

ESTUDOS DE LINHAS EQUIPOTENCIAIS: UM CASO DE SIMULAÇÃO ANALÓGICA

Josebel Maia dos Santos¹, Jose Carlos Oliveira de Jesus², Antonio Cesar do Prado Rosa Junior³, Alvaro⁴ Clebson dos Santos Cruz⁵

1. Josebel Maia dos Santos, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: josebio@gmail.com
2. Jose Carlos Oliveira de Jesus, DFIS, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: aprendizfaced@gmail.com
3. Antonio Cesar do Prado Rosa Junior, Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável - ICADS, Universidade Federal da Bahia, e-mail: acprj2@yahoo.com.br
4. Álvaro Santos Alves, DFIS, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: asa@mail.uefs.br
5. Clebson dos Santos Cruz, DFIS, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: clebsoncruz@yahoo.com.br

Palavras-chave: linhas equipotenciais, simulação analógica, equação de Laplace.

Introdução

Tradicionalmente, o experimento para o estudo de *linhas equipotenciais* consiste em simular um espaço homogêneo através de uma solução eletrolítica disposta numa cuba de vidro. Fixada a posição de eletrodos na cuba é possível estabelecer os pontos correspondentes às linhas, através do método de detecção de nulo. Apesar do baixo custo e simplicidade do método, as dificuldades técnicas comuns ao experimento, tais como, cristalização da solução eletrolítica, polarização dos eletrodos e alinhamento da cuba, tornam o experimento cansativo e compromete o processo de ensino-aprendizagem que norteia o laboratório didático.

Neste contexto, propomos como método alternativo a simulação analógica de linhas equipotenciais utilizando uma malha quadrada e homogênea de resistores, em substituição à substância eletrolítica na cuba. Os pontos da malha são interpretados como coeficientes de uma matriz quadrada, e as distribuições de carga são simuladas a partir de curtos-circuitos localizados. Definida a configuração a ser simulada e estabelecida uma d.d.p, a distribuição do potencial na rede, mapeada em termos de uma superfície, corresponde a uma solução numérica da equação de Laplace. A malha de resistores não trata de um problema eletrostático, porém pode ser demonstrado que o problema de corrente estacionária pode simular um problema eletrostático [1, 2, 3] e como consequência esse princípio torna possível utilizar um procedimento análogo para a resolução da equação de Laplace na malha de resistores.

Os resultados experimentais obtidos motivaram o estudo e aplicação do *método de diferenças finitas* [4] para a simulação numérica [5] de configurações mais complexas, antes de aplicá-las à malha. Como resultado preliminar, apresentamos os resultados obtidos para a segunda geração do *tapete de Sierpinsky*, uma estrutura fractal bem conhecida na literatura especializada [6].

Metodologia

A malha foi montada marcando sobre uma placa de Eucatex[®] pontos igualmente espaçados, a 2,0 cm de distância um do outro. Os pontos correspondentes aos nós da malha foram perfurados com 1,0 mm de diâmetro e serviram de encaixe para os terminais dos resistores. Depois de inseridos todos os resistores, os terminais de um mesmo nó foram unidos mecanicamente, enrolando-os com um alicate, e posteriormente com solda para garantir melhor contato elétrico. A simulação analógica de uma superfície metálica é produzida por uma série de curtos-circuitos na malha. Essas superfícies são simuladas soldando um fio condutor de forma a desenhar a geometria do condutor. As medidas foram feitas fixando-se

uma ponta de prova do multímetro em um terminal da malha e, com a outra, mediu-se a diferença de potencial entre o terminal fixado e os outros terminais. Os valores medidos foram registrados em uma tabela (matriz), representando a posição de cada terminal da malha. Os dados assim registrados foram tratados utilizando-se o software Scidavis. A tabela foi convertida em uma matriz, permitindo a construção de superfícies que descreve a distribuição do potencial na malha. As linhas equipotenciais são representadas pelas curvas de nível correspondentes a tais superfícies. A figura 1 ilustra o aparato experimental.

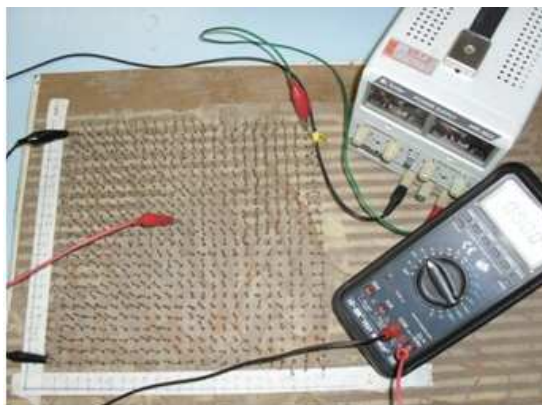


Figura 01: Foto da montagem da rede para medidas realizadas para a simulação do potencial fixado em um ponto da malha.

Resultados

A figura 2 ilustra como o potencial se distribui no espaço para a simulação de placas paralelas. Na figura 3 temos as linhas equipotenciais para as placas paralelas. As equipotenciais são retas perpendiculares ao sentido de crescimento do potencial.

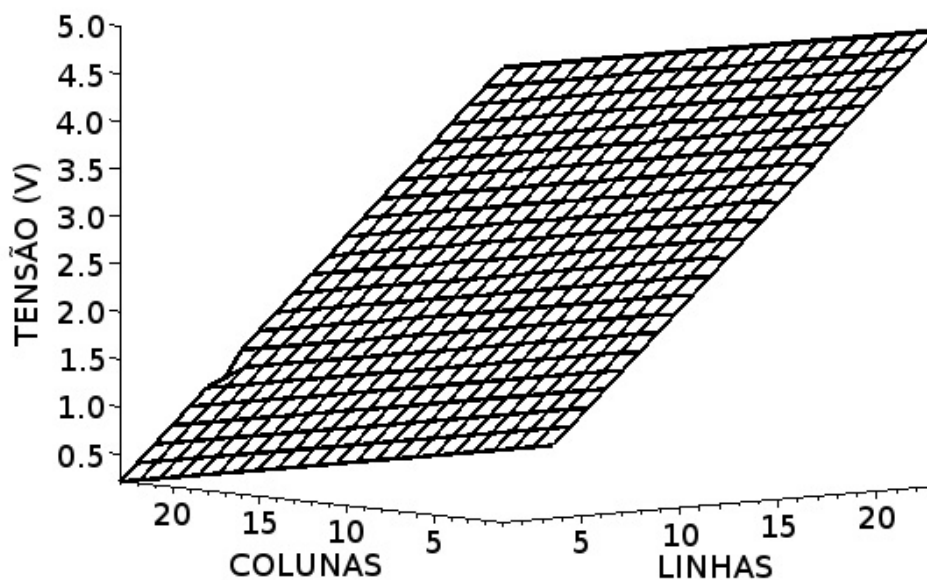


Figura 02: Gráfico resultante das medidas realizadas na rede mostrando a distribuição do potencial no espaço para placas paralelas.

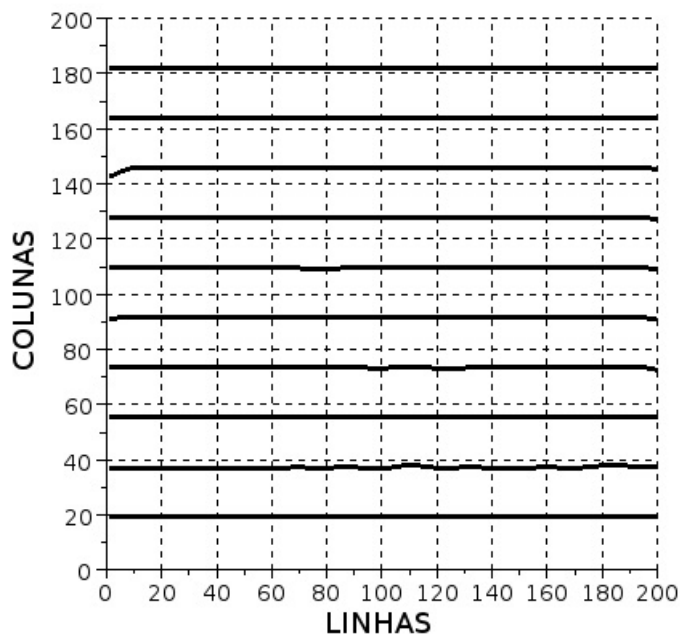


Figura 03: Gráfico resultante das medidas realizadas na rede mostrando as linhas equipotenciais para placas paralelas

Foi implementado o método de diferenças finitas [6], em linguagem Fortran 95, para resolver numericamente a equação de Laplace para o pré-fractal tapete de Sierpinski. O processo de construção do Tapete de Sierpinski consiste em se partindo de um quadrado preenchido, dividi-lo em nove quadrados iguais e retirar o quadrado central. Essa será a figura geradora. A primeira iteração é obtida aplicando em cada quadrado preenchido da figura geradora a própria figura geradora, tendo a aresta do quadrado um $1/3$ da aresta original. A figura resultante deste último procedimento constitui o elemento para ser aplicado aos quadrados preenchidos da segunda iteração, tendo a aresta agora $1/9$ do valor original. Assim por processo iterativo, as demais figuras podem ser construídas aplicando-se o resultado da iteração anterior em cada quadrado preenchido. Com repetição indefinidamente desse procedimento chega-se a um limite onde a figura obtida é o tapete de Sierpinski. Na prática, a aplicação do tapete de Sierpinski para o estudo das linhas equipotenciais foi realizada a partir de curto-circuitos dos contornos dos quadrados a serem retirados da rede e aplicando um potencial de 0 V (aterramento), e 10 V na borda externa. O potencial nos demais pontos da rede foi calculado numericamente por diferenças finitas.

A importância de se trabalhar com fractais consiste do fato de que a própria natureza apresenta estruturas fractais. Observa-se uma regularidade nas equipotenciais da figura 4. Essa regularidade nos incentiva a investigar qual a relação das linhas equipotenciais para um objeto fractal e o próprio potencial. Será que o potencial não será do tipo fractal? E se assim for quais as consequências e aplicações para a *Física*? Essas indagações constituem as novas metas a serem atingidas nessa pesquisa.

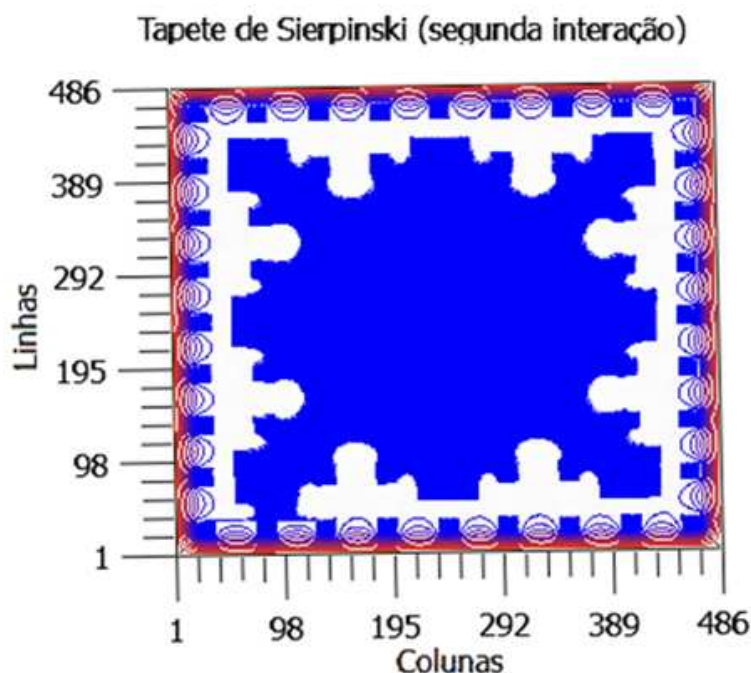


Figura 04: Figura das linhas equipotenciais para segunda interação do pré-fractal tapete de Sierpinski obtido a partir do resultado do cálculo numérico utilizando o método de diferenças finitas

Conclusão

Além de retornar resultados satisfatórios ao determinar as linhas equipotenciais, ainda temos que nesse experimento há possibilidade de visualizarmos como se distribui, no espaço, o potencial e sua forma, para cada geometria e seu gradiente. Acrescentamos ainda o fato de incentivar o aluno a utilizar softwares para tratamento de dados, que é fundamental em trabalhos de laboratórios e para a própria graduação. Podemos ainda considerar em se tratar de um experimento de baixo custo visto que os softwares utilizados para tratamento são distribuídos gratuitamente na internet e tanto a folha de Eucatex[®], quanto os resistores têm baixo custo. Resultados preliminares apontam para a geração de potenciais fractais logo nas primeiras gerações pré-fractais do tapete de Sierpinski. Estudos variando a diferença de potencial entre os quadrados e a borda externa, bem como para gerações pré-fractais de ordem mais alta estão em curso e serão objeto dos relatórios parcial e final desse projeto de iniciação científica.

Referências

- [1] REITZ, John R.; MILFORD, Frederick J.; CHRISTY, Robert W. *Fundamentos da teoria da eletromagnética*. Rio de Janeiro: Campus, 1982.
- [2] **Linhas Equipotenciais por uma Rede de Resistores** <http://www.fis.ufba.br/dfes/fis3/roteiros/experiencia08.pdf>. Acesso em: 17/09/2012.
- [3] **Campos Elétricos Estáticos** <http://sampa.if.usp.br/~suaide/LabFlex/blog/files/docs/camposE.pdf>. Acesso em: 17/09/2012.
- [4] SHADIKU, Matthew N. O. *Elementos de Eletromagnetismo*. São Paulo: Bookman. 3ª. Edição 2004.
- [5] ARFKEN, Georg B; WEBER, Hans J. *Física Matemática: métodos matemáticos para engenharia e física*. Rio de Janeiro: Campus, 2007.
- [6] ADDISON, Paul S. *Fractals and Chaos: An Illustrated Course*. IoP Publishing Ltd, 1997.