

Exp. 1

Mapeamento de linhas equipotenciais

FSC5143 - Laboratório de Física III

lemo.ufsc.br

Versão de 14 de outubro de 2019

1 Objetivos

Neste experimento, o aluno deverá traçar linhas equipotenciais e, a partir delas, as linhas de força de um campo elétrico produzido por

- um capacitor de placas paralelas e
- condutores e não condutores imersos em campo elétrico uniforme,

além de calcular o gradiente de potencial de um campo elétrico uniforme.

O laboratório conta com um dispositivo especial que permite mapear linhas equipotenciais e, a partir delas, traçar linhas de força de campos elétricos usando várias configurações de condutores e não condutores como, por exemplo, anéis metálicos e isolantes que estão imersos em um campo elétrico uniforme produzido por placas condutoras paralelas. Dispomos também dos exemplos de cabo coaxial e de dipolo elétrico.

2 Teoria Básica

2.1 Campo, força e potencial elétricos

O campo elétrico \vec{E} em um dado ponto do espaço é definido como a força \vec{F} por unidade de carga de prova (positiva) q naquele ponto, o que é expresso matematicamente pela equação:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1)$$

Por ser proporcional à força elétrica, o campo elétrico tem sempre uma direção tangente à linha de força que passa pelo ponto em questão. Lembremos que as linhas de força *não correspondem às trajetórias* de partículas carregadas interagindo com o campo, apenas dão a *direção inicial* do movimento que teria uma partícula carregada partindo do repouso de um determinado ponto.

Embora seja experimentalmente difícil medir diretamente o campo eletrostático ponto a ponto no espaço, é possível reconstruir as linhas de força (e portanto as linhas de campo) a partir de medidas de *diferença de potencial elétrico*, obtidas em *volts*, através de multímetros, por exemplo.

O conceito de diferença de potencial em um campo elétrico, conforme será visto a seguir, está relacionado com o trabalho W realizado pela força elétrica no transporte de cargas. Talvez a principal vantagem na introdução do conceito de diferença de potencial elétrico (o qual passaremos a chamar de V) está no fato de que o potencial é uma grandeza escalar que permite a descrição da grandeza vetorial campo elétrico, o que constitui uma importante simplificação operacional.

Diz-se que entre dois pontos existe uma diferença de potencial 1 volt (1 V) quando o campo elétrico realiza um trabalho de 1 joule (1 J) para transportar uma carga de 1 coulomb (1 C) entre esses pontos, ou seja,

$$\boxed{1 \text{ J/C} \equiv 1 \text{ V}}. \quad (2)$$

Portanto, a diferença de potencial elétrico entre dois pontos A e B é uma medida do trabalho por unidade de carga realizado pelo campo elétrico entre tais pontos (independentemente da trajetória considerada). De fato, podemos escrever:

$$\Delta V = V_B - V_A = -\frac{W_{A \rightarrow B}}{q}, \quad (3)$$

onde $W_{A \rightarrow B}$ representa o trabalho realizado no deslocamento da carga q entre os pontos A e B . O sinal negativo na equação acima expressa, por exemplo, o fato de que, quando for mantida uma diferença de potencial entre dois pontos de um condutor, haverá um fluxo de cargas elétricas positivas do ponto de potencial mais alto ao ponto de potencial mais baixo, de modo que $W > 0$ e $q > 0$ implicam $\Delta V < 0$.

Pode-se ainda relacionar o campo elétrico diretamente ao potencial elétrico, por meio da relação

$$\boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla}V} \quad (4)$$

Esta equação nos diz que o vetor campo elétrico aponta na mesma direção que o gradiente do potencial elétrico, porém no sentido oposto.

Por exemplo, no caso de um campo elétrico constante na direção x , temos:

$$E\hat{x} = -\vec{\nabla}V = -\frac{dV}{dx}\hat{x}. \quad (5)$$

Logo,

$$E = -\frac{dV}{dx}. \quad (6)$$

2.2 Superfícies e linhas equipotenciais

Uma superfície selecionada de tal forma que todos os pontos sobre ela tenham o mesmo potencial é conhecida como uma superfície equipotencial. Uma linha sobre tal superfície é uma linha equipotencial.

Assim, se dois pontos A e B estão sobre a mesma linha equipotencial, a diferença de potencial entre eles é nula: $\Delta V = 0$.

As superfícies equipotenciais em um campo elétrico são sempre perpendiculares às linhas de força, porque, por definição, as linhas de força indicam a direção da força resultante atuando sobre uma carga de prova, e não podem haver forças normais a essa direção. Não haverá, portanto, trabalho da força elétrica no deslocamento da carga de prova em uma direção perpendicular às linhas de força, isto é, sobre as superfícies equipotenciais, ou ao longo das linhas equipotenciais.

2.3 Exemplo: capacitor de placas paralelas

Considere-se o campo elétrico uniforme da figura 1, representado por linhas de potencial elétrico crescente $V_0, V_1, \dots, V_n, \dots$. Chamemos de X_i a posição, ao longo do eixo X , da linha de potencial V_i , de modo que:

$$\Delta V_n = V_n - V_0 \quad (7)$$

$$\Delta X_n = X_n - X_0 \quad (8)$$

são, respectivamente, a diferença de potencial e a distância, entre as linhas de potencial V_n e V_0 .

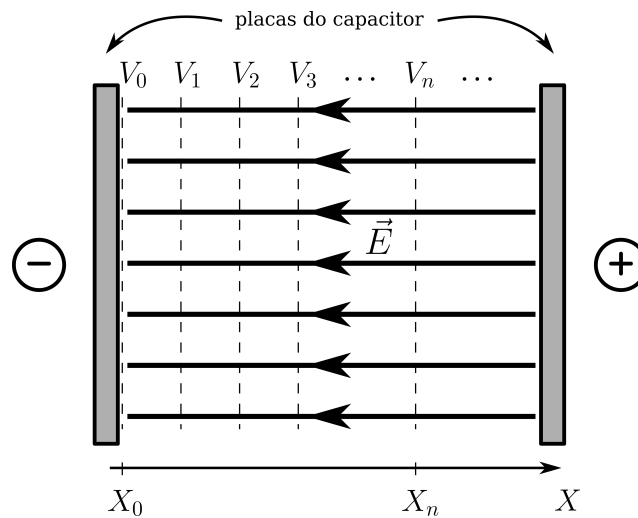


Figura 1 Campo elétrico uniforme entre as placas paralelas de um capacitor.

Num campo uniforme, tal qual o mostrado na figura, a razão $\Delta V_n / \Delta X_n$ deve ser constante, ou seja independente de n , em acordo com a equação (6). De fato, se essa razão é constante, então

$$\frac{dV}{dX} = \text{cte.} \Rightarrow E = \text{cte.} \quad (9)$$

Note que, na figura 1, ainda de acordo com as equações (4) e (6), \vec{E} aponta no sentido oposto ao do crescimento do potencial elétrico.

No caso particular de um campo elétrico uniforme, tal como aquele produzido por um capacitor de placas paralelas com separação d e submetido a uma diferença de potencial V , o módulo do campo elétrico pode ser escrito como

$$|\vec{E}| = \frac{V}{d} \quad (10)$$

2.4 Exemplo: cabo coaxial

Um cabo coaxial pode ser imaginado como um objeto composto de um fio condutor cilíndrico de raio a envolvido por uma capa condutora cilíndrica de raio b , separados por um material isolante ou simplesmente pelo vácuo. Suponha que se aplique uma diferença de potencial V entre o fio e o cilindro. É possível mostrar que o campo elétrico no interior do cabo (entre o fio e o cilindro) a uma distância r do eixo do fio é dado por:

$$|\vec{E}| = \frac{V}{r} \ln\left(\frac{a}{b}\right) . \quad (11)$$

3 Referências Bibliográficas

- Halliday, Resnick & Walker, *Fundamentos de Física*, Vol. 3, Ed. LTC
- Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Vol. 3, Ed. Blucher
- Piacentini, Grandi, Hofmann, de Lima & Zimmerman, *Introdução ao Laboratório de Física*, Ed. da UFSC.
- Helene & Vanin, *Tratamento estatístico de dados em física experimental*, Ed. Blucher

4 Relação do material

- 1 transformador 220V/6V; 60Hz
- 1 multímetro
- 1 cuba retangular de plástico (dimensões aproximadas: 45cm x 65cm)
- 2 placas de PVC (dimensões aproximadas: 37cm x 54cm)
- 1 conjunto marcador de pontos
- 1 suporte contendo 2 placas paralelas de cobre
- 1 suporte contendo 2 anéis de cobre (dipolo elétrico)
- 1 anel de latão com diâmetro entre 5 e 10 cm
- 1 anel de plástico com diâmetro entre 5 e 10 cm
- 4 cabos longos para conexões elétricas

5 Esquema Experimental

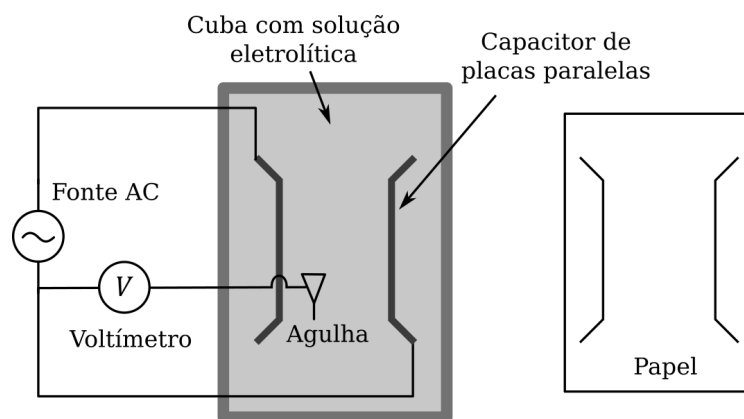


Figura 2 Esquema de montagem.



Figura 3 Foto da montagem.

6 Procedimento Experimental

6.1 Capacitor de Placas Paralelas

1. Faça um desenho das placas paralelas na folha de papel A3 e prenda-a com fita adesiva sobre a placa de PVC.
2. Ponha o suporte especial contendo as duas lâminas de cobre (capacitor de placas paralelas) na cuba contendo a solução de sulfato de cobre com aproximadamente 3 cm de profundidade. As duas lâminas são paralelas entre si e paralelas aos traços representados na folha de papel. O carrinho contendo o marcador de pontos deve deslocar-se paralelamente às lâminas de cobre.
3. Faça as conexões elétricas conforme o esquema. Não esqueça que o voltímetro deve medir tensão alternada. Se necessário, chame o professor para verificar as conexões.
4. Ligue a fonte de tensão. Desloque o carrinho com a agulha de prova para verificar se o voltímetro acusa variações de potencial. Coloque a agulha próxima de uma placa de cobre, de maneira que o potencial no ponto seja de 1,0 V. Com o marcador de pontos, marque uma sequência de pontos de potencial constante, com uma separação aproximada de 2,0 cm entre um ponto e outro. Esta sequência de pontos é uma equipotencial, de tensão designada por V_0 . Anote na folha de papel, sobre cada equipotencial, o valor da diferença de potencial (tensão) indicada pelo voltímetro.
5. Tendo concluído uma linha equipotencial, mova o carrinho e selecione outra tensão, diferindo da anterior em 1,0 V.
6. Trace equipotenciais até 6,0 V, procurando mapear a folha inteira.
7. Traçado de linhas equipotenciais e linhas de força: Com uma lapiseira, trace as equipotenciais como linhas tracejadas procurando seguir a tendência geral dos pontos. Quando as equipotenciais estiverem traçadas, trace linhas contínuas representando as linhas de força do campo elétrico (lembre-se que as linhas de força são perpendiculares às linhas equipotenciais). Você pode traçar linhas separadas entre si por 2,0 cm, por exemplo.
8. Anote, na tabela fornecida, os potenciais V_n em ordem crescente.
9. Meça as distâncias X_n crescentes, a partir da equipotencial V_0 , com uma régua milimetrada, diretamente sobre a folha do mapeamento. Calcule ΔV_n e ΔX_n com as equações (7) e (8).

6.2 Anel condutor entre placas paralelas

1. Sem alterar a montagem anterior, acrescente o anel condutor na região central entre as placas de cobre. Substitua a folha anterior por outra com o desenho do anel no centro. Com o auxílio do marcador de pontos, posicione a folha de papel, de modo que haja correspondência entre as placas e o desenho na folha.
2. Trace o mesmo número de equipotenciais que na primeira parte, procurando seguir a tendência geral dos pontos. Anote na folha o valor medido de tensão relativo a cada equipotencial.
3. Trace linhas de força do campo elétrico, observando as modificações provocadas pelo anel condutor.
4. Ponha a agulha no interior do anel condutor e meça o potencial em vários pontos. Para isso, levante cuidadosamente o suporte da agulha, inserindo-a dentro do anel.

6.3 Anel isolante entre placas paralelas

1. Substitua o anel condutor pelo anel isolante.
2. Siga o mesmo procedimento adotado para o anel condutor.

6.4 Dipolo elétrico

1. Substitua o suporte que contém as duas lâminas paralelas de cobre pelo suporte que contém o dipolo elétrico. Trata-se de dois pequenos anéis metálicos fixos (representando duas cargas elétricas) a uma determinada distância entre si.
2. Ponha a agulha entre os dois anéis a aproximadamente 1 cm da superfície externa de um dos anéis e meça o potencial. Mova a agulha em volta do anel escolhido, sempre mantendo o potencial constante e uma separação de cerca de 2 cm entre os pontos marcados.
3. Trace as demais equipotenciais (de quatro a seis linhas equipotenciais) em volta do anel.
4. Inicie agora as medidas com o segundo anel condutor, seguindo os mesmos procedimentos dos itens 1, 2 e 3 anteriores.

7 Questionário

1. (a) Por que foi utilizada uma fonte de tensão alternada (e não contínua) nesta experiência?
(b) O valor do potencial em cada ponto do interior do capacitor varia em função do tempo. Comente o que significam os valores de diferença de potencial medidos pelo multímetro nesta experiência.
2. (a) Faça o gráfico de ΔV_n em função de ΔX_n .
(b) Tendo em vista o resultado do gráfico anterior e a equação (10), calcule o valor *rms* do campo elétrico no interior do capacitor de placas paralelas. **Nota:** O valor *rms*, que significa *root mean square*, é a raiz quadrada do valor quadrático médio de uma grandeza oscilante. Matematicamente, podemos escrever:
$$V_{rms} = \sqrt{\overline{V(t)^2}} .$$
3. Calcule o valor *rms* do campo elétrico no capacitor de placas paralelas:
 - (a) com o anel condutor na região entre o anel e uma das placas;
 - (b) com o anel condutor em outra região afastada da anterior;
 - (c) com o anel isolante na região entre o anel e uma das placas;
 - (d) com o anel isolante em outra região afastada da anterior.
4. Comente o resultado obtido para o valor do potencial no interior dos anéis condutor e isolante.
5. Comente o resultado obtido para o dipolo elétrico.

Exp. 1 - Mapeamento de linhas equipotenciais

GRUPO: _____

ALUNOS: _____

TURMA: _____

DATA: _____

➤ Capacitor de placas paralelas

TABELA I

n	V_n (V)	X_n (cm)	ΔV_n (V)	ΔX_n (cm)
0				
1				
2				
3				
4				
5				