

## APROFUNDANDO O ESTUDO DA GEOMETRIA DE ARAMES AMASSADOS CONFINADOS EM CAVIDADES BIDIMENSIONAIS

*Renata Rodrigues da Hora (bolsista PIBIC-UFPI), Valdemiro da Paz Brito (Orientador, Depto. de Física-UFPI), José Pimentel de Lima (colaborador, DF/UFPI) Marcelo A. F. Gomes (colaborador, DF/UFPE-PE).*

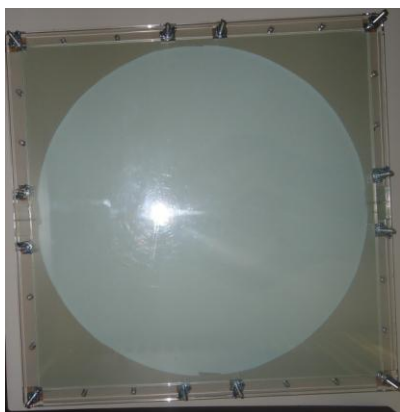
### Introdução

Sistemas com estruturas hierárquicas são de interesse na física devido a sua conexão com fractais, leis de escala [1] e redes livre de escala [2]. Além disso, a física em 2D é de grande importância para a tecnologia e para a física pura e aplicada. Neste trabalho analisamos as configurações de fios de cobre com diâmetros 1,0 mm e 1,5 mm através de confinamentos sob a ação de forças externas, até o de empacotamento máximo ou limite rígido, em cavidades circulares quase-2D de 11,0cm e 25,0 cm de raio. Cada configuração foi fotografada posteriormente e discretizada para análise numérica. O processo de empacotamento de sistemas quase-1D em cavidades quase-2D dá origem, nesse limite, a uma distribuição hierárquica de laços caracterizada por baixa fração de empacotamento e por uma dimensão fractal  $D=1.9\pm 0.1$  e um expoente de difusão anômalo  $d_w=3.03\pm 0.05$ , obtidos através de experimentos e simulações computacionais [3]. No trabalho recentemente publicado [4] foram usadas medidas experimentais de resistência elétrica para confirmar o expoente  $d_w$  encontrado em [3]. Esses expoentes, dentro das incertezas estatísticas, sugerem uma semelhança com aqueles do *cluster* de percolação (PC),  $D_{PC}=1.89\pm 0.03$  e  $d_{wPC}=2.87\pm 0.02$  [3-5]. Com o objetivo de aprofundar o estudo da semelhança entre esses tipos de estruturas, determinamos no caso dos fios a relação funcional entre a distância direta  $r$  entre pares de pontos e a distância topológica (i.e. ao longo do fio) associada  $L$ . Para o PC, diversos trabalhos apontam para a relação  $L\sim r^{1.13\pm 0.01}$ . Dessa forma esse trabalho visa contribuir para a compreensão da similaridade entre as estruturas 2D de fios obtidas com o empacotamento no limite de rigidez e o agregado de percolação.

### Métodos e Materiais

Para o estudo detalhado da geometria intrínseca dos arranjos de fios empacotados em 2D foi feito o levantamento de imagens já existentes no acervo do Laboratório de Não-Equilíbrio do DF/UFPI para as configurações empacotadas na célula de 22,0cm de diâmetro [6]. No entanto diante da necessidade de obter um resultado mais abrangente outra célula foi confeccionada, a qual consiste de uma célula plana transparente formada pela superposição de duas lâminas de vidro entre duas lâminas de acrílico e as quais eram separadas por uma lâmina de PVC de 1,6mm de espessura contendo uma cavidade circular de 50,0cm de diâmetro (que permitia acomodar configurações com apenas uma camada de fio, através de dois canais diametralmente opostos), sendo todo o conjunto fixado por parafusos [Figura 1]. O fio de cobre usado nos experimentos possuía diâmetro de 1,0mm. Para produzir os arranjos heterogêneos, o fio foi injetado nas duas janelas da cavidade até atingir o limite máximo de empacotamento, gerando configurações caracterizadas pelo contato fio-fio e por espaços vazios [Figuras 3 e 4]. Essas configurações foram fotografadas e posteriormente discretizadas através do software GIMP para permitir a análise numérica. Para encontrar os valores da distância química e da distância Euclidiana nas configurações [Figura 5], foi necessária a

binarização das configurações, através do programa MATLAB, que eliminou a do fio deixando apenas suas bordas [ Figura 6]. Ainda usando o MATLAB foi criado um arquivo com os dados dos pixels para cada configuração, a partir do qual se obteve um novo arquivo preservando apenas as informações dos fios e eliminando as partes vazias da cavidade. Então, através de um programa apropriado, se obteve os dados tanto da distância química quanto da distância Euclideana. Todo esse procedimento foi realizado para dez configurações obtidas na cavidade de 50,0cm de diâmetro e para oito configurações obtidas na cavidade de 22,0cm de diâmetro. Por fim, foram feitas as medias dos resultados obtidos e as barras de erro médio para a distância química.



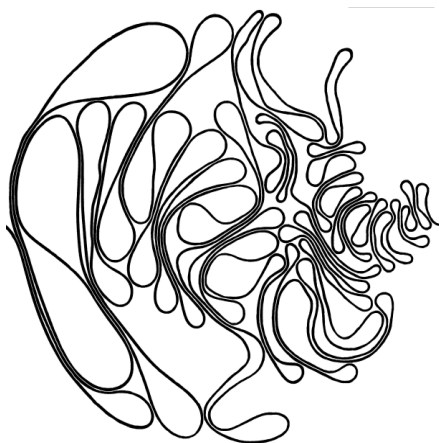
**Figura 1:** Célula de 50,0cm de diâmetro utilizada para produzir os arranjos heterogêneos.



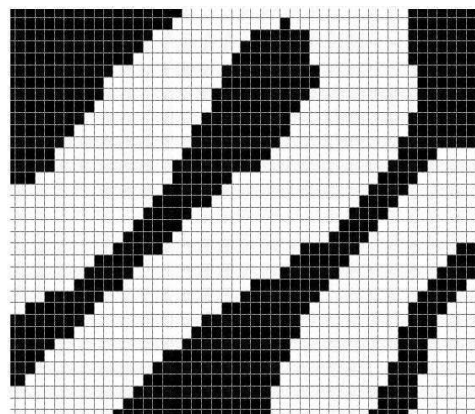
**Figura 3:** Um arranjo heterogêneo produzido no empacotamento de um fio de cobre em uma cavidade de 22,0cm diâmetro.



**Figura 4:** Um arranjo heterogêneo produzido no empacotamento de um fio de cobre em uma cavidade de 50,0cm diâmetro.



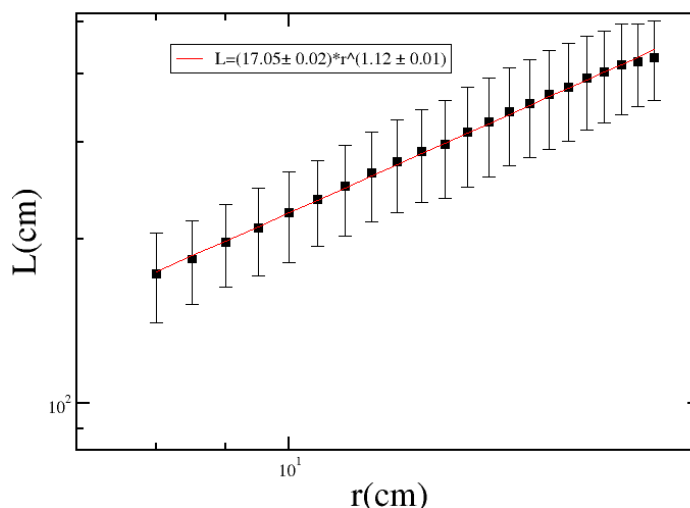
**Figura 5:** Configuração discretizada através do software GIMP.



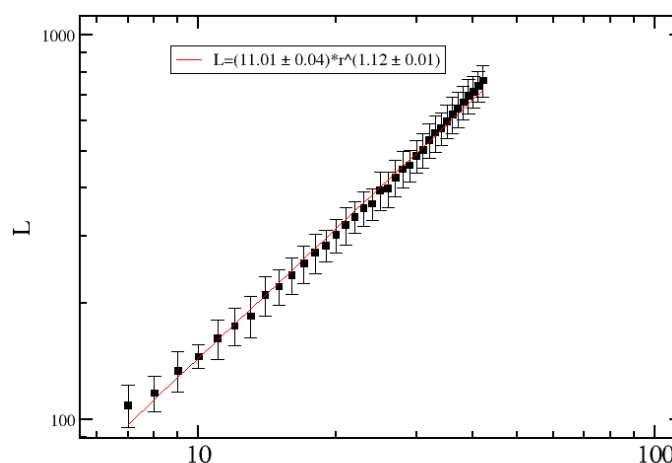
**Figura 6:** Parte de uma configuração binarizada

## Resultados

Apresentamos a seguir os resultados obtidos através da simulação computacional para os arranjos de fios de cobre produzidos nas cavidades 2D de 22 cm e 50 cm de diâmetros. Dos dados coletados foram gerados os seguintes gráficos log-log de L versus r.



**Figura 7:** Gráfico log L (distância química) versus log r (distância Euclideana), para a média das configurações empacotadas em cavidades 2D com 22,0cm de diâmetro.



**Figura 8:** Gráfico log L (distância química) versus log r (distância Euclideana), para a média das configurações empacotadas em cavidades 2D com 50,0cm de diâmetro.

## Conclusão

Com base nos resultados acima expostos, para  $d_{\min}$ , observa-se que são semelhantes ao resultado para os aglomerados de percolação, representando assim um forte indicio de que as estruturas hierárquicas de fios empacotados em 2D pertençam à mesma classe de universalidade dos aglomerados de percolação. Entretanto, ainda se fazem necessários novos experimentos e novas análises de outros expoentes para que se evidencie melhor a similaridade dessas estruturas.

**Agradecimentos:** UFPI, CAPES.

## Referências

- [1] J. Feder. *Fractal*. Plenum, 1998.
- [2] R. Albert, A.L. Barabási; *Rev. Mod. Phys.* **74** 67 (2002);
- [3] C.C. Donato, F. A. Oliveira and M. A. F. Gomes. Anomalous Diffusion On Crupled Wires in Two Dimensions *Physica A*, v.368,p.1-6,2006
- [4] M. A. F. Gomes, R. R. Hora and V. P. Brito; *Electrical resistance of complex two-dimensional structures of loops* *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v.44,p.1-7,2011.
- [5] D. Stauffer, A. Aharony. *Introduction to Percolation Theory*. Bistol, 1998.

**Palavras-chave:** Empacotamento. Percolação. Geometria Euclideana.

