

Campo elétrico

Miguel Ferreira

Ferreira, M. (2014), Revista de Ciência Elementar, 2(02):0063

O campo elétrico é uma realidade física com origem em cargas elétricas ou em variações temporais de um campo magnético. No que se segue, apenas será discutido o campo elétrico com origem em cargas estacionárias.

Quando um corpo eletricamente carregado é colocado na região do espaço onde existe um campo elétrico criado por um conjunto de cargas estacionárias, esse corpo fica sujeito à ação de uma força elétrica. Considere-se que num ponto do espaço onde existe um campo elétrico se coloca uma partícula carregada positivamente, mas cujo valor é muito pequeno, designada por carga de teste. Esta condição garante que a carga de prova ou de teste não influencia significativamente a distribuição de cargas que cria o campo elétrico. Por definição, o campo elétrico num ponto do espaço é igual à força elétrica que atua por unidade de carga positiva colocada nesse ponto, no limite em que o valor da carga tende para zero:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Por simplicidade, iniciaremos a discussão do campo elétrico criado por uma única carga pontual, Q , colocada na origem de um referencial. Para caracterizar o campo produzido pela carga Q , utiliza-se uma carga de prova q . A força elétrica que atua na carga de prova, quando esta se encontra na posição definida pelo vetor de posição \vec{r} , é dada pela lei de Coulomb, que pode ser formulada matematicamente do seguinte modo:

$$\vec{F} = K \frac{Qq}{r^2} \hat{r}.$$

Utilizando a definição operacional apresentada anteriormente, o campo elétrico criado pela carga pontual Q , num ponto na posição \vec{r} , é:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = K \frac{Q}{r^2} \hat{r}.$$

sendo \hat{r} o versor da direção definida pelo vetor \vec{r} . Da expressão anterior podemos concluir que o campo elétrico criado por uma carga pontual é radial, decai com o quadrado da distância entre o ponto considerado e a carga criadora de campo, pelo que a sua intensidade é igual em todos os pontos à mesma distância da carga criadora de campo. O campo elétrico é centrípeto se a carga criadora for negativa, e centrífugo se a carga for positiva.

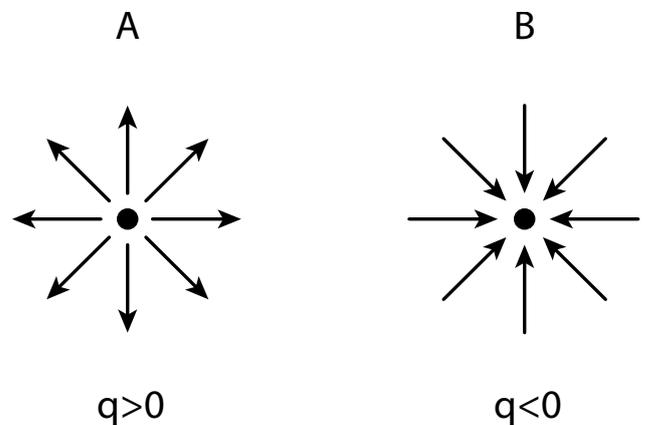


Figura 1 (A) Campo elétrico criado por uma carga positiva.
(B) Campo elétrico criado por uma carga negativa.

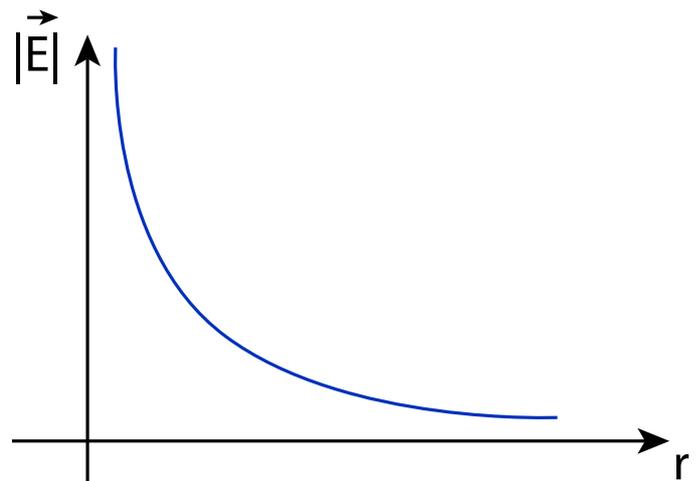


Figura 2 Dependência do módulo do campo elétrico criado por uma carga pontual na distância à fonte.

A força de Coulomb obedece ao princípio da sobreposição; isto é, a força que várias cargas exercem sobre uma carga q é igual à soma vetorial das forças individuais que cada carga do conjunto exerce sobre q . De acordo com a definição operacional, o campo

elétrico também obedece ao princípio da sobreposição. Matematicamente, o campo criado por um conjunto de n cargas pontuais é dado por:

$$\vec{E}_{total} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

A expressão matemática que descreve o campo elétrico criado por uma distribuição contínua de carga é mais complexa do que esta. Contudo, as ideias de base envolvem o princípio da sobreposição de campos criados por elementos de carga da distribuição.

No sistema internacional de unidades, o campo elétrico pode ser expresso newton por coulomb (N/C) ou volt por metro (V/m). A unidade recomendada é o volt por metro. 1 V/m é a intensidade de um campo elétrico uniforme tal que a diferença de potencial entre duas superfícies equipotenciais separadas de 1 m, é 1 V.

Linhas de Campo

Uma maneira útil de representar graficamente o campo elétrico é através de linhas imaginárias, paralelas ao vetor campo elétrico em todos os pontos. Estas linhas têm o nome de linhas de campo. A representação de um campo elétrico por linhas de campo permite visualizar a direção e sentido do campo elétrico em cada ponto do espaço, e permite comparar a intensidade do campo elétrico em duas regiões do espaço distintas. Ao representar-se um campo elétrico através das linhas de campo, a sua densidade espacial deve ser proporcional à intensidade do campo elétrico: em zonas onde o campo elétrico é mais intenso, as linhas devem estar mais próximas umas das outras. Para além disso, as linhas nunca se podem cruzar porque nesse caso haveria uma ambiguidade na determinação do vetor campo elétrico nesse ponto (ver figura 4).

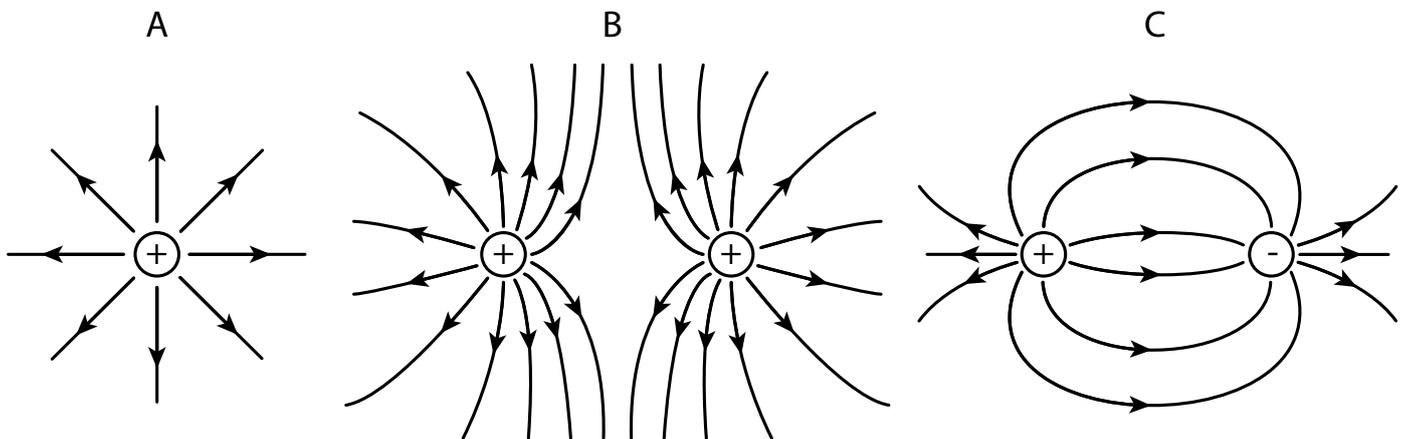


Figura 3 (A) Carga pontual positiva. As linhas estendem-se até ao infinito e têm a mesma direção e sentido do vetor campo elétrico em todos os pontos do espaço. (B) Duas carga pontuais positivas. As linhas de campo não existem onde o campo é nulo. (C) Cargas pontuais de sinais opostos. As linhas de campo começam na carga positiva e terminam na negativa.

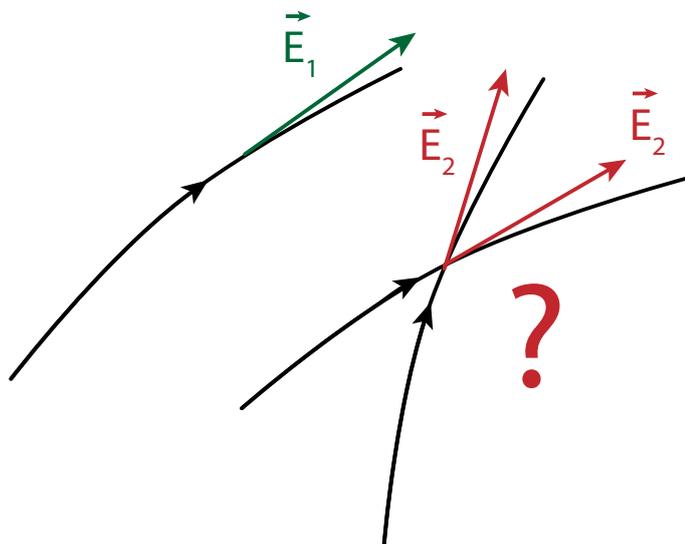


Figura 4 \vec{E}_1 está bem definido: é o único vetor tangente à linha de campo naquele ponto. Não é possível definir o vetor \vec{E}_2 porque no ponto em questão as linhas de campo se cruzam.

Campo Elétrico em Condutores

Um material condutor caracteriza-se por ter cargas elétricas que se podem mover sob a ação de um campo elétrico aplicado, dando origem a uma corrente elétrica. Diz-se que um condutor está em equilíbrio eletrostático quando não há movimento organizado de carga, mesmo na presença de um campo elétrico externo.

No interior de materiais condutores em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo. De facto, enquanto o campo elétrico não for nulo no interior do condutor, haverá movimento organizado de carga no sentido de o anular. Por exemplo, quando um condutor é colocado num campo elétrico externo, as cargas livres tendem a reorganizar-se de maneira a anular o campo elétrico no interior do condutor criando um outro campo elétrico de intensidade igual

e sentido oposto ao campo elétrico externo. De acordo com o princípio da sobreposição, na região interna do condutor os campos somam-se vetorialmente e o resultado é um campo nulo.

Uma vez que o campo elétrico no interior do condutor é nulo, o seu volume e superfície encontram-se ao mesmo potencial elétrico.

O campo elétrico na superfície de um material condutor em equilíbrio eletrostático, é perpendicular a essa superfície. A condição de se considerar uma situação eletrostática é fundamental para se

compreender a razão pela qual o campo só pode ser perpendicular. Se o campo não fosse perpendicular, isto é, se fosse possível decompor o campo numa componente paralela à superfície do condutor, haveria um movimento de cargas na superfície, o que contradiz a condição de equilíbrio eletrostático.

É possível provar que o excesso de carga elétrica num condutor em equilíbrio eletrostático se encontra distribuída na sua superfície externa. Quer isto dizer que não há carga livre no interior do condutor.

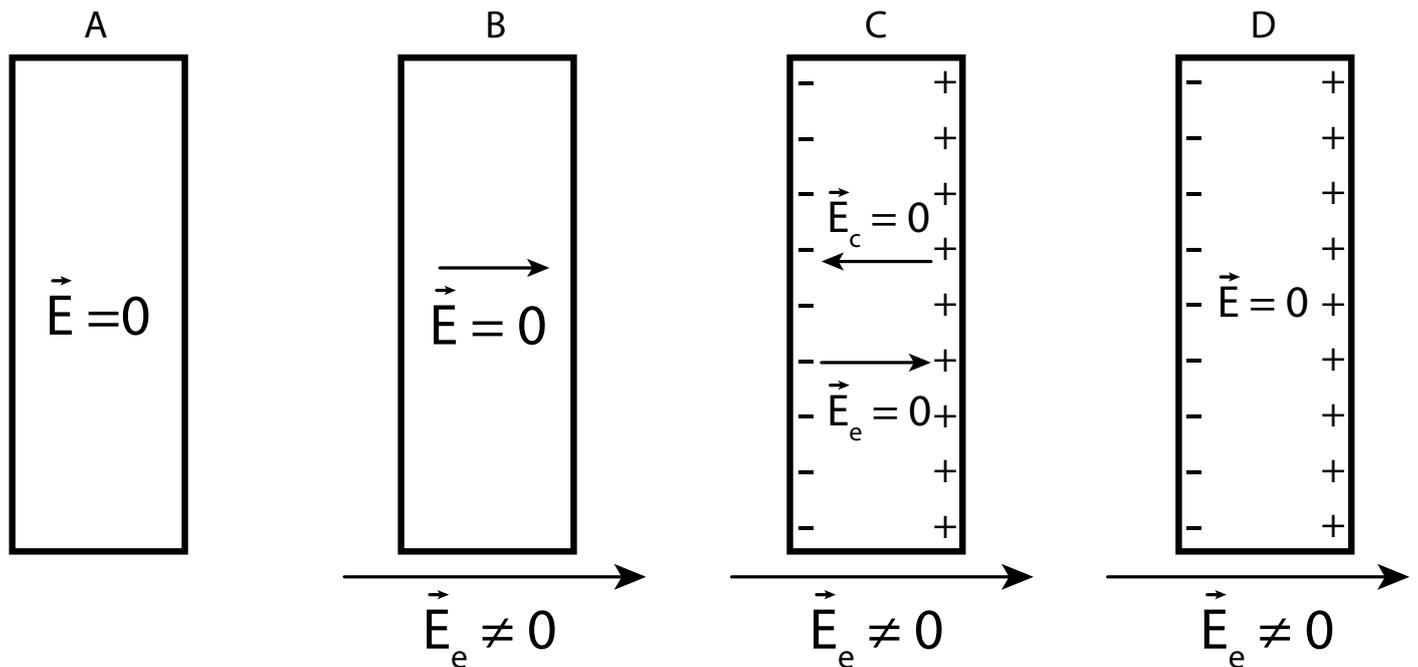


Figura 5 (A) Condutor em equilíbrio eletrostático. (B) Liga-se um campo elétrico externo \vec{E}_e e passa a haver campo no interior do condutor. (C) As cargas reorganizam-se e criam um campo \vec{E}_c . (D) O movimento de cargas pára quando o campo elétrico que criam tem o mesmo valor que o campo elétrico exterior e o anula no interior do condutor.

Blindagem eletrostática

Um material condutor, que envolve por completo uma dada região do espaço (cavidade) é capaz de a isolar da influência de campos elétricos exteriores. Prova-se que o campo elétrico no interior de uma cavidade vazia de um condutor é nulo. Imagine-se que assim não é. Isso significa que no interior da cavidade podemos traçar linhas de campo com origem num ponto da superfície da cavidade para outro. Consideremos um percurso fechado que é contituído por uma das linhas de campo na cavidade e por um percurso totalmente inserido no condutor. Uma vez que o campo elétrico é conservativo e o campo elétrico no interior do condutor é nulo, a existência de linhas de campo na cavidade permite concluir que o trabalho realizado para transportar uma carga no percurso fechado definido atrás não é nulo. Assim sendo, o campo elétrico deve ser nulo na

cavidade vazia do condutor. Para que isso aconteça, as cargas no condutor reorganizam-se de modo a anular o campo elétrico externo.

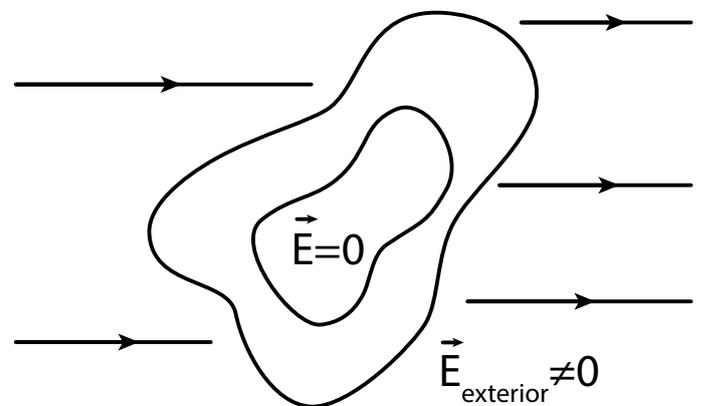


Figura 6 O campo elétrico numa cavidade de um condutor é independente do campo elétrico no seu exterior.

Descontinuidade do campo elétrico numa superfície eletricamente carregada

Considere-se uma superfície eletricamente carregada. O vetor campo elétrico num ponto dessa superfície pode ser decomposto numa componente perpendicular e numa componente paralela à superfície condutora. É possível mostrar que a componente perpendicular à superfície condutora é descontínua, enquanto que a componente paralela é contínua. Isto quer dizer que se se medir o campo elétrico nos dois lados da uma superfície carregada, o valor da componente normal é diferente, e a sua diferença é uma constante que se relaciona com a densidade superficial de carga da superfície. De facto, é possível mostrar que $\Delta \vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, em que σ é a densidade superficial de carga.

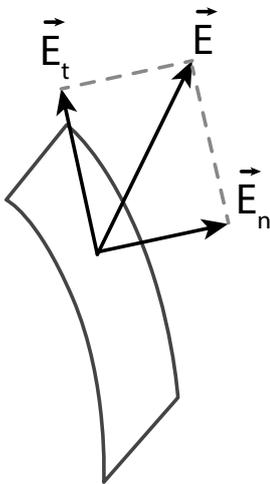


Figura 7 Decomposição do vetor campo elétrico em duas componentes: \vec{E}_n é perpendicular à superfície e \vec{E}_t é paralela.

Exemplos de campos elétricos

1. Campo elétrico criado por uma esfera maciça de raio R, carregada uniformemente com carga Q:

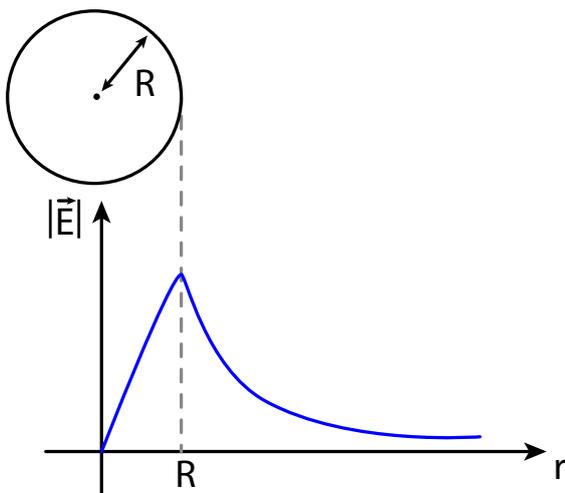


Figura 8 Campo elétrico criado por uma esfera maciça carregada com carga Q.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qr}{R^3} \hat{r}, \text{ para } r < R.$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}, \text{ para } r > R.$$

2. Campo elétrico criado por uma superfície esférica de raio R uniformemente carregada, com carga Q, fora da esfera:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}, \text{ para } r > R.$$

3. Campo elétrico produzido por um filamento retilíneo de comprimento ilimitado, com densidade linear de carga constante λ :

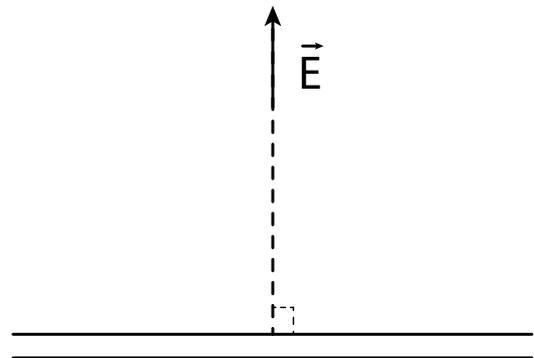


Figura 9 Campo elétrico criado por um filamento muito comprido.

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y^2} \hat{y}$$

4. Campo elétrico criado por um plano infinito com densidade superficial de carga σ :

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{n},$$

em que \hat{n} é o versor que aponta na direção perpendicular ao plano.

Materiais relacionados disponíveis na [Casa das Ciências](#):

1. [Campo eletrostático 3D](#), de Paul Falstad;
2. [Campo eletrostático 2D \(versão 1\)](#), de Paul Falstad;
3. [Campo eletrostático 2D \(versão 2\)](#), de Paul Falstad;
4. [Cargas em movimento e campos](#), de Thomas Fleisch;
5. [Campos elétricos](#), de Teresa Martín e Ana Serrano;
6. [Linhas de campo elétrico](#), de Gilbert Gastebois.

Leitura recomendada

1. Alonso, M. e Finn, E. J., Física, Addison Wesley, 1999;
2. Purcell, E. M., *Electricity and Magnetism*, McGraw Hill, 1985;
3. Brito, L., Fiolhais, M. e Providência, C., *Campo Electromagnético*, McGraw Hill, 1999.

Autor

Miguel Ferreira
Licenciatura em Física pela Faculdade
de Ciências da Universidade do Porto

Editor

Joaquim Agostinho Moreira
Departamento de Física e Astronomia da Faculdade
de Ciências da Universidade do Porto

