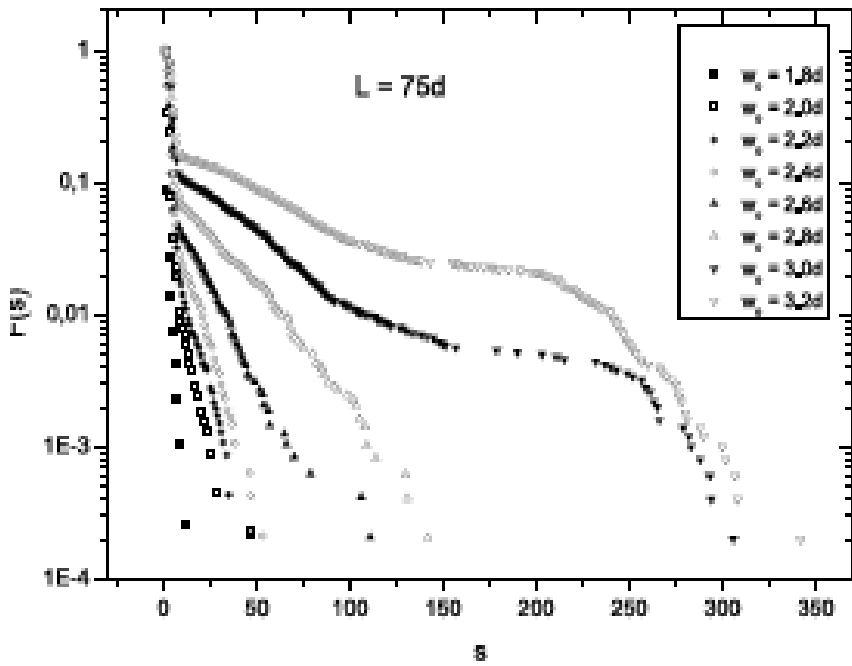


O. Ramos, E. Altshuler and K. J. Maloy, *Avalanche prediction in Self-organized systems*, Preprint cond-mat/0808.0623v1, (2008).



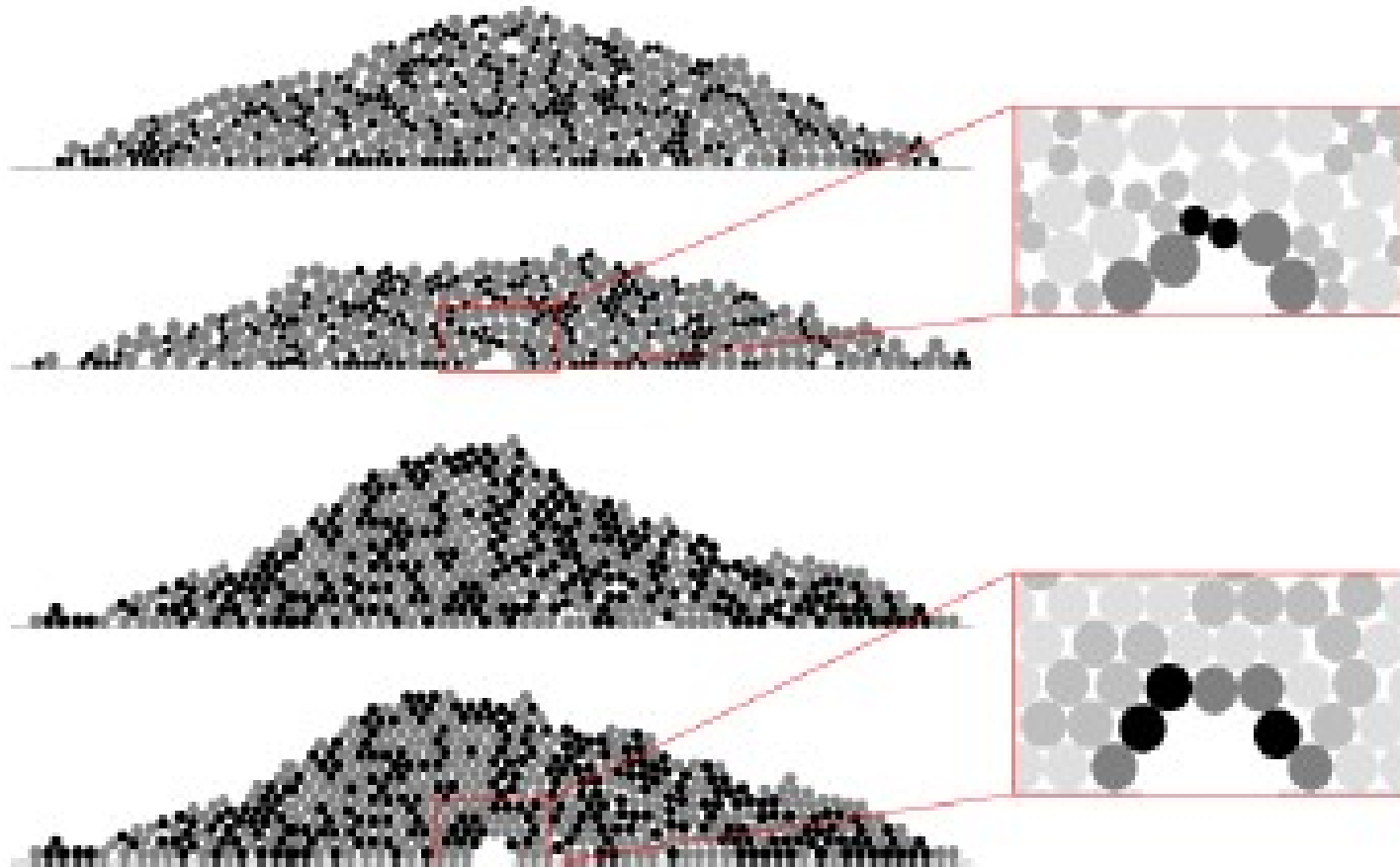
MAGALHÃES, Caio Franca Merelim ; MOREIRA, J. G. ; ATMAN, A. P. F. . *Catastrophic regime in the discharge of a granular pile*. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print), v. 82, p. 051303, 2010.

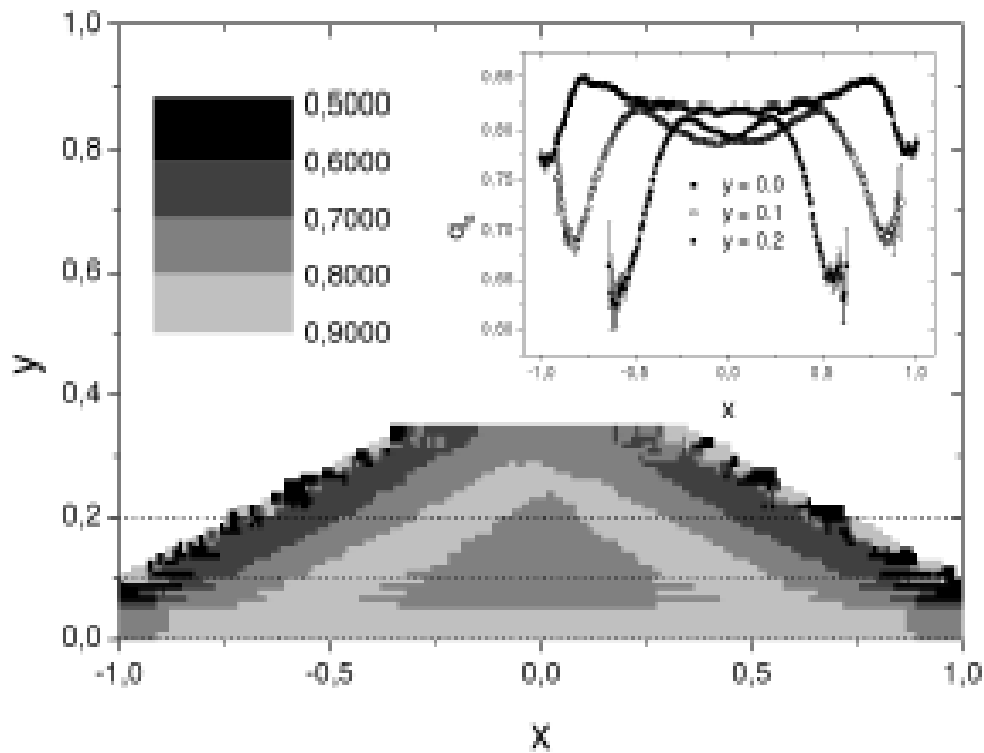




Segregação na formação de arcos em empilhamentos granulares

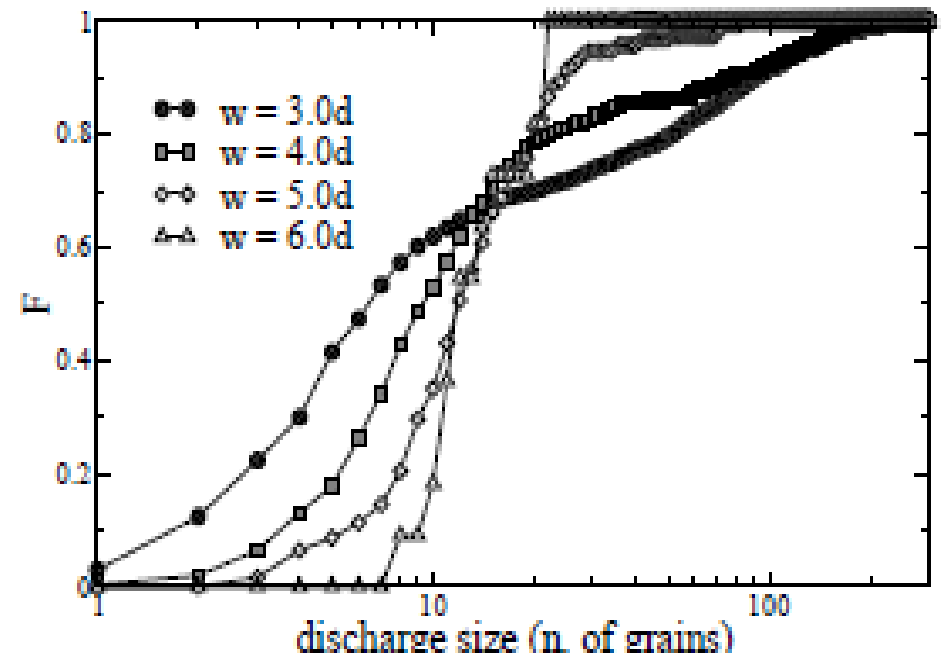
José Guilherme Moreira - UFMG
Caio F. M. Magalhães - CNPq - UFMG



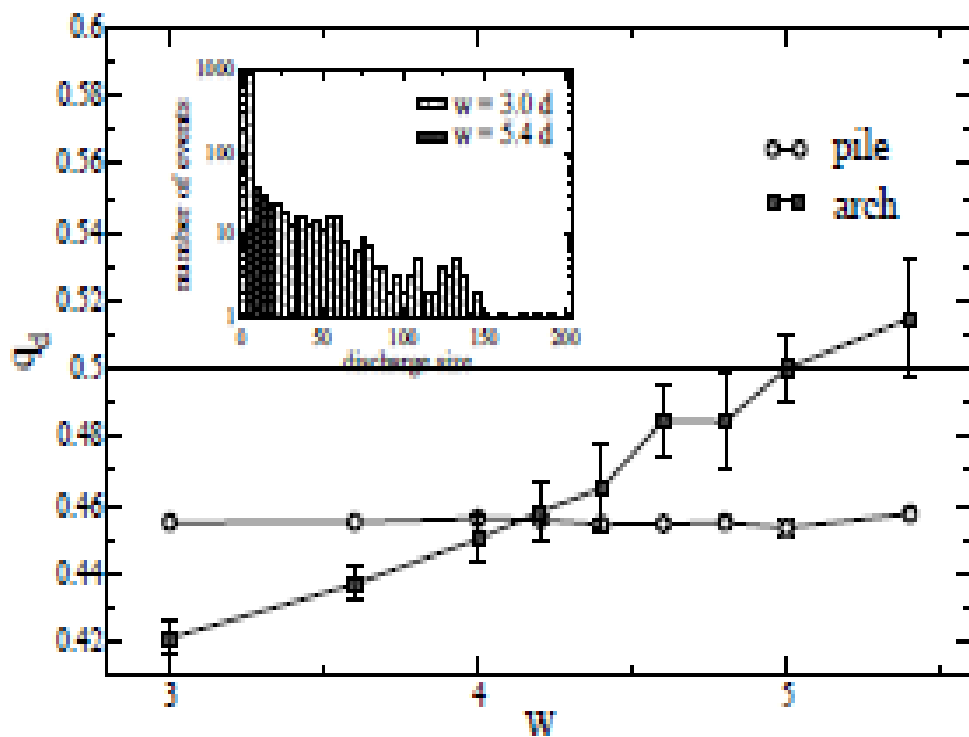
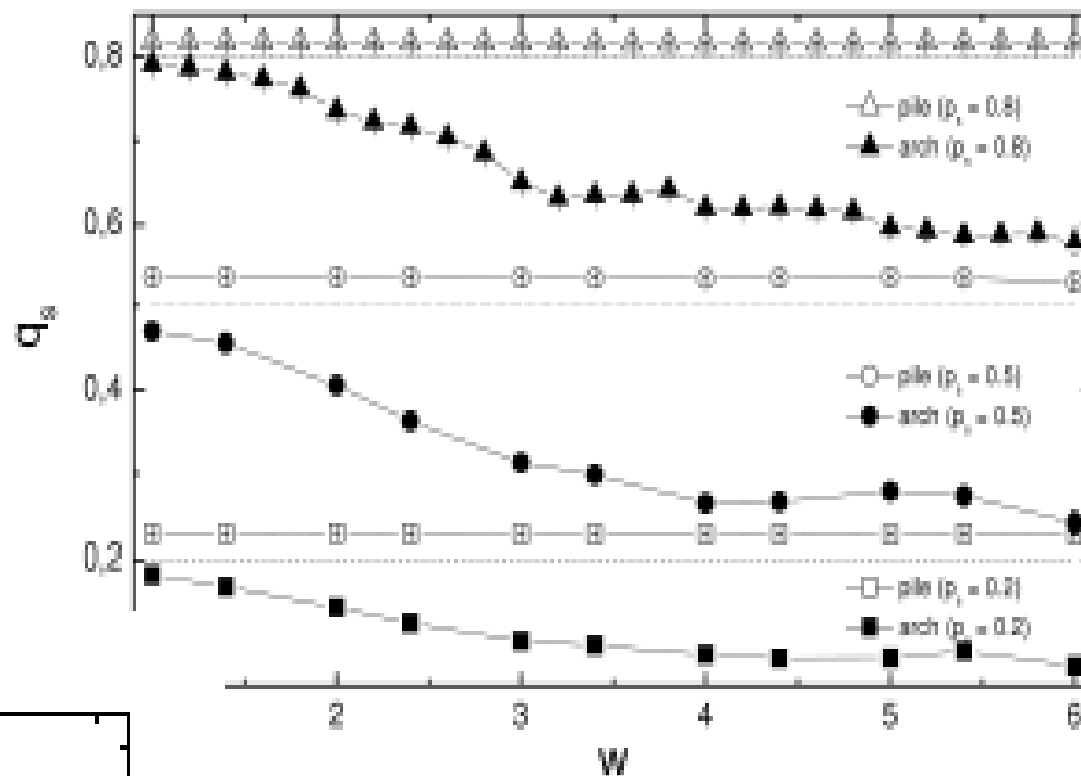


Distribuição de tamanhos na formação da pilha

Distribuição de Avalanches



Segregação por Tamanhos



Segregação por Densidades

Granular Fingers on Jammed Systems: New Fluidlike Patterns Arising in Grain-Grain Invasion Experiments

PRL, 99, 068001 (2007)



André F. Pinto
Marcos S. Couto

*Universidade Federal
de Viçosa*

A. P. F. Atman
Sidiney G. Alves

*Universidade
Federal
de Minas Gerais*



Américo T. Bernardes
Hélio F.V. de Resende
Ester C. Souza
*Universidade
Federal
de Ouro Preto*

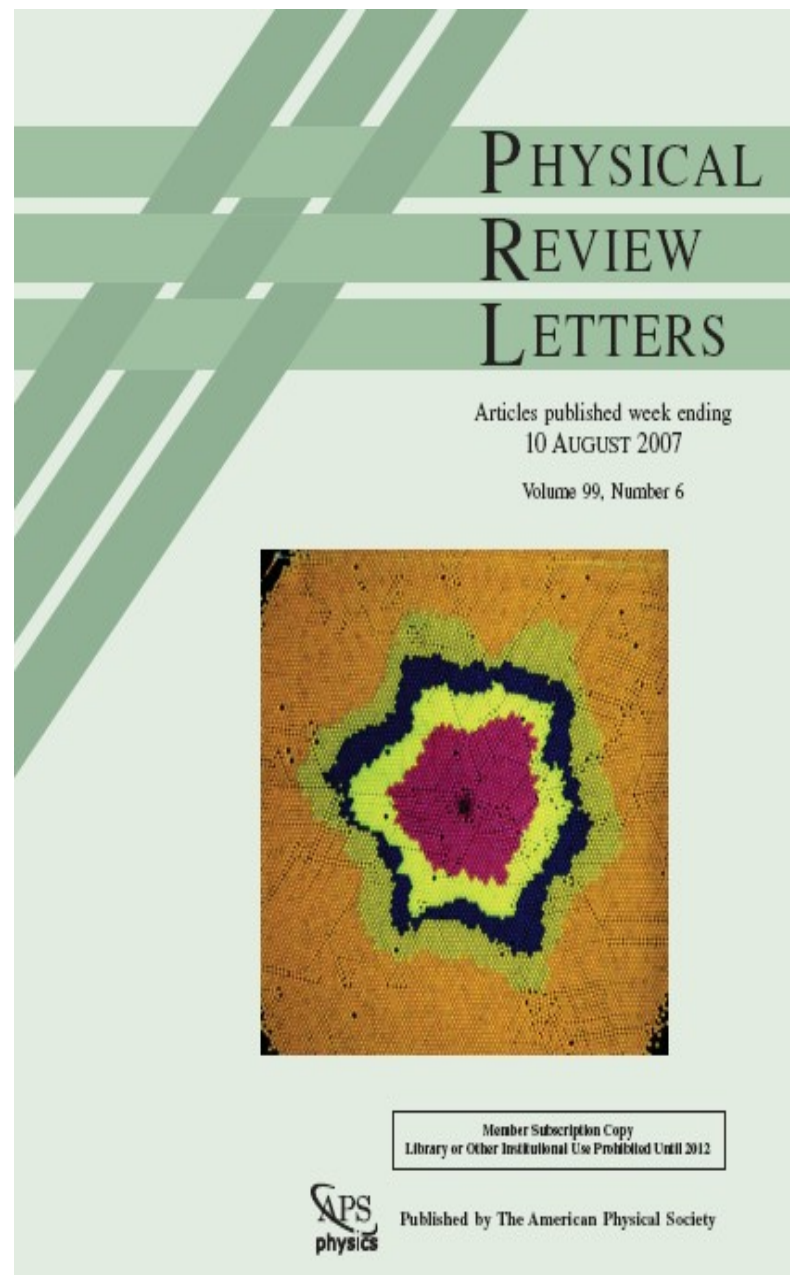
A. P. F. Atman

Daniel I. F. Barragan - PIBIC
Fapemig
Gustavo H. B. Martins - PIBIC
Fapemig

CEFET-MG

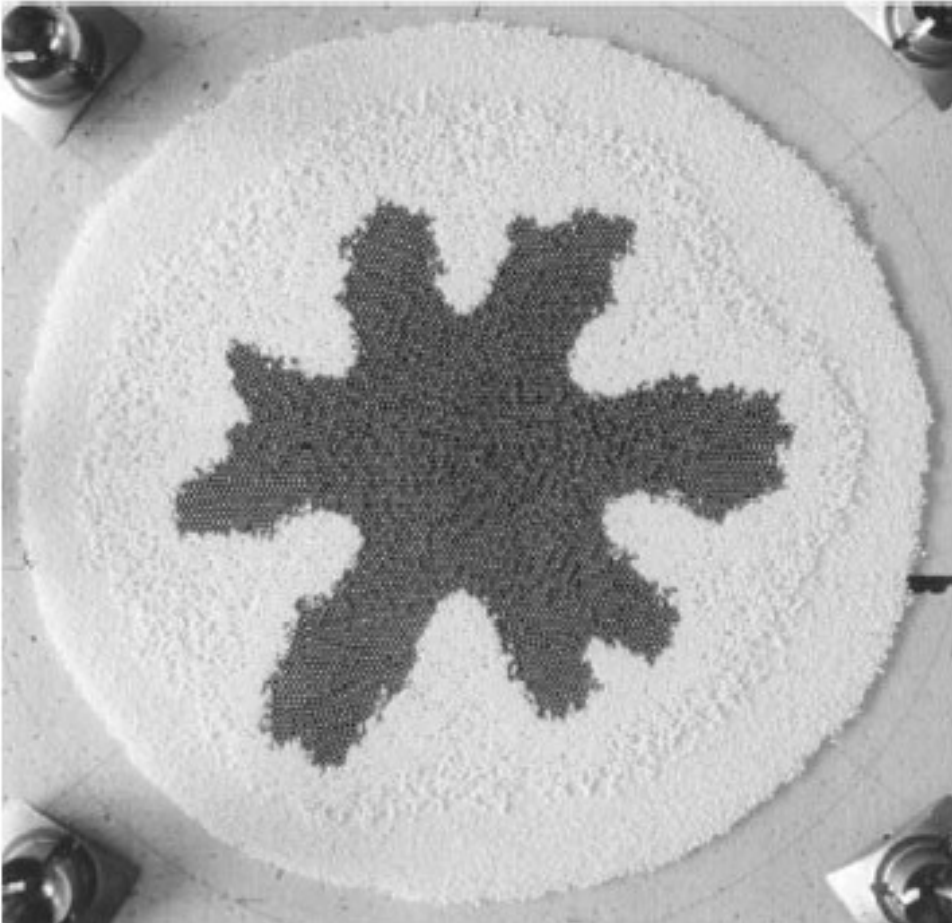


Evelyne Kolb
PMMH/ESPCI - Paris VI & VII

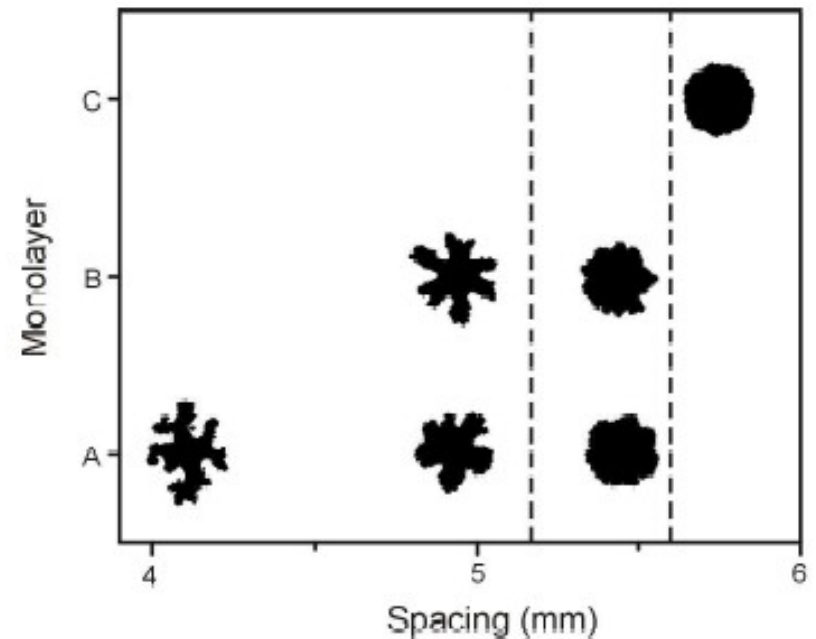
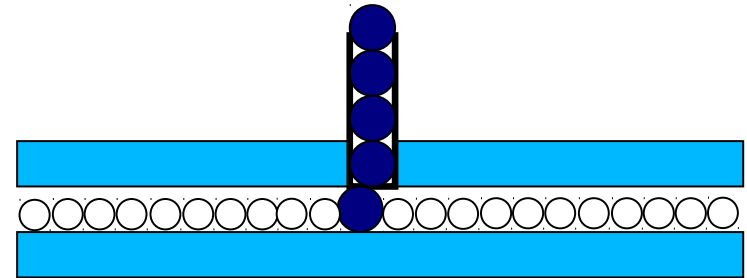


Dedos granulares na célula de Hele-Shaw

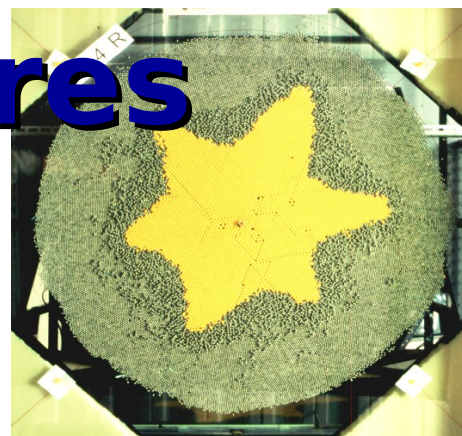
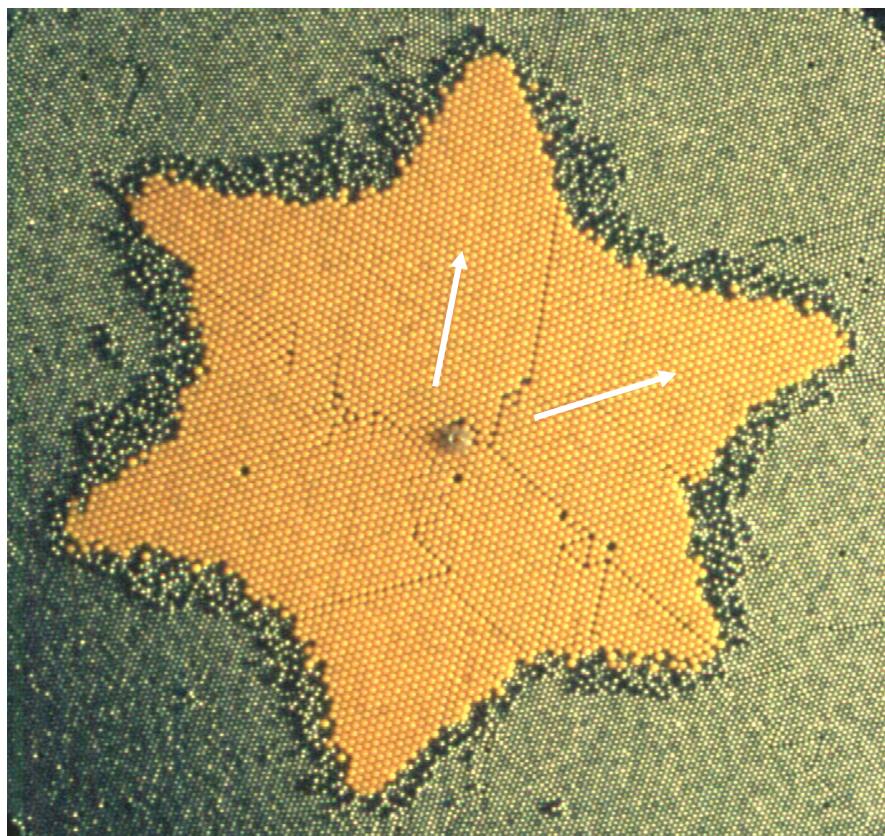
Marcos S. Couto (UFV), M. L. Martins (UFV), S. G. Alves(UFMG) [arXiv:cond-mat/0012441](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0012441)



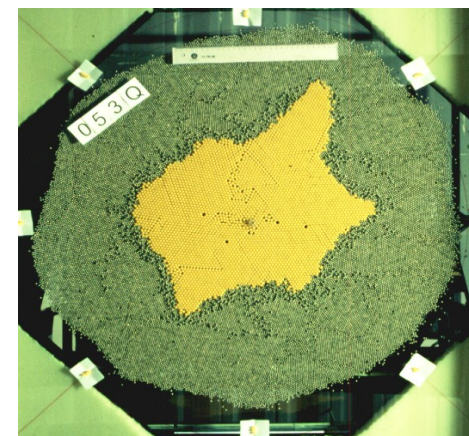
Bolas de aço deslocando isopor



Dedos Granulares



(a)

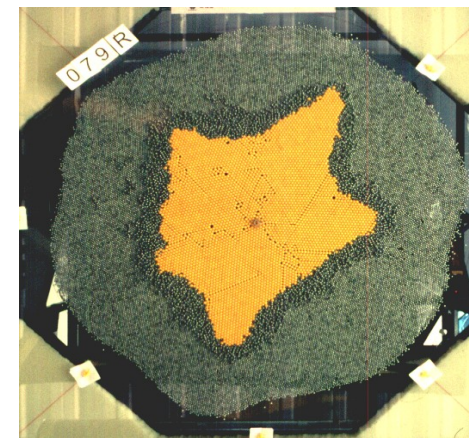


(b)

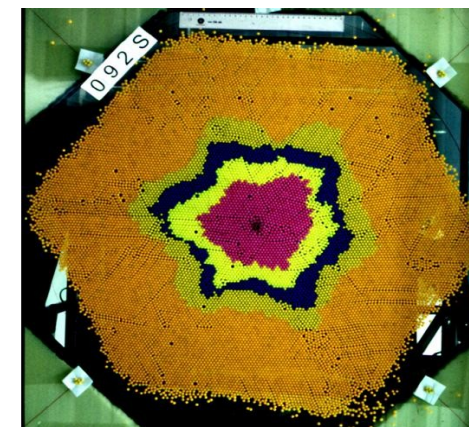
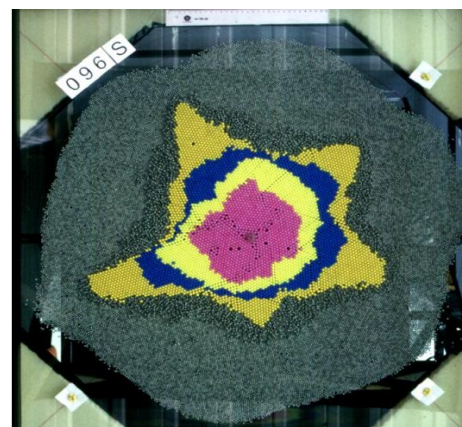
20 cm



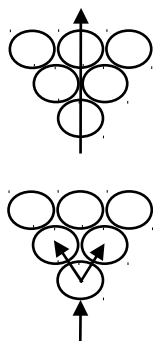
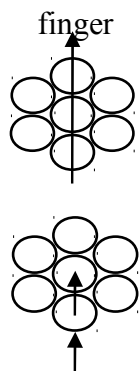
(c)



(d)



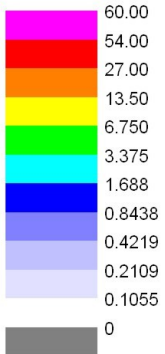
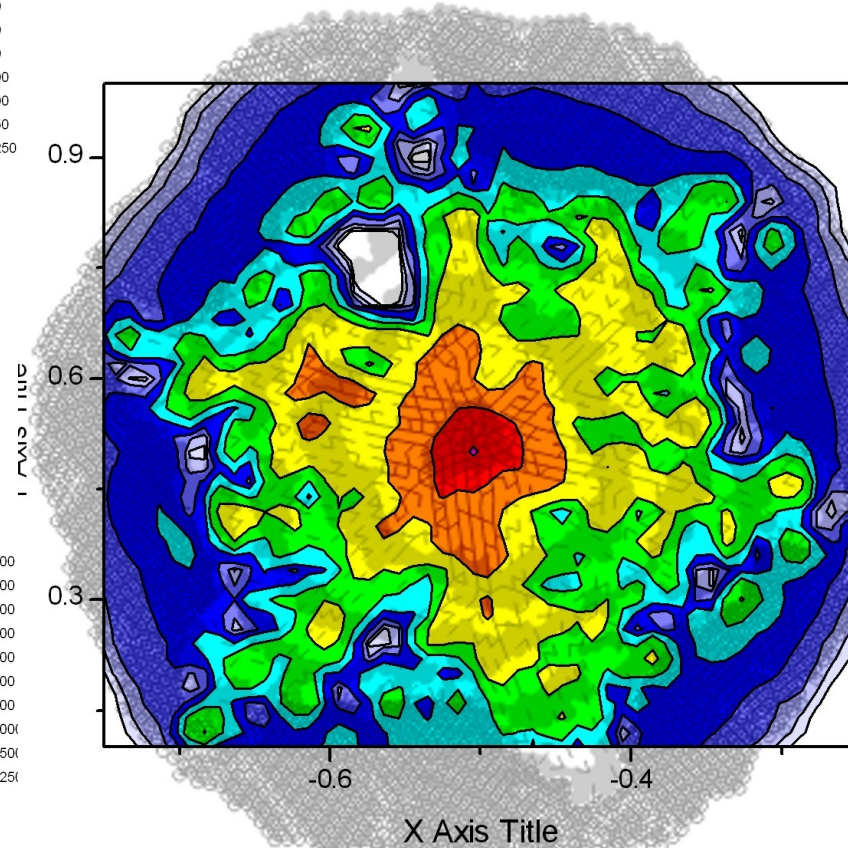
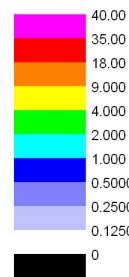
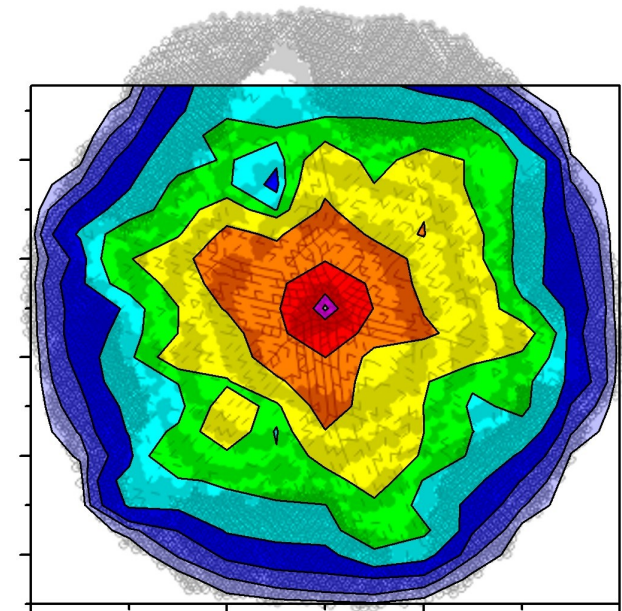
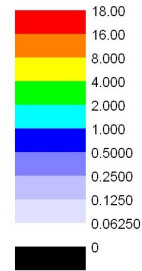
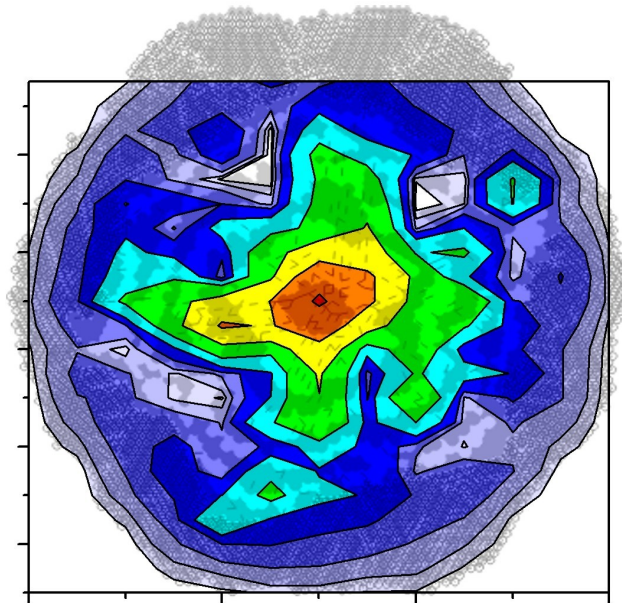
Bolas de plástico
(grandes)
deslocando bolas
de ferro
(pequenas)



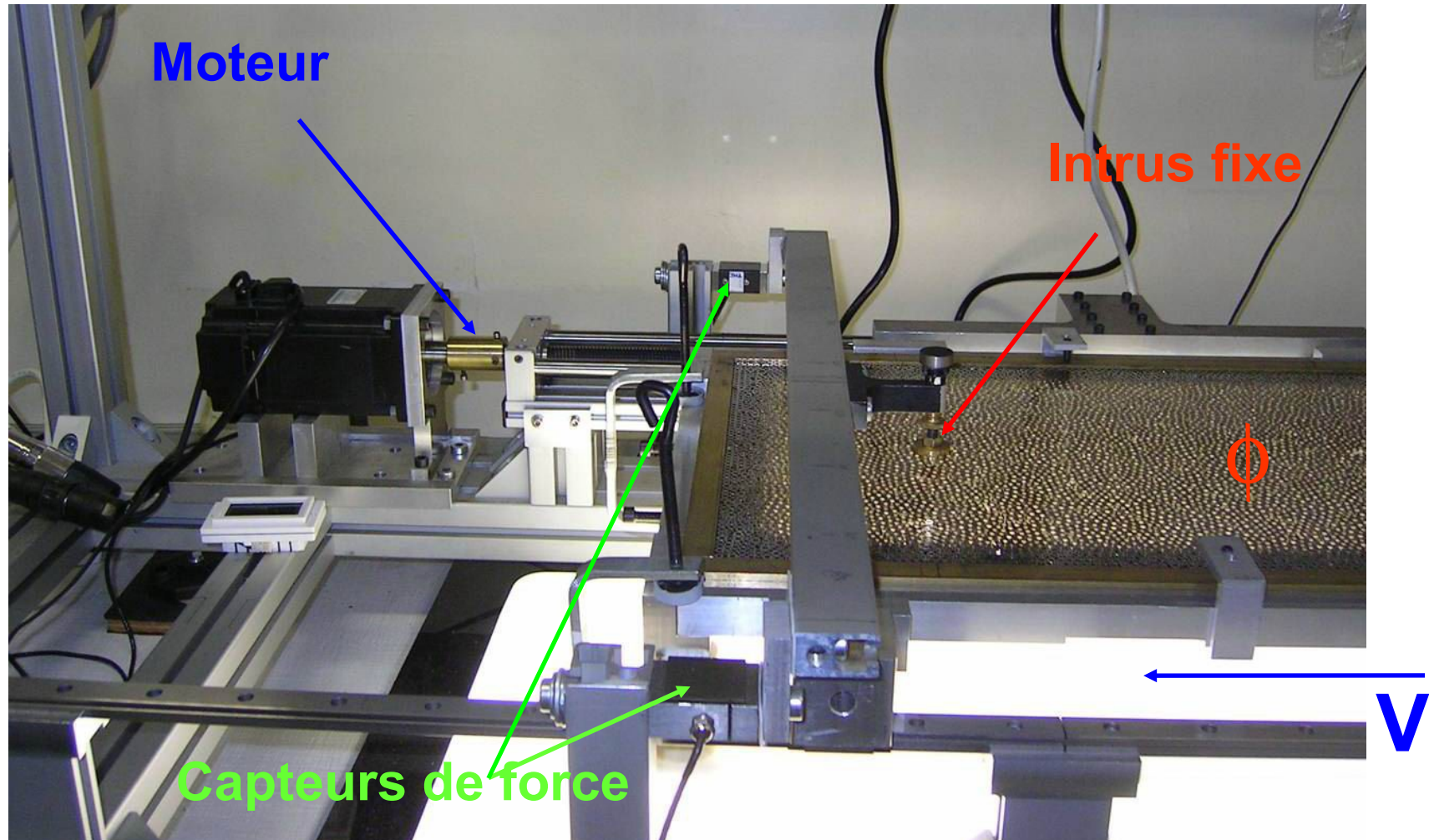
Tensor de tensões

da rede de

calculado a partir
contactos

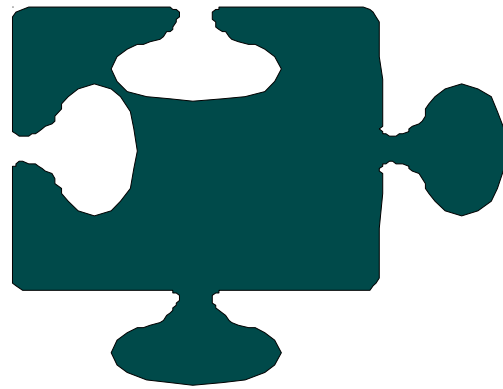


Escoamento granular em torno de um intruso



Aparato Experimental – Evelyne Kolb – PMMH/ESPCI – Université Paris 6&7

Experimento com grãos fotoelásticos



Experimento com meio granular

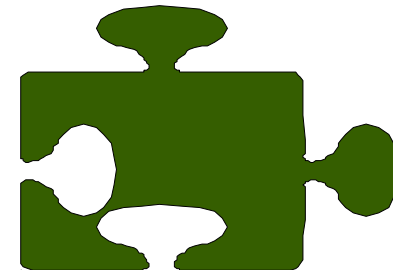
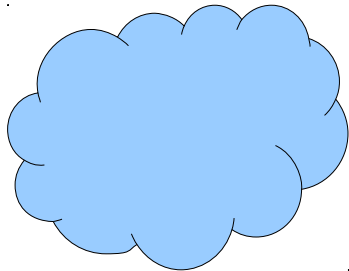
bidisperso – P. Cixous, E. Kolb, J.P. Charmet, *Powders and Grains* 2009

Simulações:

A.P.F. Atman

Gustavo H. B. Martins PIBIC – IC – Fapemig

Humberto S. Paiva – Professor – CEFET/MG



Empurrar a Caixa

Altura: 30 Nome do Arquivo: DMconfou20.dmc
 Largura: 15 Salvar com Nome: saída

nq = 21

Salvar Backup com Nome: Backup

Constante de Mola Direção Normal: 1000
 Constante de Mola Direção Tangencial: 750

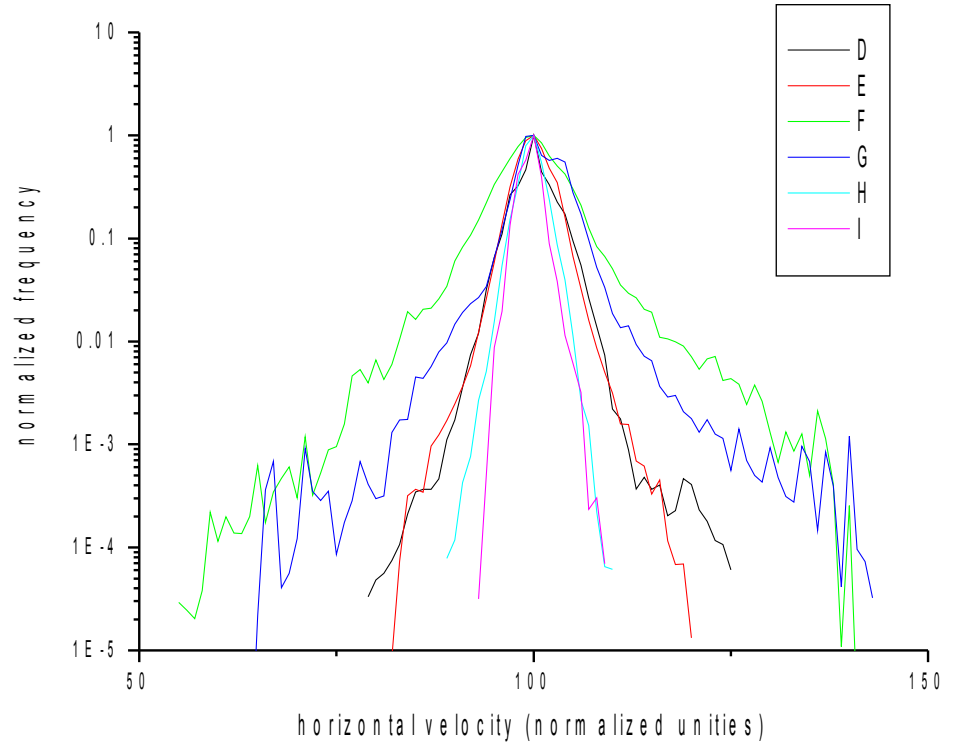
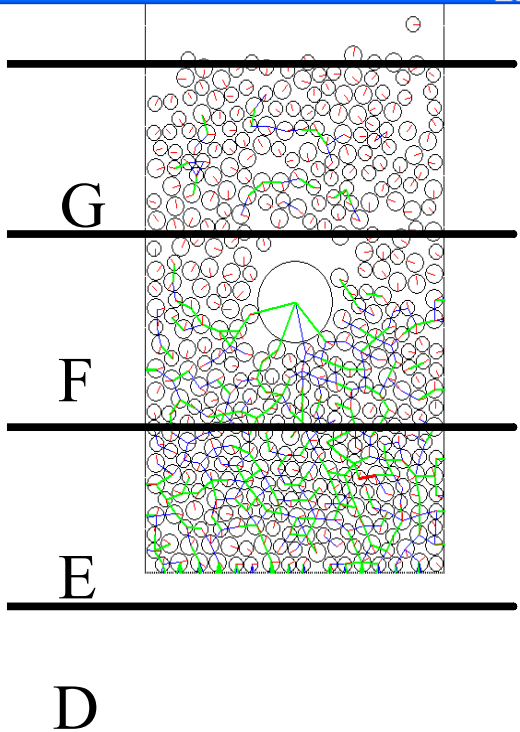
Coefficiente de Atrito: 0.5

Coefficiente de amortecimento: 1
 Frequência de Amostragem: 1000

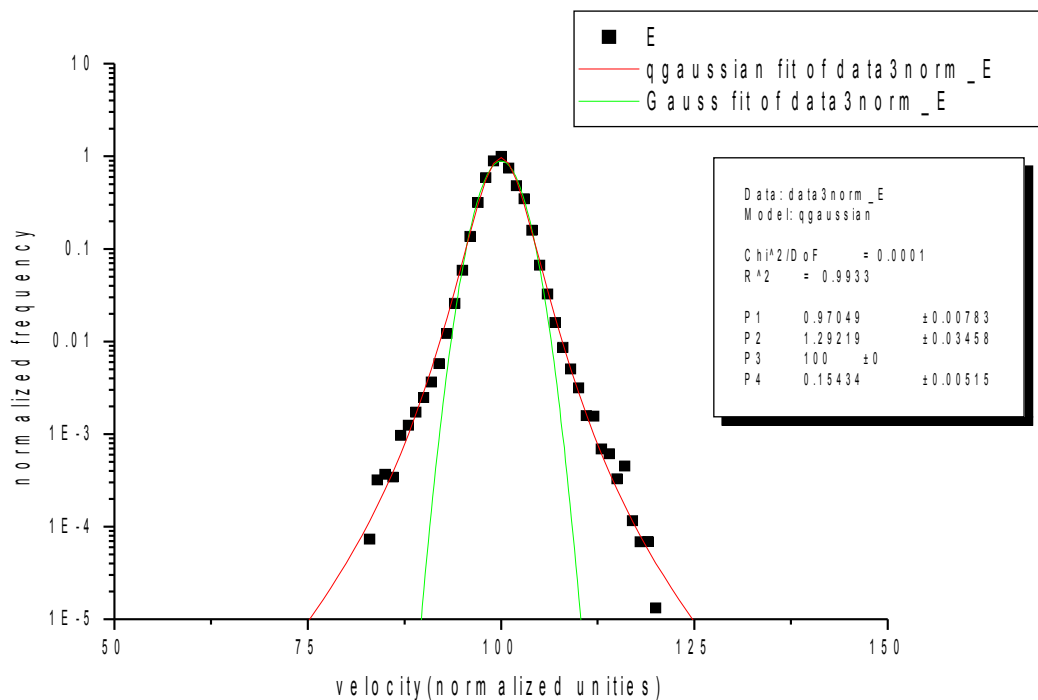
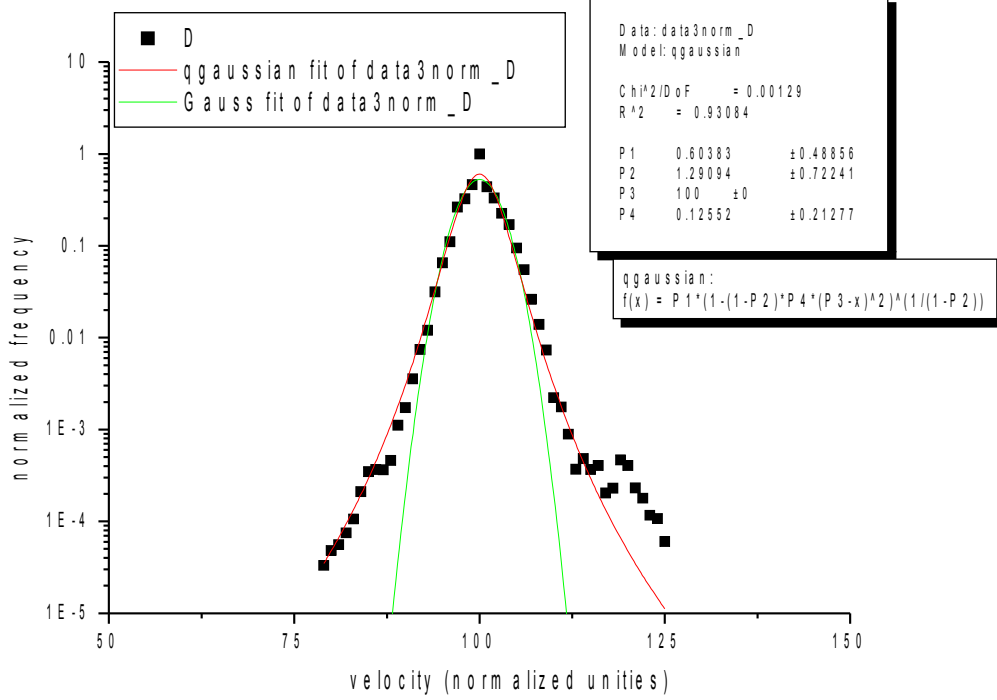
Frequência de Cálculo de Vizinhos: 100
 Frequência para Verificar Equilíbrio: 1000 Finalizar Aplicação

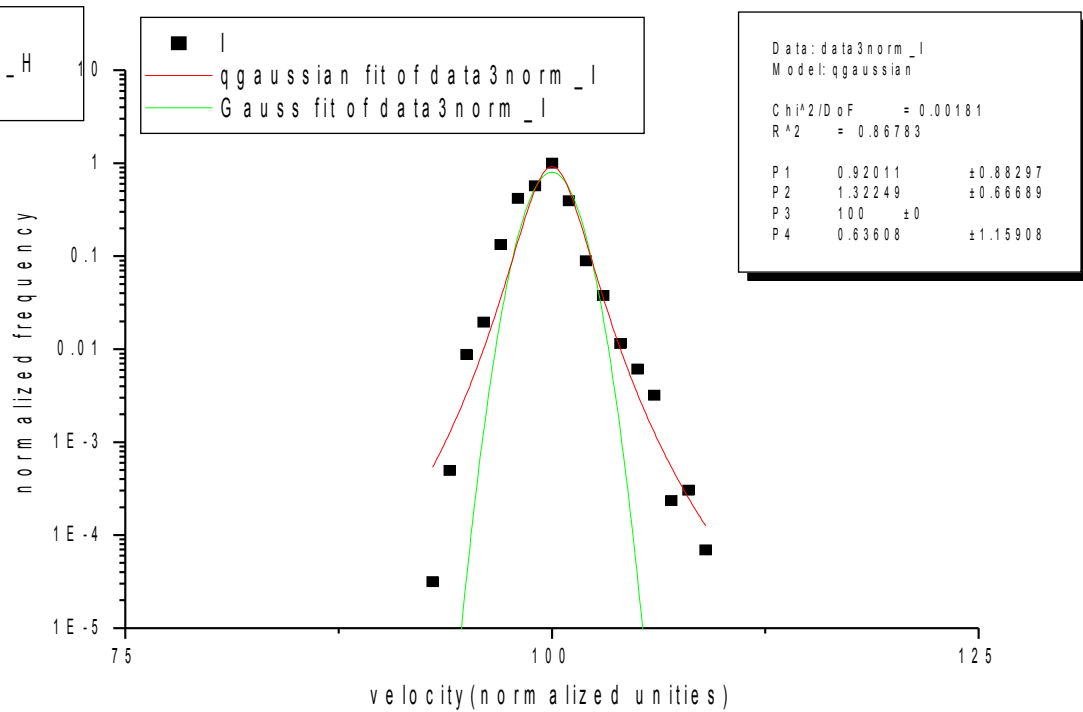
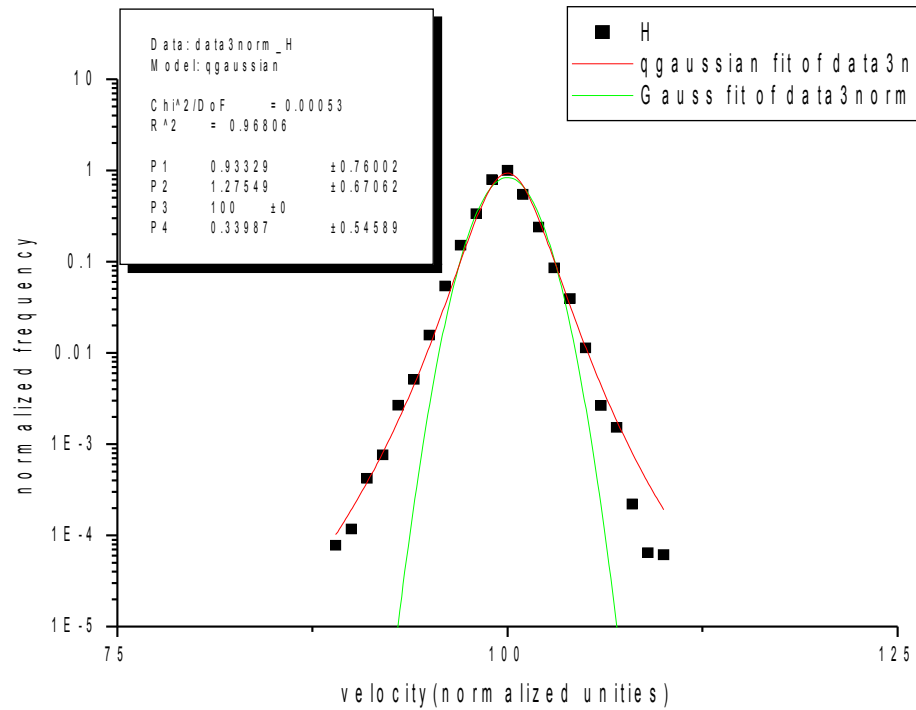
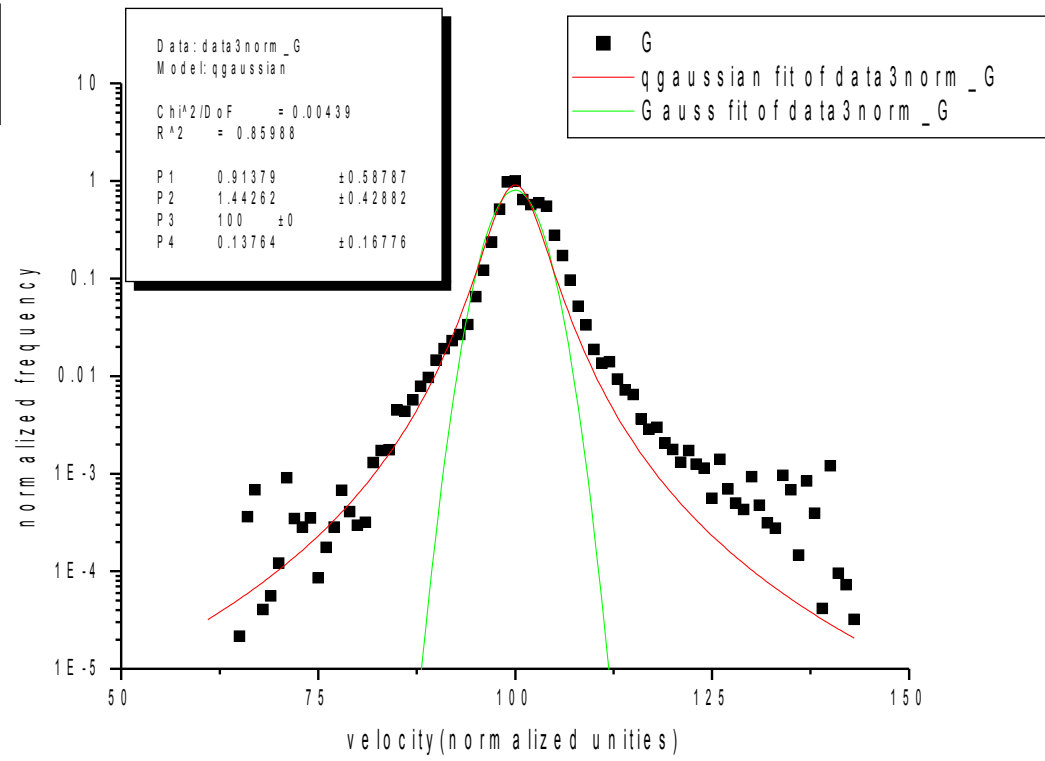
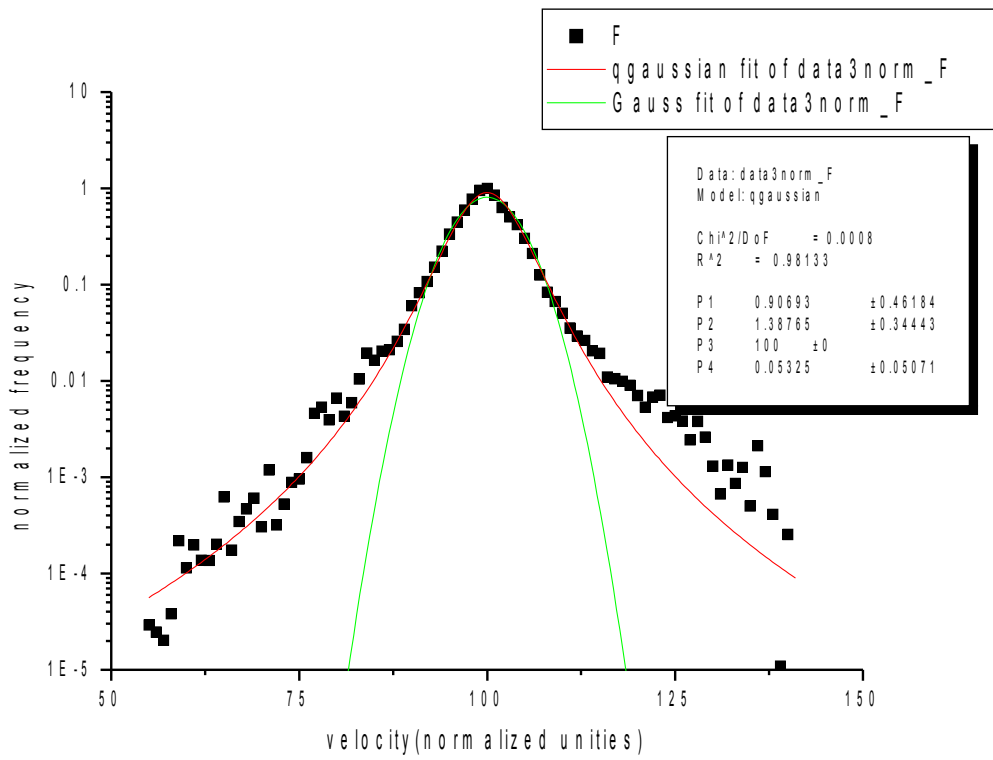
Frequência da Imagem: 10
 Escala da Imagem: 1

Leitura Inicial das Forças? Posição Angular?
 Velocidade de Inicialização Aleatória? Intensidade das Forças?



Windows taskbar showing various open applications and system icons.





Simulações de Sistemas Complexos

atman@dppg.cefetmg.br

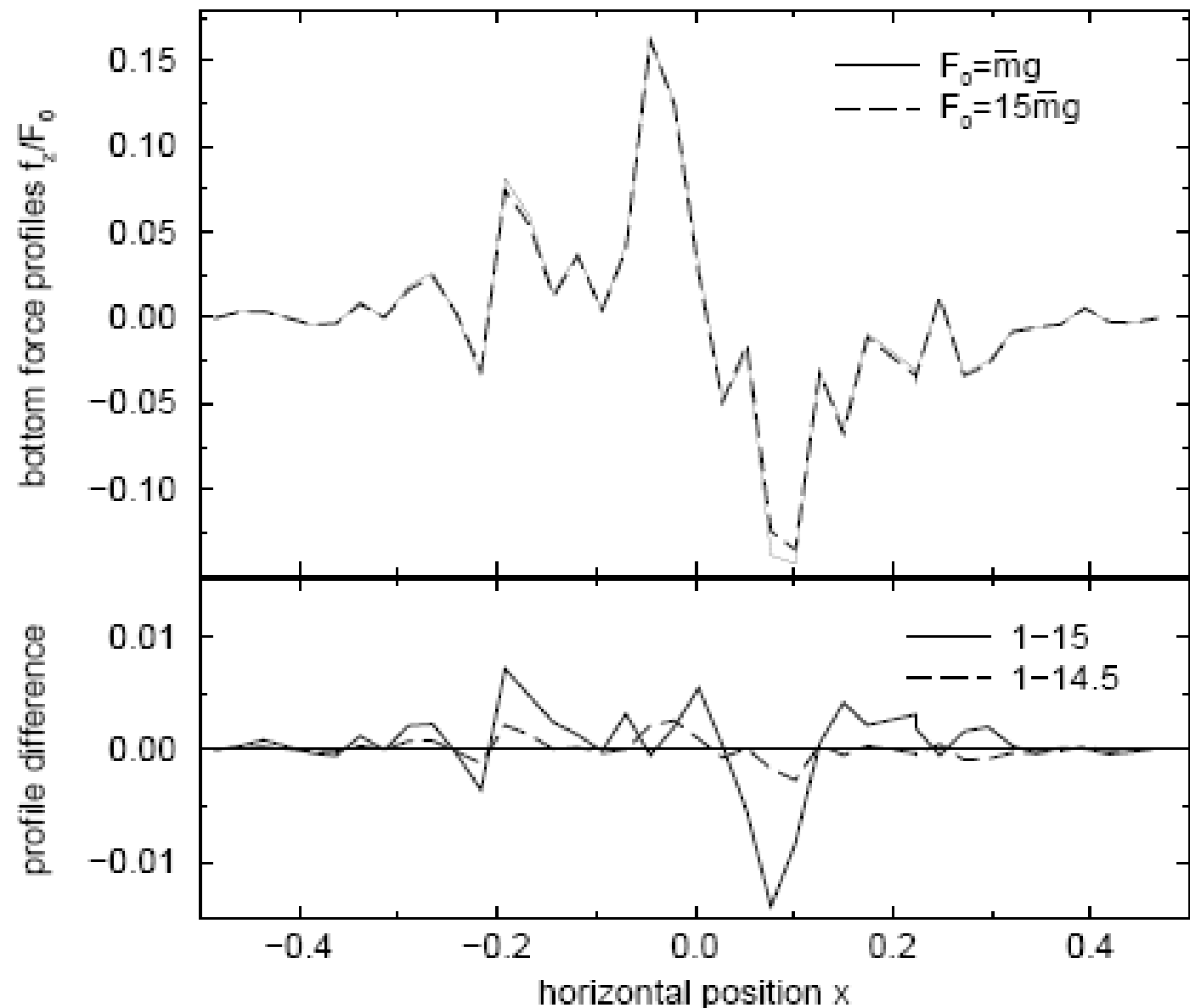


A.P.F. ATMAN

GESC - Grupo de Estudos em Sistemas Complexos
PPGMMC - Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional
Departamento de Física e Matemática - DFM/CEFET-MG
INCT - Sistemas Complexos

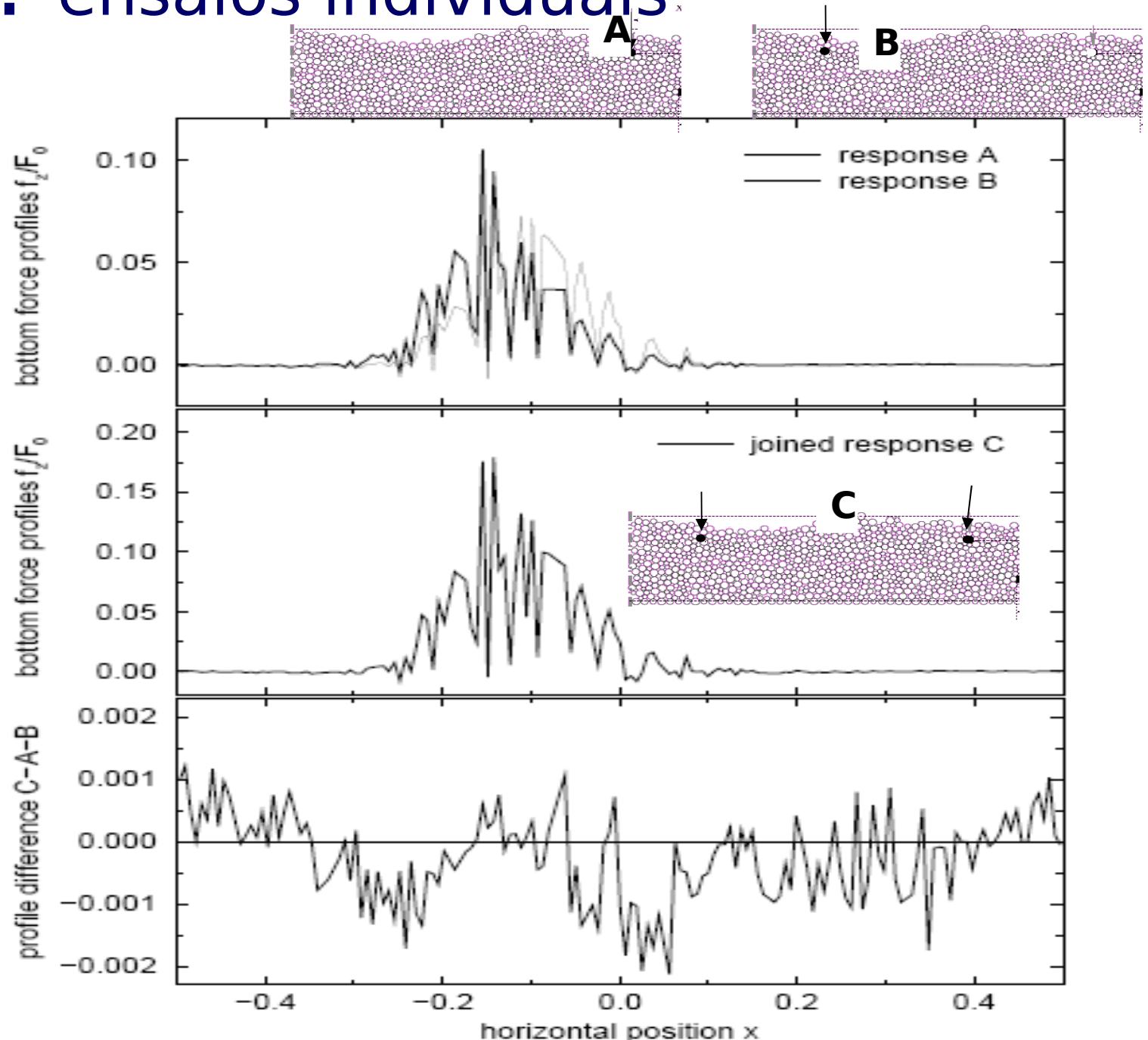
Testes: ensaios individuais

Linearidade:

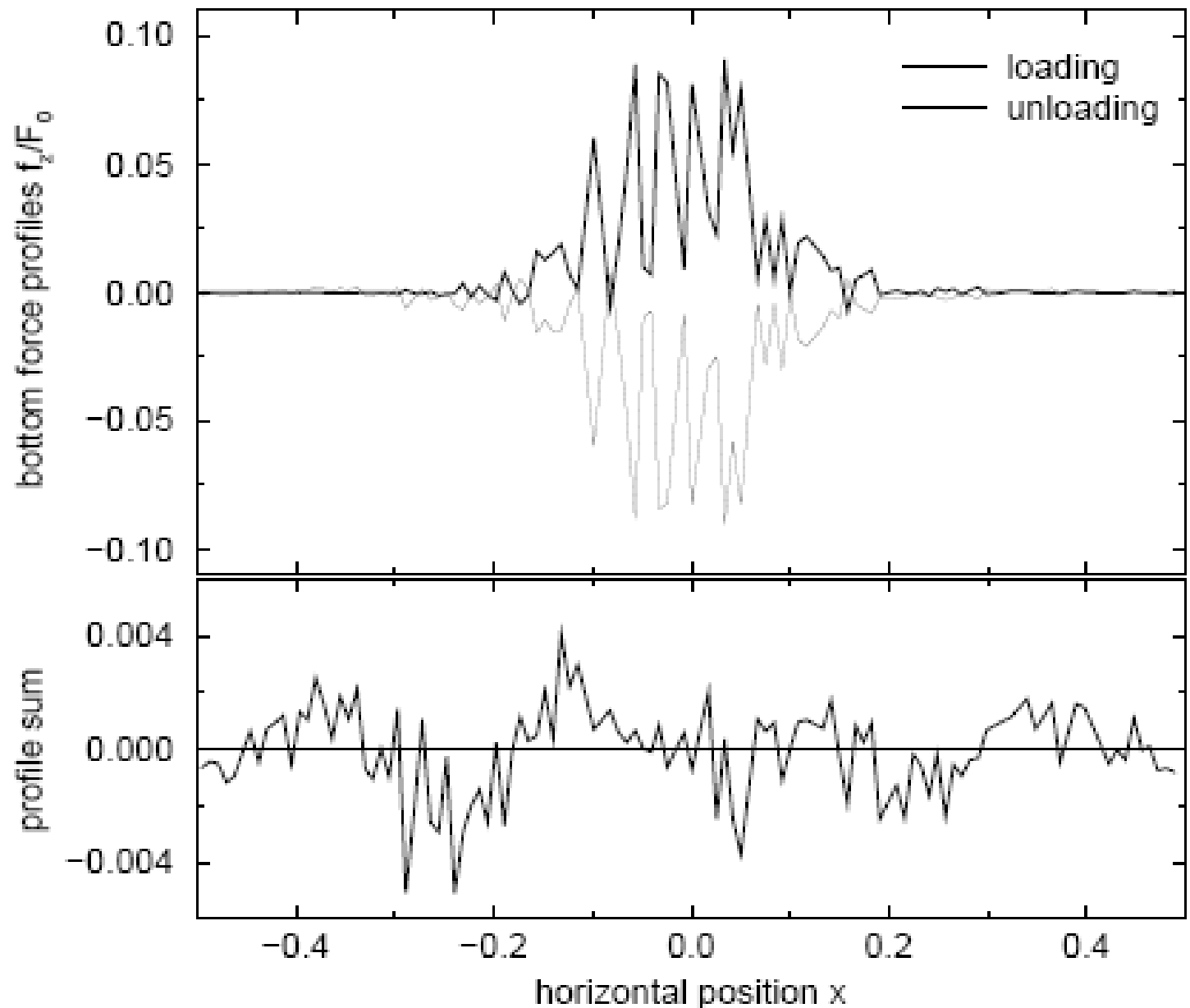


Testes: ensaios individuais

Aditividade



Testes: ensaios individuais

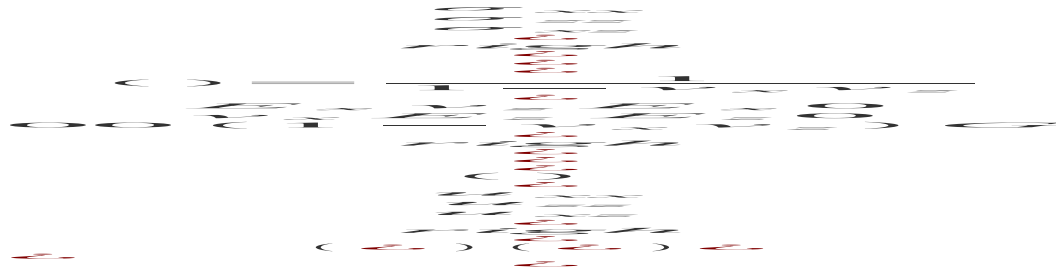


Reversibilidade

Teoria Elástica

Tensor de tensões: σ_{ij} ; tensor de deformações: $\frac{1}{2}(\partial_i u_j + \partial_j u_i)$
 u_{ij}

Relação
tensão-deformação:



onde $E_{x,z}$ e G são respectivamente o módulo de Young e o módulo de cisalhamento, e $\nu_{x,z}$ são os coeficientes de Poisson.

Condições de
Equilíbrio:

$$\begin{aligned} \partial_z \sigma_{zz} + \partial_x \sigma_{xz} &= 0 \\ \partial_z \sigma_{xz} + \partial_x \sigma_{xx} &= 0 \end{aligned}$$

{ $\downarrow \downarrow \downarrow$ \downarrow

Relação de
compatibilidade:

$$\partial_z^2 u_{xx} + \partial_x^2 u_{zz} - 2 \partial_x \partial_z u_{xz} = 0$$



Teoria Elástica (2)

Considerando soluções do tipo $e^{iqx + iXqz}$, vemos que X deve ser soluções da equação:

$$X^4 + 2rX^2 + t = 0 \quad (\text{caso isotrópico } (X^2 - 1)^2 = 0)$$

$$\Rightarrow X = \pm \sqrt{\frac{-r}{2} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4} - t}} \quad \text{onde } t = \frac{E_x}{E_z} \text{ e } r = \frac{1}{2} E_x \left(\frac{2}{G} - \frac{\nu_z}{E_z} - \frac{\nu_x}{E_x} \right)$$

As soluções para as componentes de tensão são

$$\sigma_{zz} = \int_{-\infty}^{\infty} dq \sum_{k=1}^4 a_k(q) e^{iqx + iX_k qz}$$

$$\sigma_{xx} = \int_{-\infty}^{\infty} dq \sum_{k=1}^4 a_k(q) X_k^2 e^{iqx + iX_k qz}$$

$$\sigma_{xz} = - \int_{-\infty}^{\infty} dq \sum_{k=1}^4 a_k X_k(q) e^{iqx + iX_k qz}$$

com a_k determinados pelas condições de fronteira.



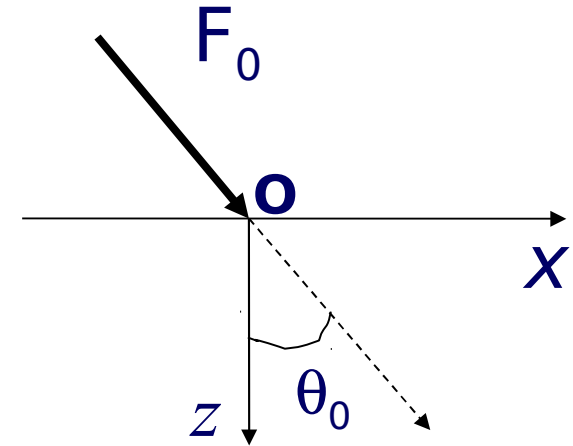
Plano Semi-infinito

Condições de fronteira:

$$\text{Para } z = 0: \sigma_{zz} = F_0 \cos \theta_0 \delta(x)$$

$$\sigma_{xz} = F_0 \sin \theta_0 \delta(x)$$

Para $z = \infty$: todas as tensões se anulam.



Considerando os possíveis valores para os X_k , existem dois casos:

Caso I ($t > r^2$):
Região I

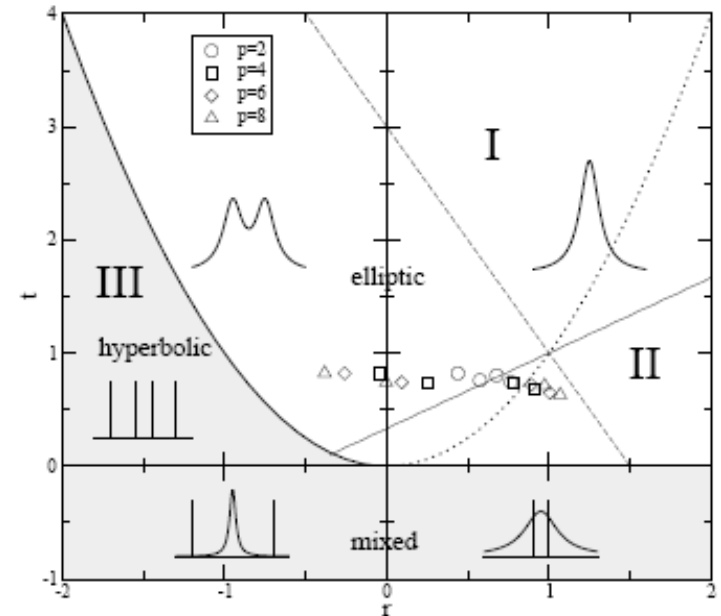
$$\begin{aligned} X_1 &= -X_4 = \beta - i\alpha \\ X_2 &= -X_3 = -\beta - i\alpha \end{aligned}$$

$i \quad i \quad i \quad i$

Caso II ($t < r^2, r > 0$):
Região II

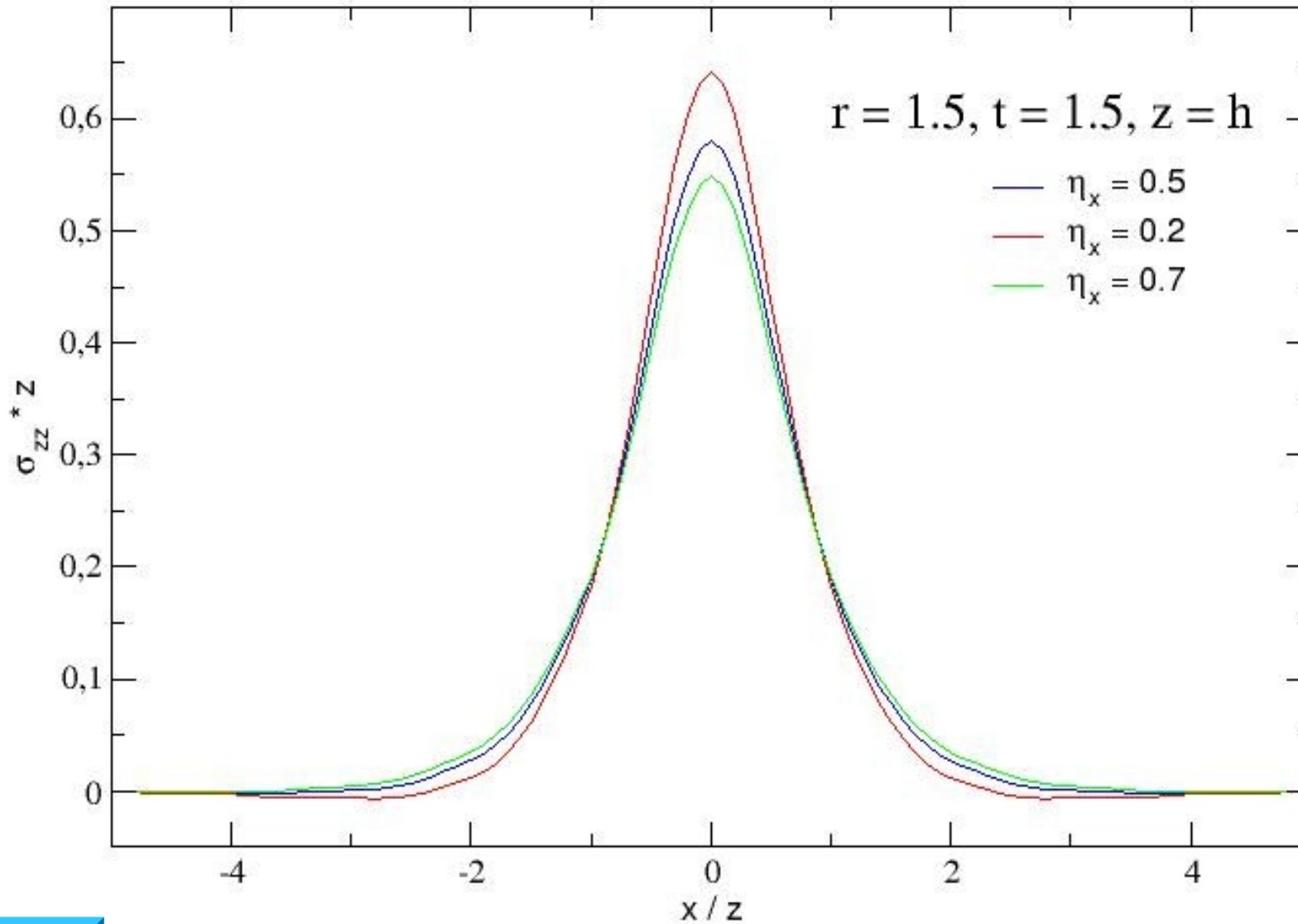
$$\begin{aligned} X_1 &= -X_4 = i\alpha_1 \\ X_2 &= -X_3 = i\alpha_2 \end{aligned}$$

$i \quad i \quad i \quad i$



Expressões analíticas para as tensões: Otto *et al.*, *PRE* **67**, 031302 (2003).

Perfis

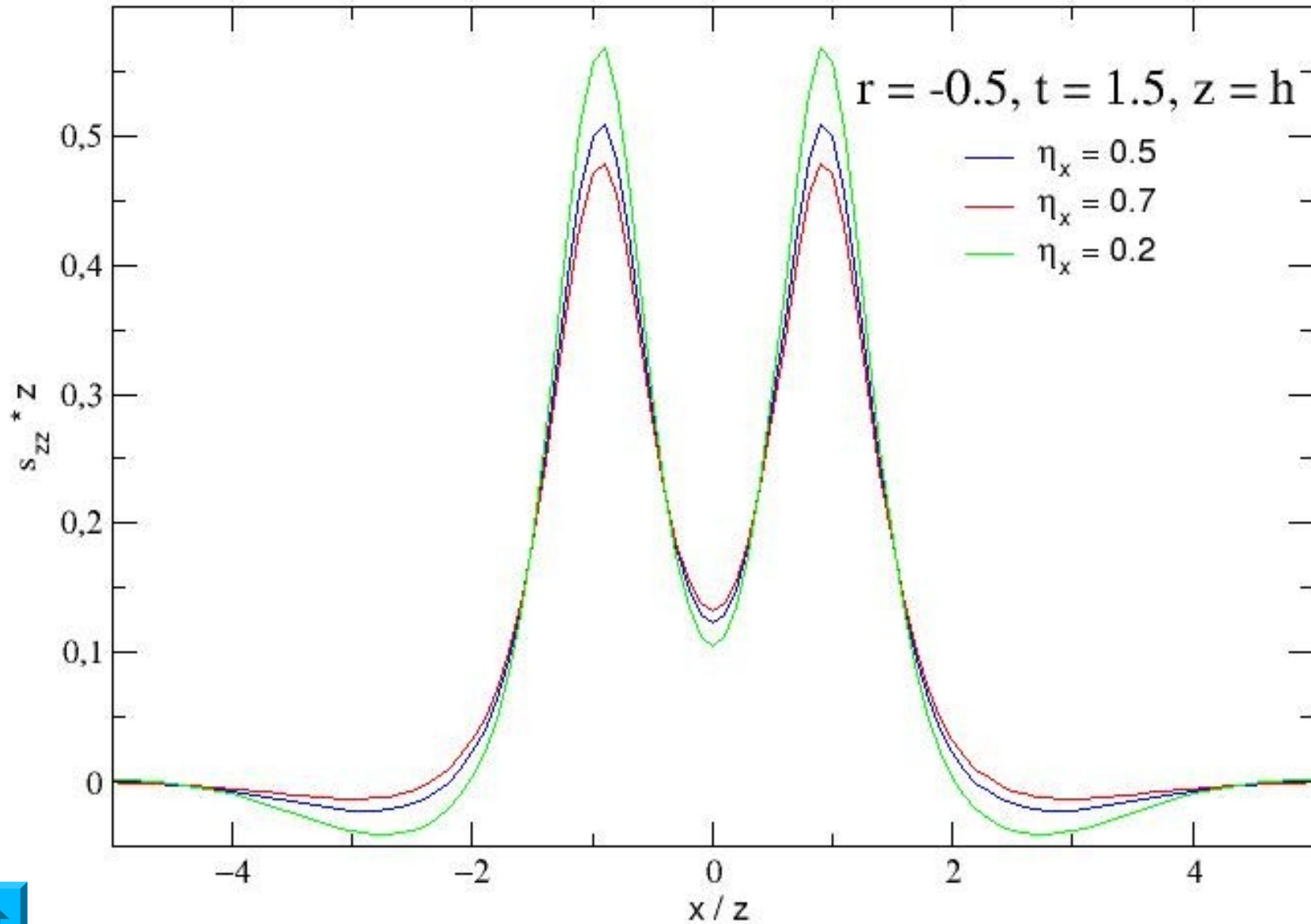


pico único
pico duplo

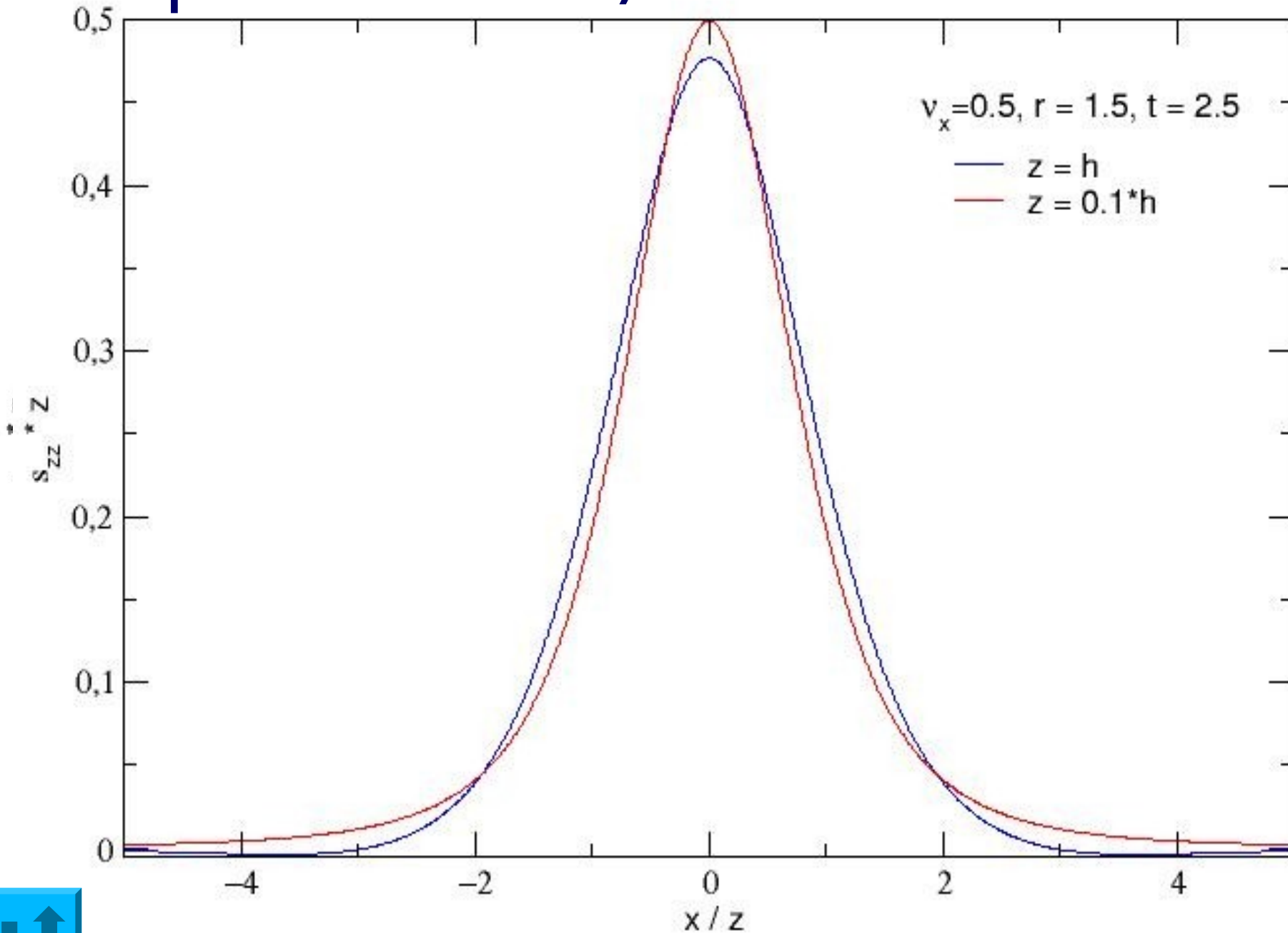
z e h



Duplo pico



Dependência z/h



Resultados - Ajuste elástico

