



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

4. Roteiros da Primeira Sequência

4.1 Experimento 1: Cuba Eletrostática: Carga, Campo e Potenciais Elétricos

4.1.1 Objetivos

- ✓ Fundamentar o conceito de carga elétrica.
- ✓ Trabalhar com os conceitos de campo e potencial elétricos.
- ✓ Reconhecer o conceito de superfícies equipotenciais.

4.1.2 Materiais Necessários

- ✓ Uma fonte de tensão CC – com tensões entre 3 e 9 Volts (conectores do tipo jacaré).
- ✓ Um multímetro para medidas de diferenças de potencial elétrico (adequado se uma das pontas de prova tiver garra jacaré).
- ✓ Uma cuba de vidro transparente.
- ✓ Dois eletrodos retilíneos que ficam submersos na cuba de vidro (duas hastes condutoras).
- ✓ Um eletrodo circular e uma haste fina para posicionamento vertical.
- ✓ Água não destilada (água de torneira).
- ✓ Papel milimetrado.

4.1.3 Fundamentação Teórica

(O texto original é da apostila de física experimental da Universidade Federal de São Carlos)

Uma propriedade do campo eletrostático é ser um campo conservativo. A força elétrica ($\vec{F}$) é simplesmente o campo ($\vec{E}$) multiplicado por uma constante (a carga de prova) e também é conservativa. É conhecido da mecânica que as forças conservativas são muito mais simples de se analisar, porque o trabalho (W) que elas realizam depende apenas dos pontos inicial e final, e não da trajetória [equação (1)]. Isso permite definir uma função escalar (U), chamada energia potencial, de tal forma que, se apenas a força conservativa atuar, a soma da energia cinética com a energia potencial permanece constante (essa constante é denominada energia total).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
 Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

$$W = -\Delta U = - \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r} = -q_o \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (1)$$

Desta forma, a energia eletrostática U , é definida para um certo referencial conveniente. Por exemplo, $U = 0$ para um ponto b distante ($b \rightarrow$ infinito).

Da mesma forma que a força é proporcional à carga elétrica, a energia potencial também é. Podemos então, definir a energia potencial por unidade de carga, que é chamado de potencial elétrico:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (2)$$

A equação 2 dá o potencial se o campo for conhecido. No entanto, é mais fácil medir o potencial, porque esse é uma função escalar, enquanto o campo é vetorial; ou seja, para determinar o potencial, precisamos apenas de um número, enquanto que para determinar o campo precisamos saber a intensidade, a direção e o sentido. Para calcular o campo supondo conhecido o potencial, precisamos da relação inversa da equação 2, que é:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} V \quad (3)$$

Uma superfície equipotencial é aquela sobre a qual o potencial é constante: a diferença de potencial entre dois pontos quaisquer da superfície é nula. Portanto, sobre uma equipotencial:

$$- \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0 \quad (4)$$

Uma condição que satisfaz a equação (4) é que o campo elétrico seja perpendicular a um deslocamento $d\vec{r}$ sobre uma equipotencial. Definindo $d\vec{r} = dr\hat{r}$, onde $\hat{r}$ é um vetor unitário, temos para o campo elétrico médio entre duas equipotenciais:

$$\vec{E} = - \frac{\Delta V}{\Delta r} \hat{r} \quad (5)$$

As medidas de potenciais e campos eletrostáticos são experimentos difíceis de serem realizados em laboratório convencionais de ensino. Isto ocorre porque o meio no qual o campo é gerado é altamente isolante, e a resistência equivalente entre dois pontos é grande, comparável ou até maior do que a resistência interna dos voltímetros comerciais, de modo que a leitura seria totalmente errônea. Tais medidas exigiriam instrumentos de altíssima resistência interna, como voltímetros eletrostáticos ou eletrômetros e condições ambientais especiais, tais como baixo teor de umidade, atmosfera inerte ou alto vácuo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Contudo, podemos contornar esta situação fazendo o mapeamento em um meio com baixa resistividade como, por exemplo, uma solução aquosa não destilada, ou melhor, ainda, uma solução aquosa de CuSO_4 por exemplo. Estes eletrólitos possuem cargas que podem se deslocar quando sujeitas à ação de um campo elétrico, que surge quando conectamos uma fonte de tensão a eletrodos metálicos mergulhados no eletrólito. A distribuição de cargas nas superfícies dos eletrodos dá origem a um campo eletrostático no meio eletrolítico. Dessa forma, o potencial $V(P)$ nos diferentes pontos do eletrólito pode ser mapeado e possibilita o estudo do campo eletrostático bidimensional correspondente. Esse método é muito usado na prática para determinar as figuras de potencial de objetos de diferentes formatos, e pode inclusive ser usado para estudar um campo elétrico tridimensional, mergulhando o objeto totalmente no meio eletrolítico.

Como será, por exemplo, o campo elétrico se colocarmos a ponta de uma fio metálico próximo à um eletrodo retilíneo e uniformemente carregado ? A Figura 1 é uma ilustração desta configuração. Observe que as superfícies equipotenciais formam uma figura “parecida com uma elipse”. As superfícies equipotenciais são mais ‘densas’ na região entre os eletrodos (campo mais intenso) e, menos densa (campos menores) na região fora dos eletrodos. Ligando estas superfícies por linhas perpendiculares às equipotenciais, é possível obter a configuração das linhas de campo elétrico. Utilizando a equação (5), é possível calcular o campo elétrico médio entre duas equipotenciais. A direção do campo é sempre no sentido do potencial decrescente (sinal negativo na equação 5).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

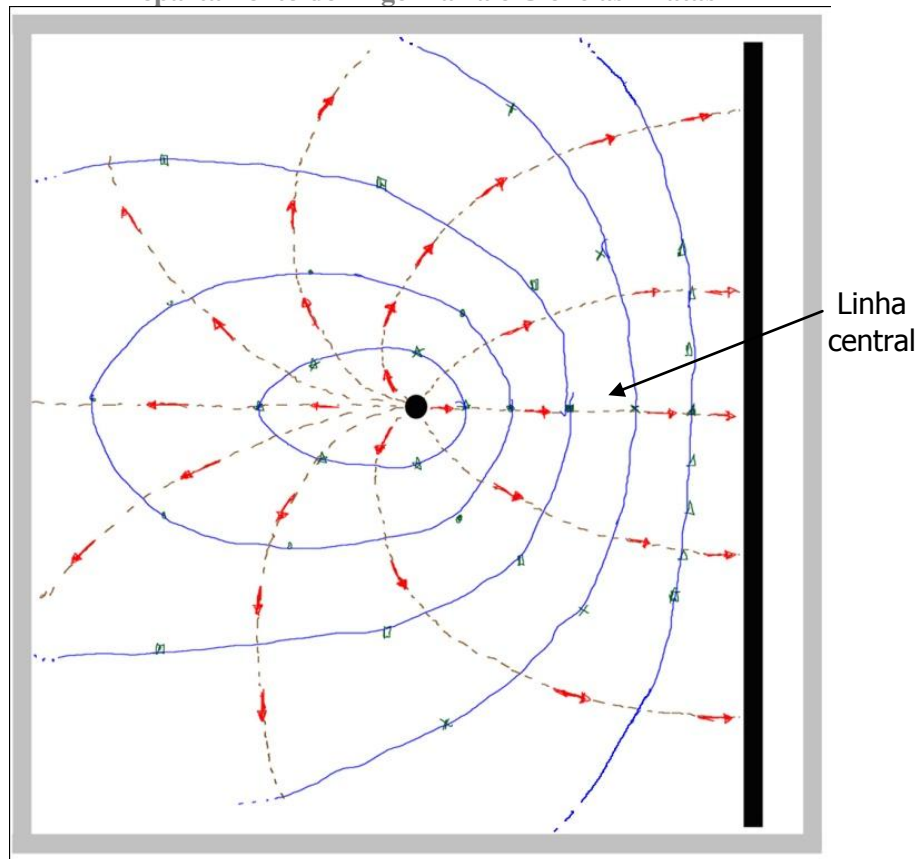


Figura 1 – Configuração de superfícies equipotenciais (Linhas em azul) e linhas de campo elétrico (setas sobre as linhas tracejadas), para um eletrodo pontual e uma distribuição retilínea e uniforme de cargas.

4.1.4 Procedimentos Experimentais

Parte 1 - Campo uniforme

➤ DETALHES IMPORTANTES:

Garanta que a água utilizada não seja destilada, caso contrário nenhum efeito será observado.

Espere pelo menos alguns minutos para haver uma estabilidade de cargas no interior da cuba.

Ao medir um dado potencial, não demore muito tempo, pois a ponta do voltímetro influencia no experimento, distorcendo as linhas de campo elétrico.

1. Conecte os eletrodos retilíneos em paralelo na cuba, afastados de 5 cm, conforme a Figura 2.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

2. Posicione uma folha de papel milimetrado abaixo da cuba, tal que os eletrodos estejam paralelos às linhas demarcadas.
3. Conecte os terminais dos eletrodos aos terminais da fonte de tensão.
4. Desenhe em uma segunda folha de papel milimetrado um esquema em escala 1:1 da montagem, com atenção na posição relativa, comprimento e espessura dos eletrodos.
5. Coloque água (não destilada) na cuba até fechar contato entre os eletrodos.

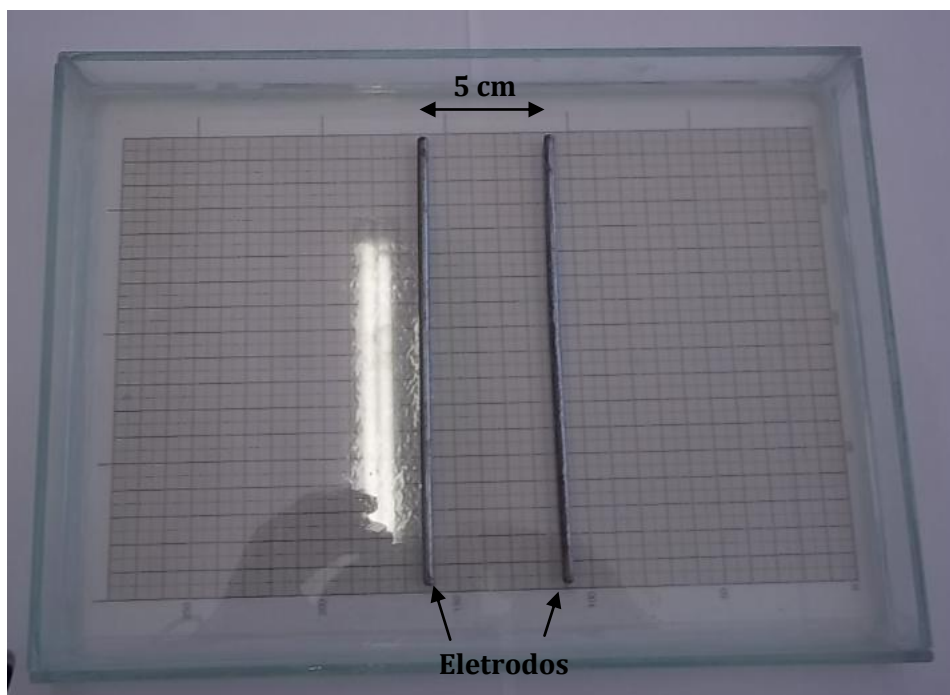


Figura 2 – Montagem experimental para dois eletrodos retilíneos.

6. Conecte a ponta de prova do multímetro indicada por "COM" em contato com o eletrodo que estiver ligado ao negativo da fonte. Suas medidas de voltagem (ddp) serão em relação ao potencial deste ponto.
7. Ligue a fonte de tensão na escala de 3 V a 9 V (OBS: Estes valores são apenas o potencial nominal; a voltagem a ser considerada deve ser medida).
8. Ligue o voltímetro e meça a ddp entre os terminais, registrando este valor.
9. O primeiro ponto de medida (ponto de referência potencial) deve estar sobre uma reta perpendicular ao centro da haste negativa, distanciado de 1cm desta. O valor obtido para este potencial deve ser anotado. Este ponto dará origem a primeira superfície equipotencial; para isto os demais pontos devem ser encontrados de forma a terem o mesmo potencial do primeiro, e devem estar a 1cm de distância. Cada



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

equipotencial deverá conter no mínimo 8 pontos. As demais superfícies equipotenciais serão construídas de forma análoga, sempre com o ponto referencial situado no centro da haste distanciado um centímetro a mais que o ponto referencial anterior até chegar-se à haste positiva.

10. Os pontos experimentais devem ser anotados no papel milimetrado externo, a fim de construir as superfícies equipotenciais.

Parte 2 - Medida de potencial com simetria circular

1. Utilize agora dois eletrodos, sendo um pontual (em forma de **L**, que fará o papel de uma carga pontual) e outro em forma de círculo. O eletrodo pontual (em forma de L) deve estar no centro do eletrodo circular. Observe a montagem na Figura 3.
2. Mapeie as superfícies equipotenciais desta configuração. Para tal, estas equipotenciais devem estar espaçadas de 1 cm uma da outra para duas superfícies equipotenciais próximas a cada eletrodo, no papel milimetrado. Além disso, cada superfície equipotencial deve conter no mínimo 10 pontos equidistantes.

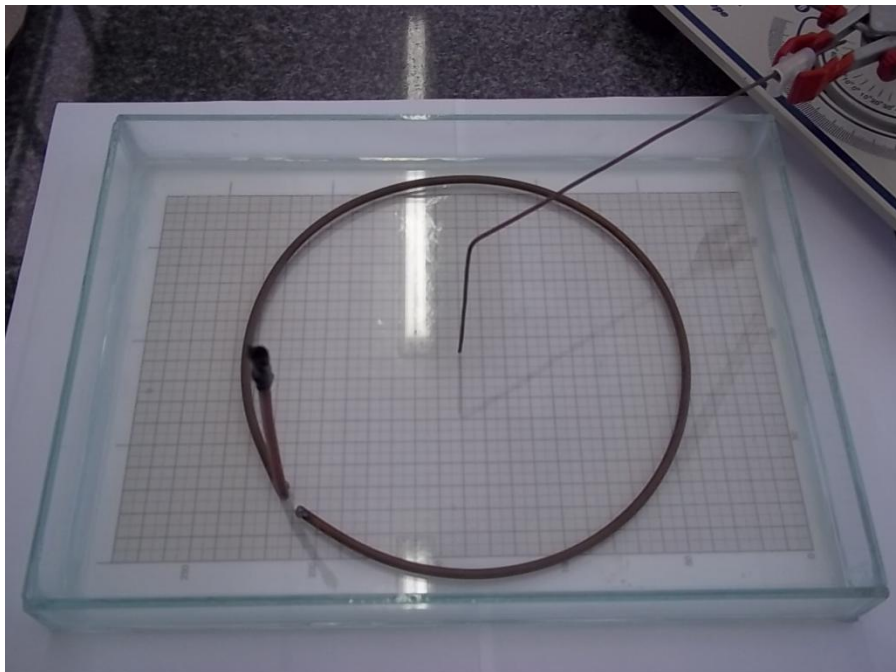


Figura 3 – Montagem experimental para um eletrodo pontual (em forma de L).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

Parte 3 - Medida do potencial entre um eletrodo "pontual" e uma distribuição retilínea de cargas

1. Utilize agora os dois eletrodos em forma de L de tal forma que um deles toque com uma das pontas sobre a cuba e o outro toque com a extensão maior do corpo sobre a cuba. Mantenha 5 cm de distância entre os eletrodos. Observe a Figura 4.
2. Mapeie as curvas equipotenciais desta configuração. Na linha central da configuração, entre os eletrodos, as equipotenciais devem estar separadas de 1 cm uma das outras (Figura 1). No mapeamento das equipotenciais, observa-se que estas começam a se separar, sendo que a distância de 1 cm só é permitida na linha central dos eletrodos.

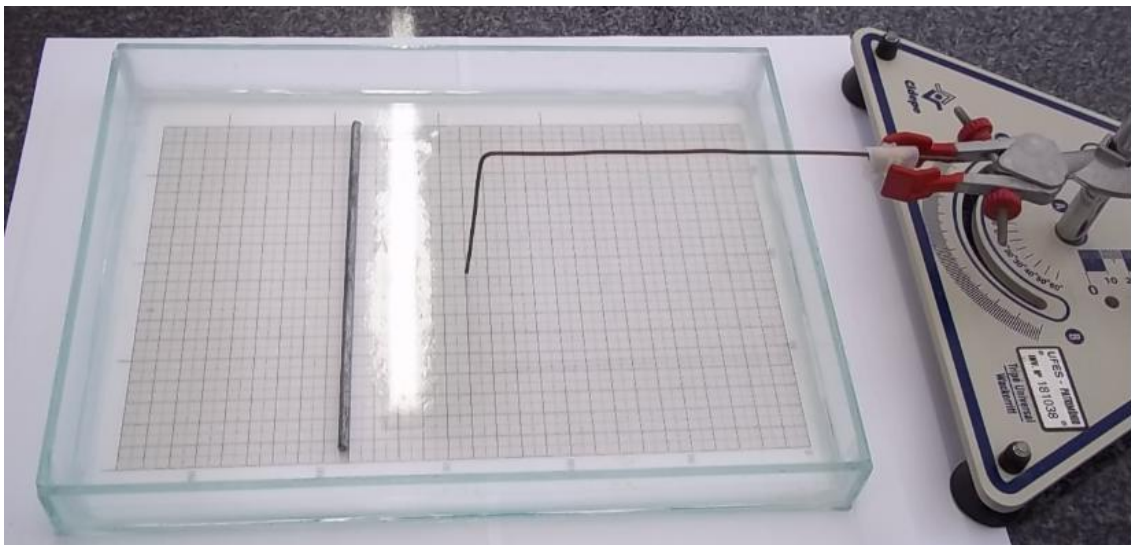


Figura 4 – Montagem experimental para um eletrodo pontual (em forma de L).

4.1.5 O que Incluir no Relatório do Experimento

Todos estes itens deverão ser realizados para cada configuração deste experimento:

- Ligue por uma curva média, no papel externo, os pontos com mesmo potencial.
- Desenhe um conjunto de linhas ortogonais (tracejadas para diferenciar das equipotenciais) às equipotenciais, no qual constituirão as linhas de campo elétrico. Qual deve ser o sentido do campo elétrico sobre estas linhas ?

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas

- Desenhe, a partir do item 2 as linhas de campo elétrico, no papel milimetrado. Deixe isto bem visível no relatório.
- Explique porque as linhas de campo são ortogonais às superfícies equipotenciais.
- Para a **parte 1** (eletrodos retilíneos) do experimento, determine, utilizando a equação 5, o valor médio do campo ao longo do eixo central escolhido que une os eletrodos, em três pontos, sendo dois próximos de cada eletrodo e o outro no centro. Determine, também, o valor do campo elétrico em um ponto fora do eixo. Obviamente, estes procedimentos fornecem apenas um valor aproximado para o campo, afinal, não podemos fazer, na prática, o que é feito no cálculo diferencial, ou seja, fazer ΔS "tender a zero".
- Repita os mesmos cálculos do item 5 para a **parte 2** (simetria circular), porém ao invés de um eixo central, escolha um raio para os cálculos do campo médio.
- Repita os mesmos cálculos do item 5 para a **parte 3** (carga pontual e eletrodo retilíneo). O eixo central deverá ser aquele que passa pelo centro do eletrodo retilíneo.
- Por sua análise, o campo elétrico pode ser considerado uniforme em todas as configurações estudadas? Explique tendo como base as figuras obtidas do campo elétrico e dos valores calculados de campo.