

ESTUDO DO EMPACOTAMENTO DE DISCOS RÍGIDOS EM CÉLULA HELE SHAW NA PRESENÇA DE OBSTÁCULOS FIXOS

Wellington Castro Ferreira (bolsista do PIBIC-ICV/CNPq), Valdemiro da Paz Brito (Co-Orientador, UFPI-PI), José Pimentel de Lima (Orientador Depto de Física – UFPI).

Introdução

Problemas de empacotamento são de notável importância para muitos ramos da indústria e da ciência. Teorias, experimentos e investigações tecnológicas destes problemas têm atraído muita atenção da comunidade científica [1]. O comportamento físico de sistemas com a geometria de discos rígidos em uma célula Hele Shaw tem sido um objeto de contínuo interesse nas ciências físicas. Nas últimas décadas, esta geometria tem despertado o interesse nas relações com muitos problemas em física, como por exemplo, no estudo de deformações elásticas e inelásticas em polímeros, assim como em fenômenos de cristalização. Outros trabalhos usando uma configuração semelhante, como a configuração de empacotamento de um fio de contas em 2D em célula quadrada [2] alcançaram resultados satisfatórios e de destaque na literatura. Neste trabalho investigamos o problema do empacotamento em duas dimensões de discos rígidos em uma célula Hele Shaw em acrílico (de tamanho $L \times A \times D$) que permite acomodar configurações com apenas uma única camada de discos com (diâmetro $d=1,01\text{cm}$) na presença de obstáculos fixos (pinos metálicos colocados transversalmente). Nossa motivação foi estudar experimentalmente a fração de empacotamento máximo, $p_{\text{máx}}$, dos discos rígidos em função do número de obstáculos, e então estudar as correlações espaciais e comprimento de persistência. O estudo foi realizado a partir das imagens das configurações de discos rígidos de diâmetro $d=1,01\text{cm}$, obtidas no limite de empacotamento máximo.

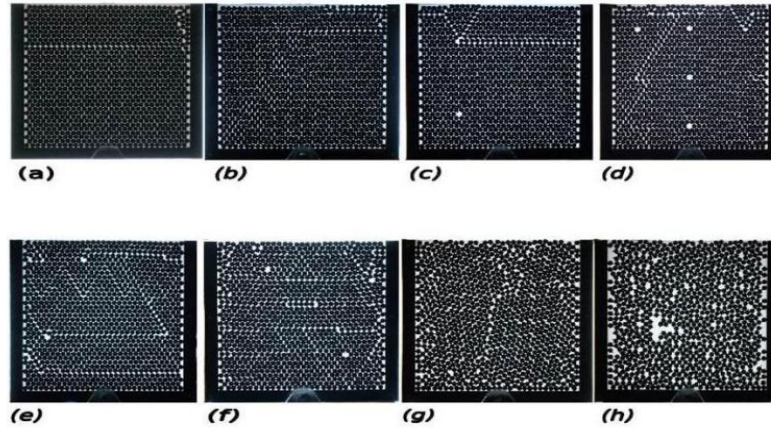
Metodologia

O aparato experimental utilizado para o estudo de empacotamento de discos rígidos foi composto por uma célula Hele Shaw modificada, formada por duas lâminas de acrílico, com a superfície vazada a fim de acomodar os pinos metálicos colocados transversalmente na mesma, em uma malha de tamanho $L \times A \times D$, com $L=30,7\text{cm}$, $A=30,5\text{cm}$ e $D=0,5\text{cm}$, a qual pode acomodar somente configurações de uma única camada de discos de diâmetro $d=1,01\text{cm}$. Foram realizados oito experimentos, gerando configurações de empacotamento máximo com os seguintes números de pinos: $n = 0, 1, 4, 9, 16, 36, 144$ e 529 . A posição dos pinos foi definida dividindo a área da célula A_c em n quadrados iguais de área A_c/n com cada pino colocado no centro geométrico desses quadrados, como também para cada experimento os discos foram lançados da mesma altura e forma através de um suporte apropriado (funil). A cada cinquenta discos lançados dentro da célula fazia-se com que a mesma fosse vibrada para acomodar os discos. Ao término do empacotamento coletamos as imagens através de uma câmera digital as quais foram arquivadas no acervo do Laboratório de Fenômenos de Não-Equilíbrio.

Para o estudo detalhado da geometria intrínseca dos arranjos, foi feito o levantamento das imagens coletadas, (Fig. 1). Em seguida as imagens foram tratadas com softth GIMP. Neste tratamento, foram excluídas as bordas das imagens que contém a célula deixando somente a configuração de discos. Após isto foram feitas análises das imagens através do programa MATLAB

no qual as mesmas foram binarizadas, ou seja, transformadas em uma matriz em que seus elementos (*pixels*) assumem apenas valores 1 (*espaço vazio*) ou 0 (*discos*).

Figura 1 - configurações de discos rígidos na presença de obstáculos fixos.



Fonte: LABFNEQ, 2012.

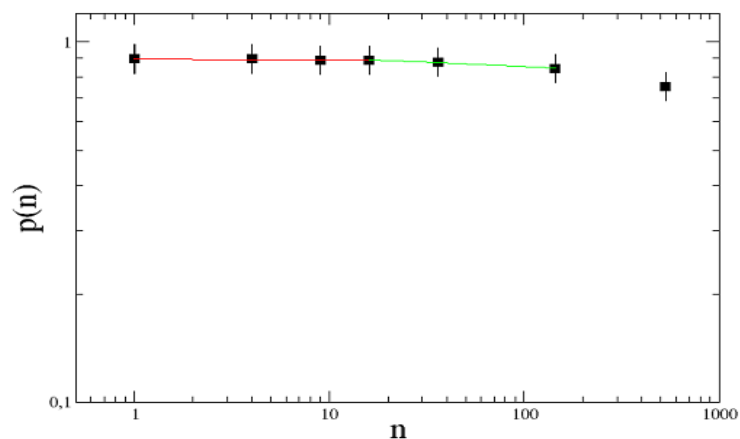
Com o objetivo de selecionar somente aqueles elementos de matriz cujos valores absolutos são iguais a 1 (*vazio*), usamos o FORTRAN para montar um algoritmo da seguinte forma: primeiramente escolhemos o pixel do início da malha, em seguida, o fazemos visitar os pixels primeiros vizinhos, após o único pixel primeiro vizinho com valor igual a 1(um), esse é definido como novo pixel para que assim o ciclo recomece.

Resultados e Discursão

Apresentamos adiante os resultados obtidos para a taxa de ocupação, p , para o estudo do empacotamento de discos rígidos, como função do número de pinos na cavidade, n , sendo que à medida que se aumenta o número de pinos, n , a fração de empacotamento dos discos $p(n)$ decresce.

A Figura 3 mostra o gráfico log-log da fração de empacotamento $p(n)$ no limite de empacotamento máximo como uma função do número de pinos n . Observa-se que $p(n)$ possui comportamento diferenciado para $n \leq 16$ e $16 \leq n \leq 529$, obedecendo a leis de escala do tipo $p(n) \sim n^{-\alpha}$, sendo α igual a $0,0033861 \pm 0,003$ (para $n \leq 16$) e $0,024163 \pm 0,02$ (para $16 \leq n \leq 529$).

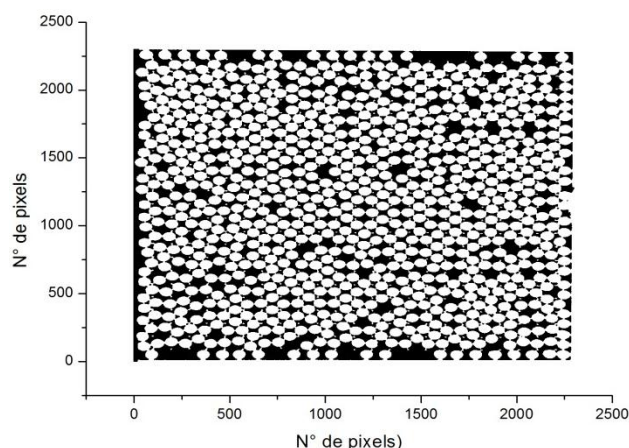
Figura 3: Gráfico log-log da fração de empacotamento $p(n)$



Fonte: LABFNEQ, 2012.

Utilizando o analisador gráfico (Origin. pro8), exportou-se todos os valores dos pixels com valor igual a 1 (um), e plotamos o gráfico para o número de pixels. A Figura 3 ilustra o gráfico para a configuração de discos rígidos empacotados para $n=529$. Podemos perceber que o gráfico descreve semelhantemente o comportamento dos discos rígidos na célula Hele Shaw modificada. Para os gráficos gerados as áreas de cor branca representam os discos enquanto as áreas de cor preta representam espaço vazio.

Figura 3: configuração para $n= 529$ após a migração para o analisador gráfico.



Fonte: LABFNEQ, 2012.

Conclusões

Através dos dados coletados observa-se que quanto maior o número de pinos menor será o movimento dos discos dentro da célula (Figuras 1 e 3). Do presente trabalho observa-se que $p(n)$ decai segundo uma lei de escala com comportamento diferenciado em duas regiões de valores de n . Nota-se também uma semelhança do nosso trabalho com o estudo de arames de liga metálica (Sn-Pb) empacotados em uma célula quase-2D povoada por pinos, em seu limite máximo de empacotamento [3]. Entre os processos relevantes que ainda podem ser aproveitados neste trabalho existe a técnica de preparação de imagens que pode ser usada para estudar outras grandezas em sistemas semelhantes.

Apoio: CAPS, CNPq, UFPI.

Referências

- [1] C. C DONATO; GOMES, M. A. F. Condensation of elastic energy in two-dimensional. Packing of wires. *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, v. 75, p. 066113 (2007).
- [2] BRITO V.P.; CASTRO W. S.; COELHO A.S.O.; GOMES, M. A. F. Beads-on-a-string. Packing in two dimensions. *Physical A* 342 (2004) 419-427.
- [3] GOMES M. A. F.; BRITO V.P.; M. S. Araújo.; C. C DONATO. Crumpled states of a wire in a two-dimensional cavity with pins. *Physical Review.E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, v. 81, p. 031127 (2010).
- [4] NASCIMENTO, F. S. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Piauí, 2011.

Palavras-chave: Empacotamento, Célula Hele Shaw modificada, discos rígidos.