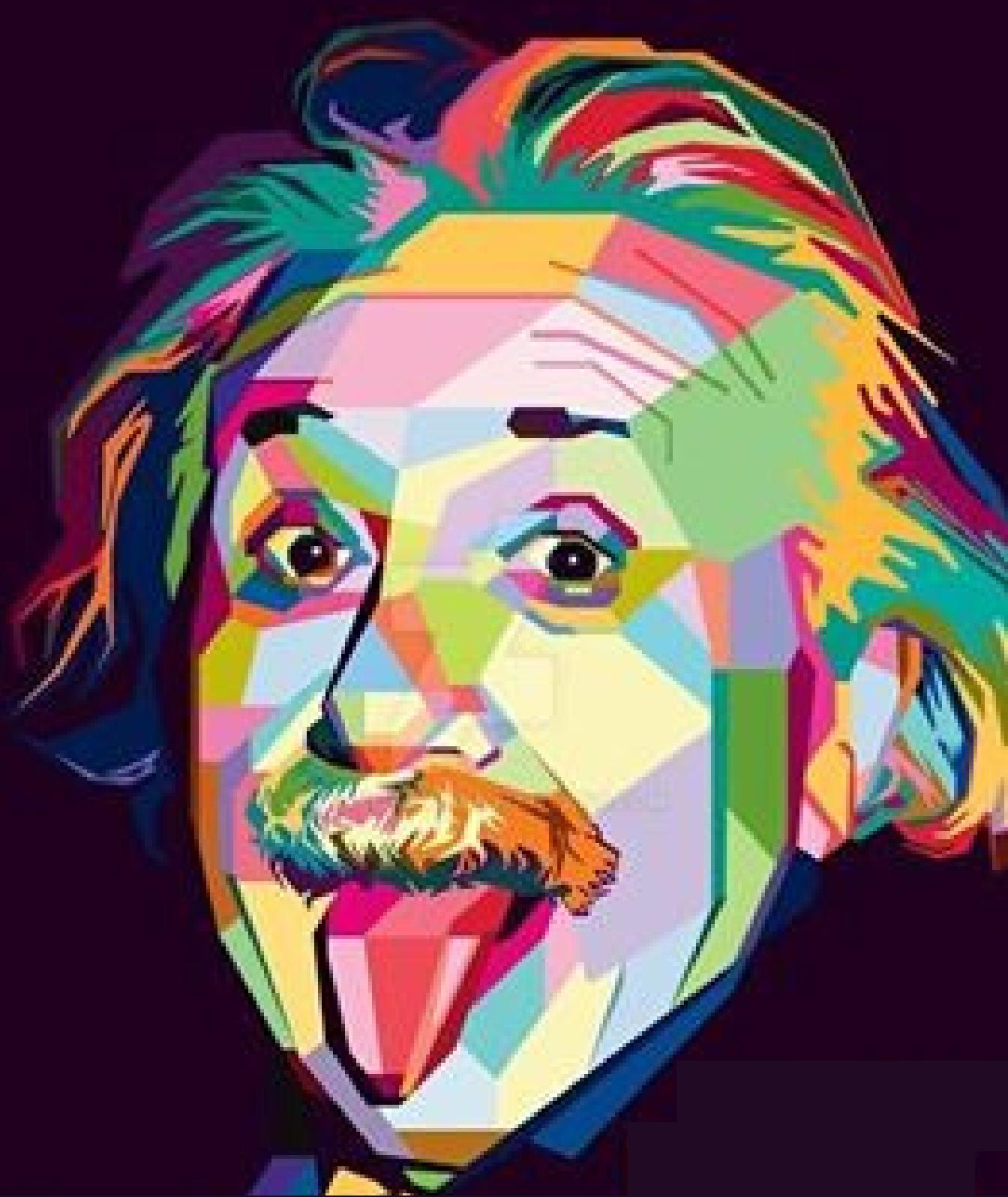


F·Í·S·I·C·A

AUXILIA - Curso Preparatório para o ENEM

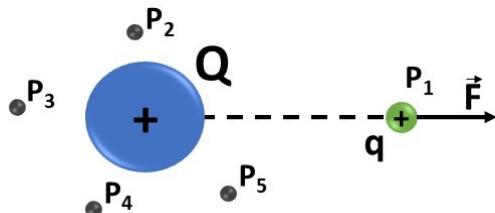


O CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

Você lembra da força gravitacional que o planeta Terra exerce nos objetos? Essa força atua sobre os objetos sem precisar estar em contato com eles, certo?! Pois então, chamamos isso de uma força de campo. E o que isso tem haver com o que estamos estudando aqui? Bem... Tudo! **A força gravitacional e a força elétrica são forças que atuam à distância**, isto é, são forças que surgem ainda que os corpos não estejam em contato e por isso, são denominadas de **forças de campo**.

Vamos nos aprofundar nesse assunto, agora envolvendo **cargas elétricas**. A presença de uma carga Q_1 , em uma determinada região do espaço, afeta eletricamente o espaço em torno dela, de forma que, ao colocarmos nesta mesma região uma segunda carga elétrica Q_2 , surgirá uma força... A força elétrica, que acabamos de estudar na Lei de Coulomb! Note que, ao sabermos que a carga Q_1 exerce uma força na carga Q_2 , sem nem precisar tocá-la, podemos comprovar que a **força elétrica é uma força de campo**, ou seja, há um campo associado a essa força. Neste caso, é o **campo elétrico**.

Considere uma carga Q fixa em uma determinada região do espaço, conforme a Figura 1. Já sabemos que se uma outra carga q for colocada em um ponto P_1 , a uma certa distância de Q , aparecerá uma força elétrica \vec{F} atuando sobre q .



Fonte: <https://www.significados.com.br/campo-elettrico/>

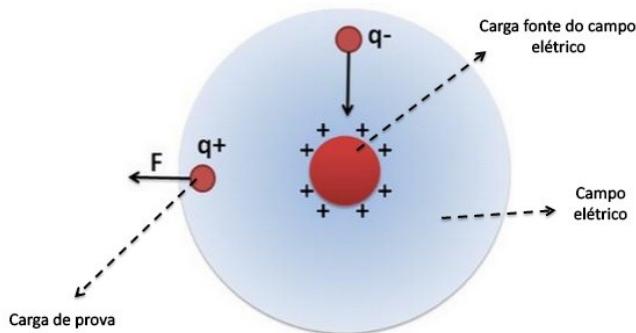
Figura 1 – Em torno de uma carga elétrica Q existe um campo elétrico, criado por essa carga.

Suponha agora, que a carga q é deslocada em torno de Q , para outros pontos quaisquer, tais como P_2 , P_3 , etc. Em cada um desses pontos também estará atuando sobre q uma força elétrica, exercida por Q . Para descrever esse fato, dizemos que em qualquer ponto do espaço, em torno de Q , existe um **campo elétrico**.

Comentários

- 1) A carga q , deslocada de um ponto a outro para verificar a existência, ou não, de um campo elétrico é denominada de **carga de prova** ou **carga de teste**;
- 2) É importante salientar que **a existência de campo elétrico em um ponto do espaço não depende da presença da carga de prova q** . Assim, existe um campo elétrico em cada um dos pontos P_2 , P_3 , P_4 e P_5 da Figura 1, embora não haja carga de prova em nenhum deles. Ao colocarmos uma carga de prova q em um ponto, queremos apenas verificar se atua, ou não, uma força elétrica sobre ela. Isso o nos permite concluir também, se existe ou não, um campo elétrico naquele ponto;
- 3) A carga Q , naturalmente, poderá ser tanto positiva (como na Figura 1), quanto negativa;
- 4) Estamos habituados a dizer que, na Figura 1, a força elétrica \bar{F} é exercida por Q sobre q . Agora, com a introdução do conceito de **campo elétrico**, podemos visualizar essa interação de uma maneira diferente: dizemos que a carga Q cria um campo elétrico nos pontos do espaço ao seu redor e que esse campo elétrico é o responsável por a carga de prova q sofrer uma ação, ou seja, é o responsável pelo aparecimento da força elétrica sobre q . Resumindo: **a força elétrica que atua sobre q é devida a ação do campo elétrico produzido por Q e não da ação direta de Q sobre q** ;
- 5) O conceito de **campo** não é restrito apenas ao estudo dos fenômenos elétricos. Por exemplo, em torno da Terra existe um campo gravitacional. Da mesma forma, em um ambiente qualquer (na sala da sua casa, no seu quarto...) existe um campo de temperatura, pois em cada ponto desse ambiente teremos uma temperatura própria. O campo poderá ser um **campo escalar** (é o caso do campo de temperatura) ou um **campo vetorial** (como o campo elétrico e o campo gravitacional).

Resumindo: Podemos definir o campo elétrico como a região do espaço que envolve a carga elétrica. E nessa região qualquer carga de prova ficará sujeita à ação de uma força elétrica.



O VETOR CAMPO ELÉTRICO

O campo elétrico pode ser representado, em cada ponto do espaço, por um vetor, simbolizado por \vec{E} e denominado **vetor campo elétrico**. Vamos discutir a seguir as características desse vetor, isto é, seu módulo, direção e sentido.

Para definir o *módulo ou intensidade* do vetor \vec{E} consideremos novamente a situação apresentada na Figura 1, onde a carga Q cria um campo elétrico na região em torno dela. Colocando-se uma carga de prova q em um ponto qualquer, como o ponto P_1 , uma força elétrica \vec{F} atuará sobre essa carga de prova. A intensidade do campo elétrico em P_1 será, por definição, dada pela expressão:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{Eq. 1}$$

A *unidade para medida de campo elétrico* \vec{E} é N/C (newton/coulomb).

Comentários:

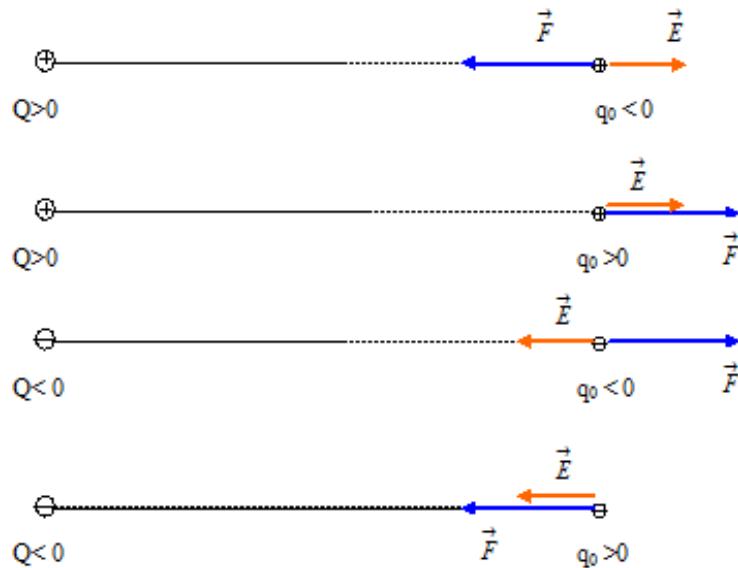
1) A Eq. (1) nos permite determinar a intensidade do campo elétrico em qualquer ponto do espaço. No caso da Figura 1 em pontos como P_1 , P_2 , P_3 , etc. De maneira geral, o valor de \vec{E} será diferente para cada um desses pontos.

2) Observe que, da Eq. (1), obtemos:

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad \text{Eq. 2}$$

Dessa forma, se conhecermos a intensidade do campo elétrico \vec{E} em um ponto, podemos calcular, usando a Eq. (2), o módulo da força elétrica \vec{F} que atua em uma carga de prova q qualquer, colocada naquele ponto.

A *direção e o sentido* do vetor campo elétrico em um ponto e a direção e o sentido da força que atua em uma *carga de prova* q , colocada nesse mesmo ponto, são determinados pelo sinal de Q e q . Vejamos:



Fonte: <https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/eletricidade/campo-e-potencial-eletrico/conceitos-basicos/>

Figura 2 – Direção e sentido do campo elétrico produzido pela carga Q (positiva e negativa) e direção e sentido da força elétrica que atua sobre a carga de prova q_0 (positiva e negativa).

Resumindo: Em relação ao conceito de vetor campo elétrico apresentado, as seguintes observações podem ser feitas:

- A unidade de campo elétrico é o newton por coulomb (N/C);
- em módulo $|\mathbf{F}| = |q| |\mathbf{E}|$
- A força elétrica \mathbf{F} e o campo elétrico \mathbf{E} , em um mesmo ponto P, sempre têm a mesma direção. Entretanto, o sentido é determinado pela sinal das carga Q e q .

Exemplo 1: Uma pessoa verificou que, no ponto P (ver esquema abaixo), existe um campo elétrico \vec{E} horizontal e para a direita, criado por um objeto eletrizado.



Esquema para o exemplo 1.

a) Desejando medir a intensidade do campo P, a pessoa colocou, nesse ponto, uma carga de prova $q = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ e verificou que sobre ela atuava uma força $F = 5 \cdot 10^{-2} \text{ N}$. Qual é a intensidade do campo em P?

Note que, nesse caso, o corpo que produz o campo elétrico em P tem carga positiva, isto é $Q > 0$. Logo, a força que atua na carga de prova q e o campo elétrico tem a *mesma direção e o mesmo sentido*. Assim, a intensidade do campo elétrico em um ponto qualquer é dada por $E = F/q$, obtemos então:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-7}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

↓

Esse é o módulo/intensidade do campo elétrico E

b) Retirando-se a carga q e colocando-se em P uma outra carga positiva $q_1 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, qual será o módulo da força \vec{F}_1 que atuará nessa carga e qual o sentido do movimento que ela tenderá a adquirir?

Aqui devemos lembrar que a existência de campo elétrico em um ponto do espaço não depende da presença da carga de prova q . Assim, no ponto P, mesmo que a carga de prova q seja substituída, continua a existir um campo elétrico produzido pelo objeto eletrizado, cujo módulo é $E = 2,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$.

De $E = F/q$, temos que $F = E q$. Logo,

$$F_1 = E q_1 = 3 \cdot 10^{-7} \times 2,5 \cdot 10^5 = 7,5 \cdot 10^{-2} N$$

Como a carga q_1 é positiva, sabemos que a força e o campo elétrico terão a mesma direção e o mesmo sentido. Dessa forma, a carga q_1 tenderá a se deslocar para direita, afastando-se do objeto eletrizado (repulsão).

c) Responda a questão anterior, agora supondo que no ponto P há uma carga negativa, cujo módulo é $q_2 = 3 \cdot 10^{-7} C$.

Em um primeiro momento devemos notar que, os valores das cargas q_1 e q_2 são iguais, logo o módulo/intensidade das forças também serão iguais, isto é:

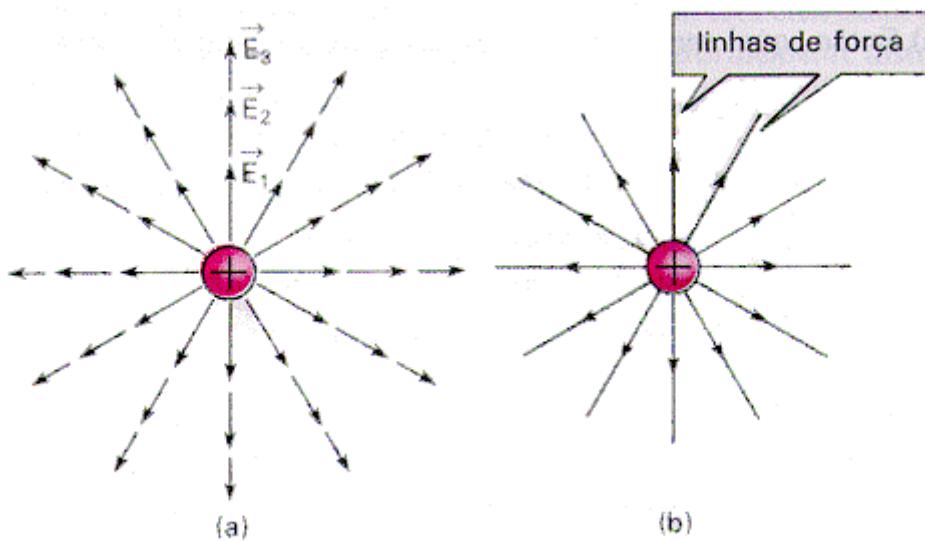
$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = 7,5 \cdot 10^{-2} N$$

Entretanto, q_2 sendo uma carga negativa será atraída pelo corpo eletrizado positivamente e tenderá a se deslocar para a esquerda, isto é, em sentido contrário ao do campo elétrico mostrado no esquema acima. Note que, a direção, o sentido e o módulo campo elétrico \vec{E} não se alteram, pois esse campo é produzido pelo mesmo objeto eletrizado positivamente.

Neste último caso, a força elétrica \vec{F}_2 terá a mesma direção, porém, sentido oposto ao campo elétrico. Isto é, a força elétrica que atua na carga q_2 será para esquerda e é isto que faz com que q_2 se movimente também para esquerda, aproximando-se do corpo eletrizado positivamente (atração).

LINHAS DE CAMPO

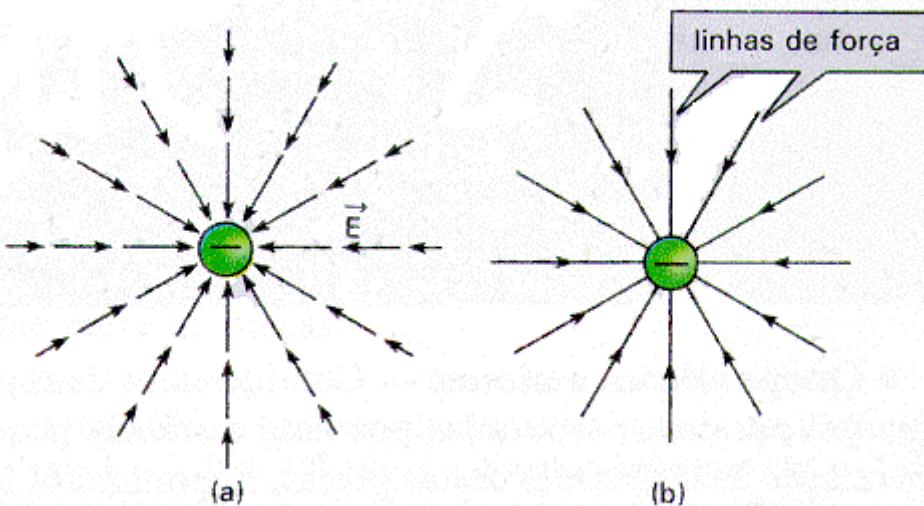
O conceito de **linhas campo** ou **linhas de força** foi introduzido pelo físico inglês Michael Faraday, no século XIX, com a finalidade de representar o campo elétrico por meio de *diagramas*. Para que possamos compreender a concepção de Faraday, suponha uma carga pontual positiva, criando um campo elétrico no espaço em torno dela. Como sabemos, em cada ponto desse espaço teremos um vetor campo elétrico \vec{E} cujo módulo/intensidade diminui à medida que nos afastamos da carga. Na Figura 3.(a) estão representados esses vetores em alguns pontos em torno da carga. Consideraremos os vetores $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \text{etc.}$ com mesma direção e tracemos uma linha passando por esses vetores, orientada no mesmo sentido deles, como mostra a Figura 3.(b). Essa linha é tangente aos vetores $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \text{etc.}$ e é chamada de **linha de campo** ou **linha força**. De maneira semelhante, podemos representar as demais linhas de campo ou linhas de força, como também foi feito na Figura 3.(b). Essa figura nos fornece a representação do campo elétrico na concepção de Faraday.



Fonte: <https://aprendendofisica.wordpress.com/2010/05/27/campo-eletrico-linhas-de-forca/>

Figura 3 – Linhas de campo ou linhas de força criadas por uma carga pontual positiva.

Se a carga criadora do campo for pontual e negativa, o vetor campo elétrico \vec{E} , em cada ponto do espaço, estará dirigido para esta carga, conforme Figura 4.(a). Podemos traçar também, as linhas de campo ou linhas de força que representarão este campo elétrico. Observe, na Figura 4.(b), que a configuração dessas linhas é idêntica àquela acima, que representa o campo elétrico produzido por uma carga pontual positiva, deferindo apenas no sentido sentido de orientação das linhas: **no campo da carga positiva as linhas de campo divergem a partir da carga e, no campo da carga negativa as linhas de campo convergem para a carga.**

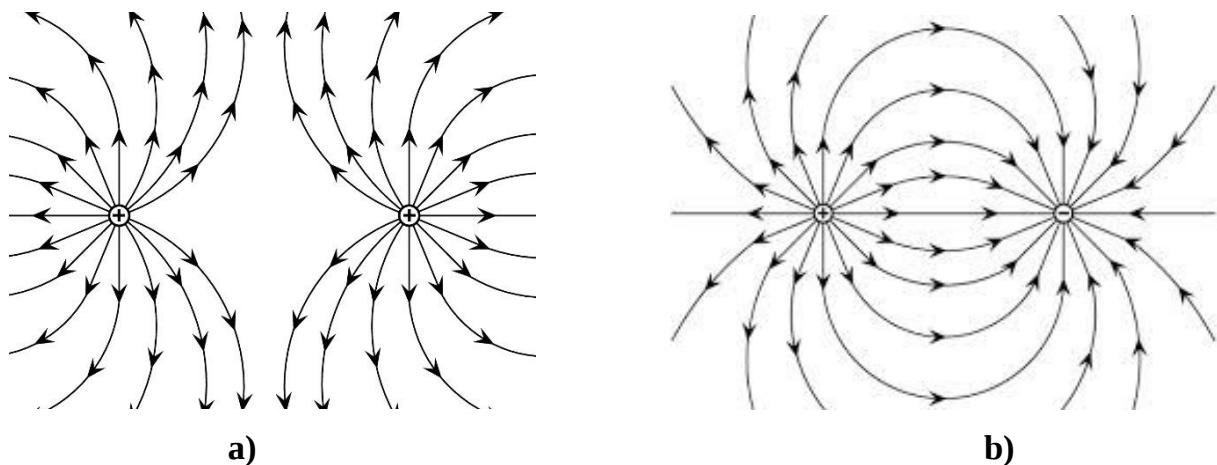


Fonte: <https://aprendendofisica.wordpress.com/2010/05/27/campo-eletrico-linhas-de-forca/>

Figura 4 – Linhas de campo ou linhas de força criadas por uma carga pontual negativa.

Comentários:

- 1) As linhas de campo ou linhas de força que acabamos de estudar apresentam uma configuração relativamente simples. Outras distribuições de carga criam campos cujas linhas podem apresentar formas mais complicadas. Por exemplo, na Figura 5 mostramos as linhas de campo criadas por duas cargas pontuais a) de mesmo módulo e mesmo sinal e b) de mesmo módulo e sinais contrários.



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/campo-eletrico.htm>

Figura 5 – Linhas de campo criadas por duas cargas pontuais de a) mesmo sinal e b) sinais contrários.

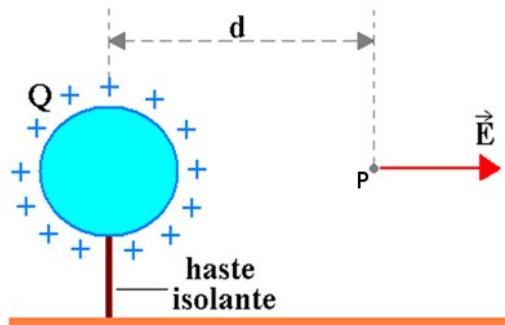
- 2) As linhas de campo podem ser traçadas de modo a nos dar informações não só sobre a direção e o sentido do vetor campo elétrico, mas sobre o módulo deste vetor. Para isso, convencionou-se traçar as linhas de forma mais próximas uma das outras nas regiões onde a intensidade do campo for maior e mais separadas nas regiões onde o campo é menos intenso, ou seja, a medida que nos afastamos da carga;
- 3) o vetor campo elétrico \vec{E} é sempre tangente as linhas de campo;
- 4) As linhas de campo nunca se cruzam; se houvesse cruzamento teríamos, para um mesmo ponto, dois vetores campo elétrico distintos e isso não é permitido;

CAMPO ELÉTRICO CRIADO POR CARGAS PONTUAIS

1. Campo de uma carga pontual:

A Eq. 1 ($E = F/q$) nos permite a calcular a intensidade do campo elétrico quaisquer que sejam as cargas que criam esse campo. Vamos agora aplicá-la a um caso particular: quando uma carga pontual cria o campo.

Uma carga elétrica pontual Q gera no espaço ao seu redor um campo elétrico. A intensidade desse campo, em um ponto P qualquer, depende da intensidade da carga geradora Q , da distância d do ponto P à carga geradora Q e do meio que envolve essa carga.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-elettrico-gerado-por-uma-carga-pontual.htm>

Figura 6 – Módulo, direção e sentido do vetor campo elétrico, criado pela carga pontual Q , em um ponto cuja distância à carga é igual a d .

Consideramos então, uma carga pontual Q no ar e um ponto qualquer, situado a distância d dessa carga (ver Figura 6). Se colocarmos uma carga de prova q nesse ponto, ela ficará sujeita a uma força elétrica \vec{F} , cujo módulo pode ser calculado pela Lei de Coulomb, isto é:

$$F = k_0 \frac{Qq}{d^2} \quad \text{Eq. 3}$$

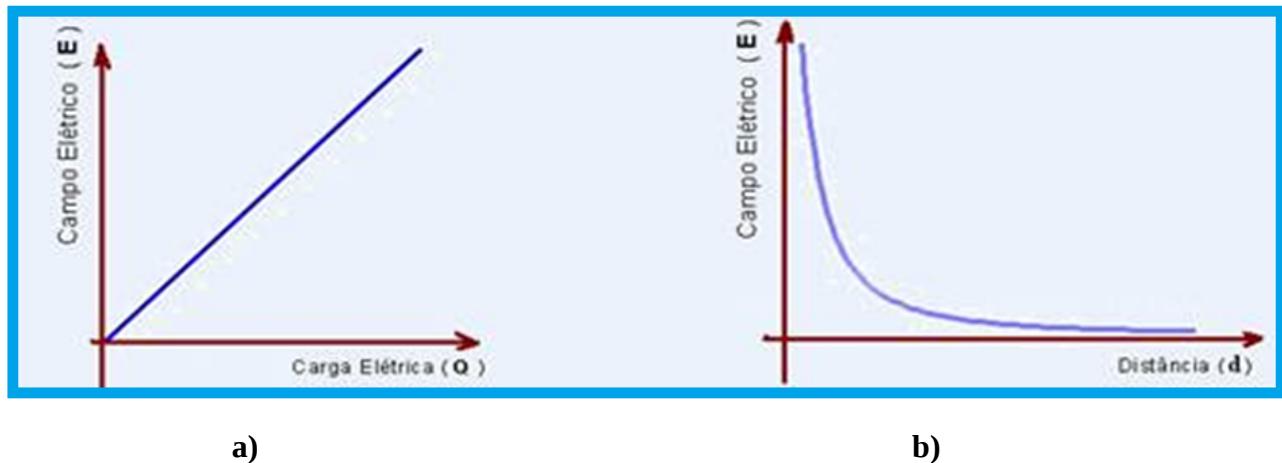
Igualando a Eq. 3 a Eq. 2 ($F = E q$), obtemos:

$$E = k_0 \frac{|Q|}{d^2} \quad Eq. 4$$

Portanto, a Eq. 4 nos permite calcular a intensidade do campo em um certo ponto, quando conhecemos o valor da carga pontual Q que criou esse campo e a distância do ponto a essa carga. Observe, entretanto, que essa equação só pode ser usado para esse caso (campo criado por uma carga pontual). Para outros tipos de cargas – não pontuais, existem outras equações apropriadas e que não serão analisadas ao longo do nosso curso.

Comentários:

- 1)** A carga de prova q não aparece nessa expressão. Assim, concluímos que a intensidade do campo elétrico em um ponto **não** depende da carga de prova q , ao contrário do que se poderia imaginar ao analisar apenas a Eq.1 ($E = F/q$);
- 2)** A intensidade do campo elétrico E , em um dado ponto, é diretamente proporcional à carga Q que cria o campo. A Figura 7(a) mostra o gráfico $E \times Q$. Note que, a medida que variamos o valor de Q , a intensidade do campo E também varia, proporcionalmente (se Q cresce o campo E também cresce);
- 3)** A Eq.4 também nos mostra que o campo elétrico produzido por uma carga Q , é inversamente proporcional ao quadrado da distância, isto é, o valor de E será menor quanto maior foi a distância d entre o ponto e a carga Q . A Figura 7(b) mostra o gráfico $E \times d$.
- 4)** A direção e o sentido do campo elétrico produzido por cargas pontuais já foi apresentado anteriormente (ver figuras 3 e 4).

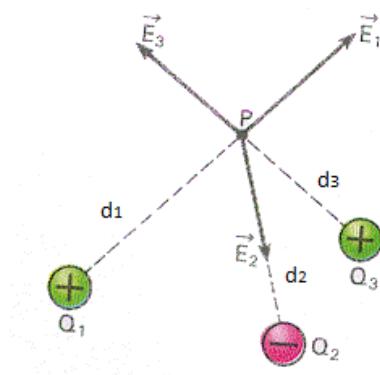


Fonte: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/electricidade/eletrostatica/campo-eletrico/>

Figura 7 – Aspectos dos gráficos a) $E \times Q$ e b) $E \times d$.

2. Campo de várias cargas pontuais:

Considere várias cargas elétricas pontuais $Q_1, Q_2, Q_3, \text{ etc.}$, como mostra a Figura 8. Suponha que queremos calcular o campo elétrico que o conjunto dessas cargas pontuais cria em um ponto P qualquer do espaço.



Fonte: <http://trabcampoeletrico.blogspot.com/p/campo-eletrico-criado-por-uma-ou-mais.html>

Figura 8 – As cargas Q_1, Q_2 e Q_3 criam no ponto P os vetores campos elétricos E_1, E_2 e E_3 .

Para isso devemos calcular, inicialmente, o campo elétrico \vec{E}_1 criado em P apenas pela carga Q_1 . Como Q_1 é uma carga pontual, o valor de \vec{E}_1 poderá ser calculado usando-se a Eq. 4. A direção e o sentido de \vec{E}_1 indicados na Figura 8, foram determinados de acordo com o que estudamos anteriormente.

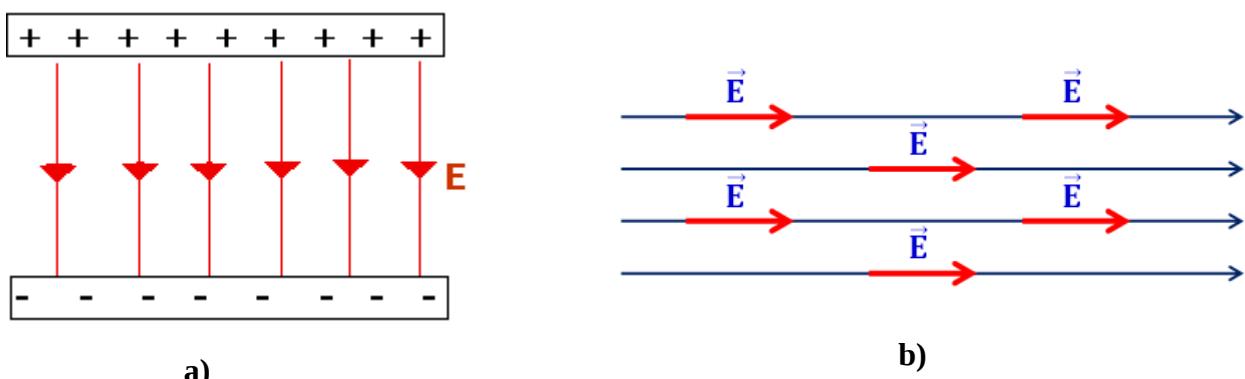
A seguir, de maneira análoga, determinamos o campo \vec{E}_2 criado por Q_2 e o campo \vec{E}_3 criado por Q_3 . O campo elétrico resultante \vec{E} ou \vec{E}_R existente no ponto P, é dado pela **resultante** dos campos elétricos produzidos, separadamente, por Q_1 , Q_2 e Q_3 , ou seja:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots \quad Eq. 5$$

Então, o campo elétrico \vec{E} criado por várias cargas pontuais, é obtido por meio de uma **soma vetorial**, operação que aprendemos a efetuar na segunda semana do nosso curso.

3. Campo elétrico uniforme:

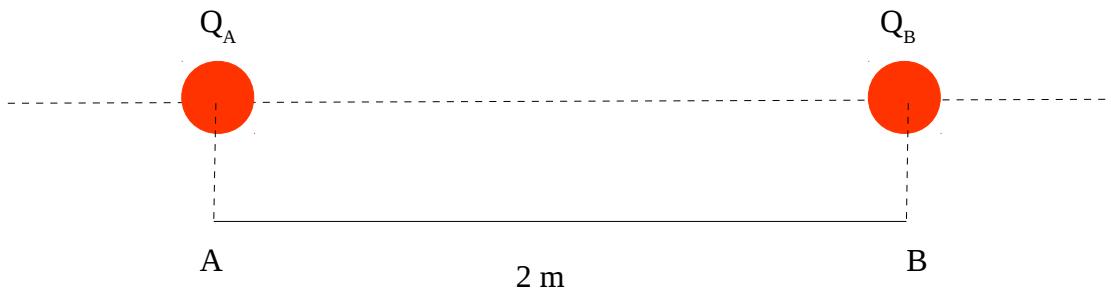
Para algumas distribuições de cargas fixas, como duas placas planas, paralelas e separadas por uma distância pequena em relação às suas dimensões (ver Figura 9(a)), o vetor campo elétrico varia muito pouco de um ponto para outro. Nessas condições, dizemos que o campo elétrico é uniforme e que o vetor campo elétrico \vec{E} que o representa tem, em todos os pontos, a **mesma intensidade, mesma direção e mesmo sentido**. Nesse caso, as linhas de campo são representadas por retas paralelas, com mesma orientação, conforme figura 9(b).



Fonte: <http://fisimatica1.lwsite.com.br/eletrostatica-aula-08-campo-elettrico-uniforme>

Figura 9 – a) Representação de um campo elétrico uniforme e b) representação das linhas de campo.

Exemplo 2: Duas cargas elétricas, A e B , estão no vácuo, separadas pela distância de 2 m, conforme esquema abaixo:



Sendo $Q_A = -4\mu C$ e $Q_B = 9\mu C$, determine:

a) A intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico, em um ponto P , situado sobre a reta que une as cargas e 1m à direita da carga Q_B .

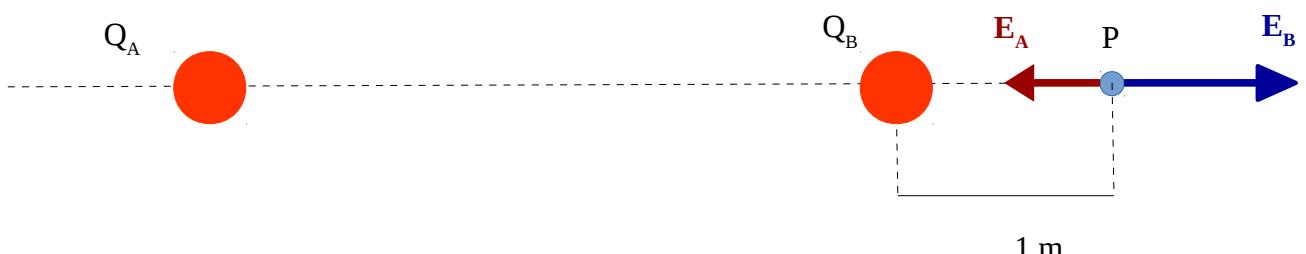
Para um ponto situado 1m à direita de Q_B temos: a distância da carga Q_B até esse ponto P é $d_B = 1\text{m}$ e a distância da carga Q_A até esse mesmo ponto P é $d_A = 3\text{m}$. Logo, usando a Eq. 4, obtemos:

$$E_A = 9 \cdot 10^9 \frac{|-4 \cdot 10^{-6}|}{3^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{9} = 4 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Já encontramos o módulo do campo E_A agora devemos determinar a direção e o sentido desse campo. A direção será sobre a reta que une as cargas (horizontal) e o sentido para a esquerda, pois devemos atentar para o fato da carga Q_A ser uma carga negativa. Assim, de acordo com o que vimos anteriormente, sabemos que no campo de cargas negativas as linhas de campo convergem para a carga.

$$E_B = 9 \cdot 10^9 \frac{9 \cdot 10^{-6}}{1^2} = 81 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Encontramos agora o módulo do campo E_B . A direção desse campo também será sobre a reta que une as cargas Q_A e Q_B (horizontal) e o sentido será para direita, pois a carga Q_B é uma carga positiva e nesse caso, as linhas de campo divergem a partir da carga.



Logo, o campo elétrico resultante será obtido a partir da soma vetorial de E_A e E_B . Perceba que esses dois campos tem a mesma direção e sentidos opostos, isto é:

$$E = E_B - E_A = 81 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3 = 77 \cdot 10^3 = 7,7 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

Além disso, a direção desse campo é sobre a reta que une as cargas (horizontal) e para direita, uma vez que, $E_B > E_A$.

b) O vetor campo elétrico no ponto M, situado a 4m à esquerda da carga Q_A e sobre a reta que une as duas cargas.

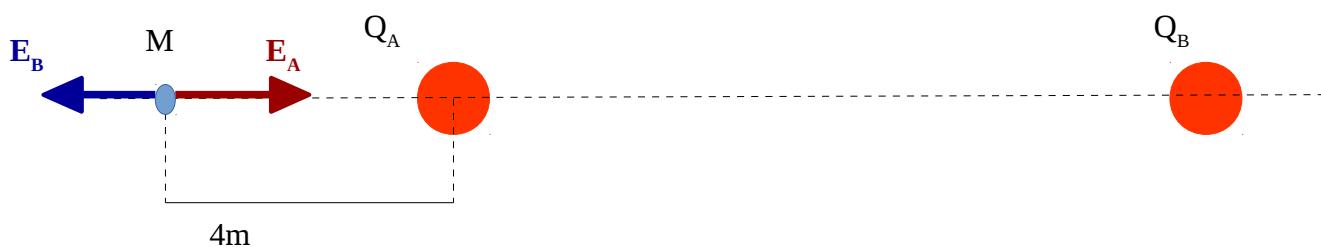
Para um ponto situado 4m à esquerda de Q_A temos que a distância desse ponto até a carga Q_A é $d_A = 4\text{m}$ e a distância desse mesmo ponto a carga Q_B é $d_B = 6\text{m}$. Logo, usando, novamente, a Eq. 4, obtemos:

$$E_A = 9 \cdot 10^9 \frac{|-4 \cdot 10^{-6}|}{4^2} = 2,25 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

A direção do campo E_A será sobre a reta que une as cargas (horizontal) e o sentido para a direita, pois devemos atentar para o fato da carga Q_A ser uma carga negativa e o campo de cargas negativas as linhas de campo convergem para a carga.

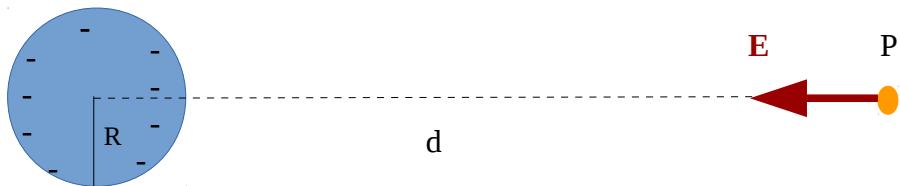
$$E_B = 9 \cdot 10^9 \frac{9 \cdot 10^{-6}}{6^2} = 2,25 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

A direção do campo E_B também será sobre a reta que une as cargas Q_A e Q_B (horizontal) e o sentido será para esquerda, pois a carga Q_B é uma carga positiva e nesse caso, as linhas de campo divergem a partir da carga.



O campo elétrico resultante será obtido a partir da soma vetorial de E_A e E_B . Perceba que esses dois campos tem a mesma direção, mesmo módulo e sentidos opostos, logo, o campo resultante é nulo ($E=0 \text{ N/C}$).

Exemplo 3: Uma esfera de raio $R = 8 \text{ cm}$ está eletrizada negativamente, com uma carga uniformemente distribuída em sua superfície, de valor $Q = 3,2 \mu\text{C}$. Considere d , a distância da superfície da esfera ao ponto P , igual a 4 cm .



a) Qual será o sentido do campo elétrico criado pela esfera no ponto P?

O campo criado por uma carga negativa está sempre voltado para essa carga. Logo, o vetor campo elétrico \vec{E} no ponto P terá a direção e o sentido mostrados no esquema acima.

b) Supondo a esfera no ar, qual será a intensidade do campo elétrico no ponto P?

A intensidade do campo elétrico criado por uma esfera será dada por:

$$E = K_0 \frac{|Q|}{r^2}$$

Em que r é a distância do ponto P ao centro da esfera. Logo, neste caso teremos:

$$r = 8 \text{ cm} + 4 \text{ cm} = 12 \text{ cm} = 12 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Como $Q = 3,2 \mu\text{C} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, obtemos:

$$E = K_0 \frac{|Q|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{3,2 \cdot 10^{-6}}{(12 \cdot 10^{-2})^2} = 2 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

c) Se uma carga pontual negativa, de valor $q = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, for colocada em P, quais serão o módulo, a direção e o sentido da força elétrica que atuará sobre ela?

Como q é uma carga negativa, sabemos que ela ficará sujeita a uma força no sentido contrário ao do campo elétrico existente no ponto. Essa carga será repelida pela esfera eletrizada negativamente. Logo, quando q for colocada no ponto P do esquema acima, atuará sobre ela uma força \vec{F} dirigida para a direita. O módulo dessa força poderá ser calculado pela Eq. 1 ($F = qE$). Então:

$$F = qE = 3,5 \cdot 10^{-7} \times 2 \cdot 10^6 = 0,7 \text{ N}$$

Exemplo 4 - Campo elétrico uniforme: Ver vídeo indicado abaixo:

 **YouTube** <https://www.youtube.com/watch?v=fvf16pjbdJA>

COMPORTAMENTO DE UM CONDUTOR ELETORIZADO

1. A carga se distribui na superfície do condutor:

Suponha que um material condutor, como um bloco metálico, seja atritado em uma determinada região da sua superfície, ficando negativamente eletrizado (adquirindo cargas negativas). Esse excesso de cargas negativas repelem-se mutuamente e atuam também sobre os elétrons livres do próprio condutor, fazendo com que eles se desloquem até atingir uma distribuição final, denominada **equilíbrio eletrostático**. No equilíbrio eletrostático as cargas no condutor apresentam-se em repouso. Além disso, a situação de equilíbrio eletrostático é atingida em um intervalo de tempo extremamente pequeno e após atingida, verifica-se, experimentalmente, que a carga negativa adquirida pelo material condutor apresenta-se distribuída em sua superfície.

Se o condutor é eletrizado positivamente (adquirindo cargas positivas), observamos o mesmo final. A carga positiva se apresentará distribuída na superfície do condutor.

Inicialmente, você pode se assustar com o conceito de **equilíbrio eletrostático**, mas não se preocupe, apenas o nome é complicado. Um corpo condutor, pode ser uma barra de metal, um carro, um avião, etc., está em equilíbrio eletrostático quando não há movimento de cargas no seu interior.

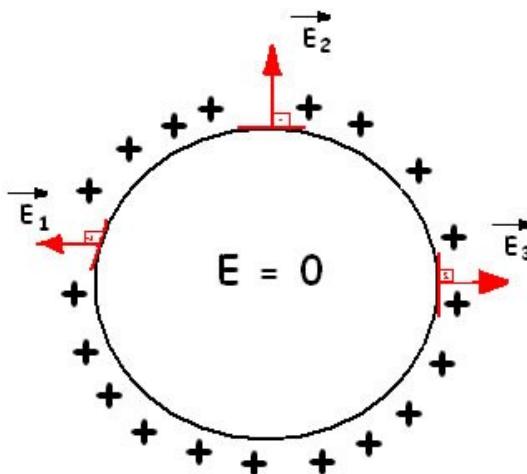
Atenção: existem cargas elétricas no corpo, só não se movimentam!

Deve-se destacar também que esse comportamento é característico de um condutor. De fato, se um isolante for atritado em uma determinada região da sua superfície, a carga por ele adquirida não se espalhará, permanecendo em equilíbrio na região onde foi gerada. Isso ocorre porque o isolante não possui elétrons livres e, consequentemente, as cargas elétricas não podem se deslocar no material. São exemplos de materiais isolantes: borracha, plástico, vidro, etc.

2. O campo elétrico no interior do condutor será nulo:

Como vimos, ao ser atingido o equilíbrio eletrostático, as cargas elétricas em um condutor estão distribuídas em sua superfície e se encontram em repouso. Nessas condições, a distribuição dessas cargas deve ser tal que torne nulo o campo elétrico em qualquer ponto do interior do condutor. Se o campo elétrico no interior do condutor fosse diferente de zero, os elétrons livres aí existentes estariam em movimento sob ação desse campo. Porém, como as cargas estão em equilíbrio eletrostático, esse movimento não pode existir e, portanto, **o campo elétrico deve ser nulo no interior do condutor**.

Já em pontos da superfície desse condutor em equilíbrio eletrostático, é possível existir um campo elétrico, sem que isso altere a condição de equilíbrio eletrostático ou o fato do campo elétrico no interior desse condutor ser nulo. Para isso, o **vetor campo elétrico** \vec{E} deve ser **perpendicular à superfície do condutor** (ver Figura 10). Atuando nessa direção, o campo não poderá provocar movimento de cargas.

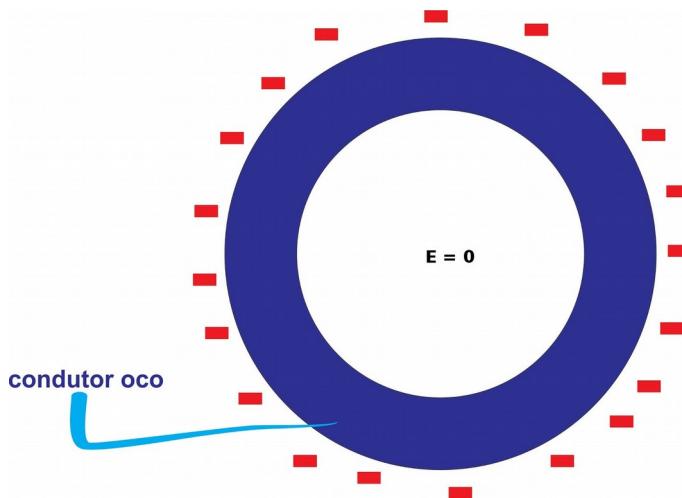


Fonte: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/condutores-em-equilibrio-eletrostatico.html>

Figura 11 – O vetor campo elétrico na superfície de um condutor eletrizado, em equilíbrio eletrostático, é perpendicular à superfície desse condutor. O campo elétrico no interior desse condutor é nulo.

3. Blindagem eletrostática:

Os fatos estudados anteriormente são válidos mesmo se o condutor for oco, isto é, se ele apresentar uma cavidade interna, como o bloco metálico mostrado na figura abaixo.



Fonte: <http://ilhadeserra.blogspot.com/2016/05/condutores-e-capacidade-eletrostatica.html>

Figura 11 – O campo elétrico no interior de um condutor oco eletrizado, em equilíbrio eletrostático, é nulo.

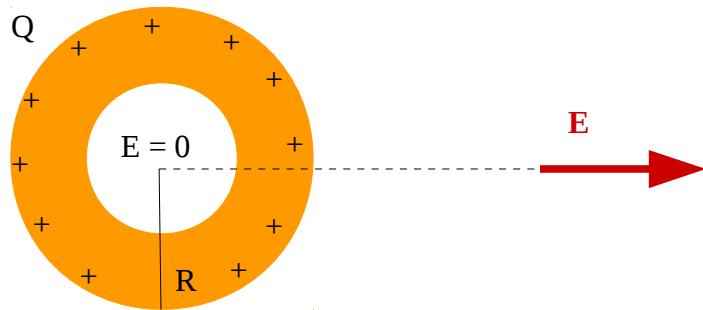
Dessa maneira, uma cavidade no interior de um condutor é uma região que não é atingida por efeitos elétricos produzidos externamente, pois o campo elétrico no interior dessa cavidade é nulo. Por esse motivo, um condutor oco pode ser usado para produzir uma **blindagem eletrostática**. Se você observar o interior de um aparelho de TV antigo, o modelo de tubo, poderá notar que algumas válvulas e outros dispositivos apresentam-se envolvidas por capas metálicas, estando, portanto, blindadas por esses condutores.

A blindagem eletrostática já era conhecida por Faraday, que realizou um experimento que ficou conhecido como *Gaiola de Faraday*. Hoje em dia, esse mesmo conceito pode ser visto nos aviões ou nos carros quando eles são atingidos por raios. As cargas elétricas se distribuem pela carcaça metálica desses objetos, não afetando o que ou quem está dentro dela, já que no interior o campo elétrico é nulo. Por isso já sabe né? Se você estiver andando de carro e começar uma tempestade, não preocupe em sair dele. Fique calmo e espere a chuva passar! Se vier a ocorrer uma descarga elétrica você não sofrerá danos.

Exemplo 5: Uma esfera metálica oca, de raio R , encontra-se no ar, eletrizada positivamente com uma carga Q .

a) Desenhe o vetor campo elétrico em um ponto exterior bem próximo da superfície da esfera.

Vimos que o campo elétrico num ponto próximo à superfície de um condutor é perpendicular a essa superfície. Então, no caso do exemplo teremos:



b) Qual é a expressão que nos permite calcular a intensidade do campo elétrico em um ponto próximo à superfície da esfera?

Sabemos que, para pontos exteriores a esfera, tudo se passa como se sua carga estivesse concentrada em seu centro, isto é, para esses pontos é válida a Eq. 4 ($E = k_0 |Q|/d^2$), em que d é a distância do ponto ao centro da esfera. Então, em um ponto próximo à superfície, temos que $d = R$ (raio da esfera), ou seja:

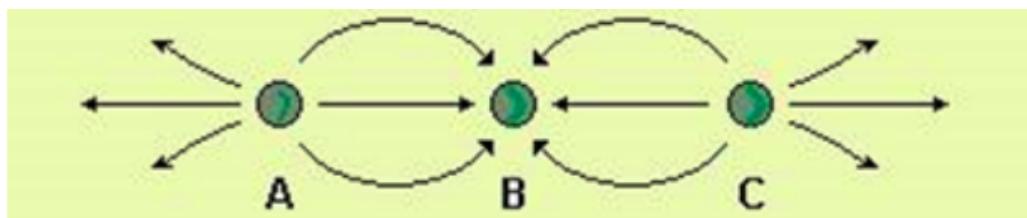
$$E = k_0 \frac{|Q|}{R^2}$$

c) Qual é o valor do campo elétrico em pontos no interior da esfera?

Nesses pontos, a equação acima não é mais válida, pois sabemos que no interior de objetos metálicos, em equilíbrio eletrostático, temos que o campo elétrico é nulo ($E=0$).

EXERCÍCIOS PARA FIXAÇÃO

Exercício 1 – A figura a seguir representa a configuração de linhas de campo elétrico produzidas por três cargas pontuais, todas com o mesmo módulo Q . Os sinais das cargas A, B e C são, respectivamente:



- a)** negativo, positivo e negativo
- b)** positivo, negativo e positivo
- c)** positivo, positivo e positivo
- d)** negativo, negativo e negativo
- e)** negativo, negativo e positivo

Exercício 2 – As linhas de campo são um modo conveniente de visualizar o campo elétrico e indicam a direção do campo em qualquer ponto. Leia as opções abaixo e assinale a afirmativa INCORRETA.

- a)** O número de linhas que saem ou que entram numa carga puntiforme é proporcional ao valor da carga elétrica.
- b)** As linhas de força saem da carga negativa e entram na carga positiva.
- c)** As linhas de força saem da carga positiva e entram na carga negativa.
- d)** O número de linhas por unidade de área perpendicular às linhas é proporcional à intensidade do campo.

Exercício 3 – Em um ponto do espaço:

- I. Uma carga elétrica não sofre ação da força elétrica se o campo nesse local for nulo.
- II. Pode existir campo elétrico sem que aí exista força elétrica.
- III. Sempre que houver uma carga elétrica, esta sofrerá ação da força elétrica.

Use C (certo) ou E (errado).

- a)** CCC
- b)** CEE
- c)** ECE
- d)** CCE
- e)** EEE

Exercício 4 – Seja Q (positiva) a carga gerada do campo elétrico e q a carga de prova (positiva) em um ponto P , próximo de Q . Podemos afirmar que:

- a)** o vetor campo elétrico em P dependerá do sinal de q .
- b)** o módulo do vetor campo elétrico em P será tanto maior quanto maior for a carga q .
- c)** o vetor campo elétrico será constante, qualquer que seja o valor de q .
- d)** a força elétrica em P será constante, qualquer que seja o valor de q .
- e)** o vetor campo elétrico em P é independente da carga de prova q .

Exercício 5 – Sobre uma carga elétrica desconhecida age uma força elétrica de 12 N com sentido oposto ao do campo elétrico da região onde esse carga está imersa. Sabendo que o valor do campo elétrico nessa região é de 4 N/C, podemos afirmar que a carga elétrica desconhecida:

- a)** é positiva e tem valor de 3 C
- b)** é positiva e tem valor de $1/3$ C
- c)** é negativa e tem valor de 3 C
- d)** é negativa e tem valor de $1/3$ C
- e)** não é possível afirmar nada sobre a carga

Exercício 6 – Duas esferas metálicas contendo as cargas Q e $2Q$ estão separadas pela distância de 1m. Podemos dizer que, a meia distância entre as esferas, o campo elétrico gerado por:

- a)** ambas as esferas é igual
- b)** uma esfera é $1/2$ do campo gerado pela outra esfera
- c)** uma esfera é $1/3$ do campo gerado pela outra esfera
- d)** uma esfera é $1/4$ do campo gerado pela outra esfera
- e)** ambas as esferas é igual a zero

Exercício 7 – O campo elétrico criado por uma carga pontual, no vácuo, tem intensidade igual a 9.10^{-1} N/C. Calcule a que distância d se refere o valor desse campo.

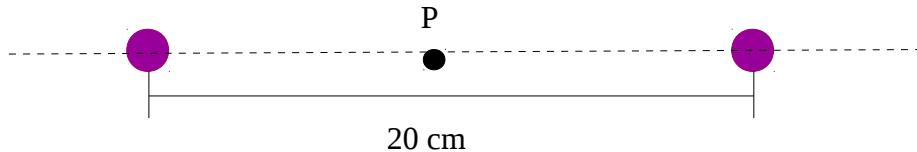
Dados: $Q = -4$ pC e $k_0 = 9.109$ unidades SI.

- a)** 0,02 m
- b)** 0,2 m
- c)** 0,4 m
- d)** 0,6 m
- e)** 0,002 m

Exercício 8 – Uma carga elétrica puntiforme com $4\mu\text{C}$, que é colocada em um ponto P do vácuo, fica sujeita a uma força elétrica de intensidade 1,2 N. O campo elétrico nesse ponto tem intensidade de:

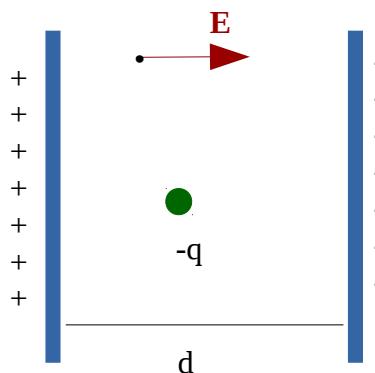
- a)** 3.10^5 N/C
- b)** $2,4 \cdot 10^5$ N/C
- c)** $1,2 \cdot 10^{-6}$ N/C
- d)** $4,0 \cdot 10^{-6}$ N/C
- e)** $4,8 \cdot 10^5$ N/C

Exercício 9 – Duas cargas pontuais, $Q_1 = 8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ e $Q_2 = -8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, encontram-se no ar, separadas por uma distância de 20 cm (ver figura abaixo):



- Desenhe o vetor campo elétrico \mathbf{E}_1 , criado pela carga Q_1 no ponto P.
- Qual é a intensidade desse campo \mathbf{E}_1 ?
- Desenhe agora o vetor campo elétrico \mathbf{E}_2 , criado pela carga Q_2 no ponto P.
- Qual é a intensidade desse campo \mathbf{E}_2 ?
- Determine, por fim, o campo elétrico resultante criado por Q_1 e Q_2 em P

Exercício 10 – O campo elétrico entre as placas, mostradas no esquema abaixo, vale $E = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ e a distância entre elas é de $d = 7 \text{ mm}$. Suponha que um elétron seja liberado, a partir do repouso, nas proximidades da placa negativa.



- Quais são o módulo, a direção e o sentido da força elétrica que atua no elétron?
- Qual o valor da aceleração adquirida pelo elétron?

Gabarito:

1- b 6- b
2- b 7- b
3- d 8- a
4- e 9- a) para direita b) $7,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ c) para direita d) $7,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ d) $1,44 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
5- c 10 – a) horizontal, para esquerda, $F = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$ b) $a = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$

Referências Bibliográficas

BEN, Felipe; GRABIN, Eduardo. *Eletrostática: carga elétrica e Lei de Coulomb* In: BEN, Felipe; GRABIN, Eduardo. **Física - Me Salva**, v. 2, p. 1-41, 2020. Disponível em: <https://www.mesalva.com/enem/apostilas>. Acesso em: 20 jul. 2020.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. São Paulo, Editora Artmed S.A., 2002, 9 ed.

ALVARENGA, Beatriz. MÁXIMO, Antonio. **Física, Volume 3**. São Paulo, Editora Scipione, 2014, 1 ed.

GUIMARÃES, Osvaldo. PIQUEIRA, José. CARRON, Wilson. **Física 3**. São Paulo, Editora Ática, 2014, 1 ed.