Aula 00 - Profa. Mariana Moronari

TRANSPETRO (Profissional Nível Superior - Ênfase 22: Engenharia Elétrica) Conhecimentos Específicos (Parte de Engenharia Elétrica)

Autor:

Edimar Natali Monteiro, Mariana Moronari, Thais Martins

21 de Abril de 2024

Sumário

APRESENTAÇÃO PESSOAL

Olá querido(a) aluno(a),

Seja bem-vindo(a) ao nosso curso de conhecimentos específicos!

Primeiramente, ressalto que é uma satisfação ter a oportunidade de contribuir para sua aprovação. Meu nome é **Mariana Moronari** e serei responsável por este curso.

Com o propósito de **otimizar os seus estudos**, você poderá realizar um estudo mais objetivo e um processo de revisão mais rápido com este livro digital simplificado.

Deixarei meu contato para quaisquer dúvidas ou sugestões.

E-mail: *moronari.mariana@gmail.com*;

Instragram: *@profa.moronari.mariana*

Um grande abraço e bons estudos,

Profa. Mariana Moronari

"Uma mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original."

Albert Einstein

1. Lei de Coulomb

A teoria eletromagnética e a teoria de circuitos elétricos são duas teorias fundamentais em que se apoiam os ramos da engenharia elétrica.

Iniciaremos o nosso estudo com os fundamentos de eletricidade, pois os princípios e leis do eletromagnetismo governam os sistemas elétricos. Como engenheiros elétricos, precisamos entender esses princípios a fim de projetar e analisar os sistemas. Os fundamentos do magnetismo serão abordados em outra aula, quando tratarmos da parte inicial da matéria de máquinas elétricas.

Esse capítulo, essencialmente, se concentrará no estudo da eletrostática e eletrodinâmica (estudo das cargas em repouso e em movimento). Depois de introduzir o conceito de força e carga elétrica, apresentaremos a Lei de Coulomb, que, basicamente, descreve a força elétrica exercida por uma carga em outra.

1.1. Força e carga elétrica

As **cargas elétricas elementares** são constituídas, no nível atômico, pelos e**létrons** e pelos **prótons** que formam os átomos. Os elétrons os prótons contêm cargas de sinais opostos e mesmo módulo, sendo a carga do elétron negativa e do próton positiva. O nêutron, como o próprio nome sugere, não possui carga elétrica.

Toda matéria é uma mistura de prótons positivos e elétrons negativos, que estão se atraindo e repelindo por esta força extraordinária (Força elétrica). Entretanto, o balanço de forças é tão perfeito, que, quando você está próximo de uma outra pessoa, não é capaz de sentir força alguma. As cargas existem em dois tipos, positivas e negativas justamente porque seus efeitos tendem a se cancelar.

ESCLARECENDO!

Se você tiver $+q$ e $-q$ no mesmo ponto, eletricamente será como se ali não houvesse carga nenhuma. Outro ponto importante é que **a carga é conservada**, não podendo ser criada ou destruída. Essa é a chamada **conservação global** de carga!

A **eletrodinâmica** é um ramo da eletricidade responsável pelo estudo do comportamento das cargas elétricas **em movimento**. E a **eletrostática** se destina ao estudo das cargas elétricas quando elas estão **em repouso**. Nós iniciaremos nosso estudo sobre eletricidade com a eletroestática!

1.2. Lei de Coulomb

A eletrostática é caracterizada pelos campos eletrostáticos.

Um **campo eletrostático** é gerado por uma distribuição de cargas estáticas. Ou seja, eles são **invariáveis no tempo**.

A lei de Coulomb e a lei de Gauss são as duas leis fundamentais que governam a eletrostática. A lei de Coulomb é uma lei mais geral que pode ser aplicada a qualquer configuração de cargas e a lei de Gauss é utilizada quando a distribuição de cargas é simétrica.

A lei de Coulomb descreve a interação eletrostática entre partículas carregadas. Ela pode ser resumida em três afirmações:

- Existem duas, e somente duas, espécies de cargas elétricas: a **positiva** e **negativa**.
- A força de interação entre duas cargas pontuais atua ao longo da linha que as une e é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.
- Essa força também é proporcional ao produto das cargas, ou seja, é **repulsiva para cargas de mesmo sinal** e **atrativa para cargas de sinais opostos**.

A lei de Coulomb pode ser formulada matematicamente da seguinte forma:

$$F = \frac{K|q_1||q_2|}{r^2}$$

onde $|q_1|$ e $|q_2|$ são os módulos das cargas, r é distâncias entre as cargas e K é uma constante de proporcionalidade. Essa equação é uma expressão escalar, ou seja, fornece informação sobre o módulo da força.

Nas descrições de problemas, o sentido e a direção devem ser atribuídos. Se as cargas possuem sinais contrários, as observações de coulomb estabelecem que a força é atrativa, assim, o sentido da força que atua em $\mathbf{q_1}$ é de $\mathbf{q_1}$ para $\mathbf{q_2}$, enquanto a força que atua em $\mathbf{q_2}$ é de $\mathbf{q_2}$ para $\mathbf{q_1}$ e a direção é a linha que passa pelas duas cargas (Figura 1).

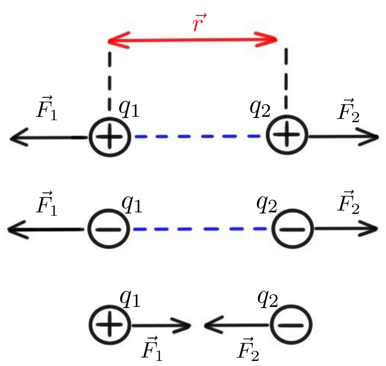


Figura 1- Representação da linha de ação da força eletrostática entre partículas.

Ao utilizar a lei de Coulomb, deve-se considerar que cargas opostas se atraem e cargas de mesmo sinal se repelem! Considerando $\overrightarrow{F_1}$ a força que age sobre a carga q_1 (em virtude da presença da carga q_2) e $\vec{r}_{1,2}$ é o vetor que parte de q_2 a q_1 cujo módulo é $r_{1,2}$, temos:

$$\vec{F}_1 = \frac{Kq_1q_2}{r_{1,2}^2}\frac{\vec{r}_{1,2}}{r_{1,2}} = \frac{Kq_1q_2}{r_{1,2}^2}\hat{r}$$

onde $\hat{r} = \vec{r}_{1,2}/|r|_{1,2}$ é o vetor unitário na direção de $\vec{r}_{1,2} = \overrightarrow{r_1} - \overrightarrow{r_2}$.

É importante observar nessa equação que q_1 e q_2 são quantidades positivas e negativas das cargas, que devem ser atribuídas cada uma com seu sinal na equação vetorial. O resultado fornecido (Fig. 2) é o vetor força eletrostática, que apresenta informações sobre módulo, direção e sentido da interação.

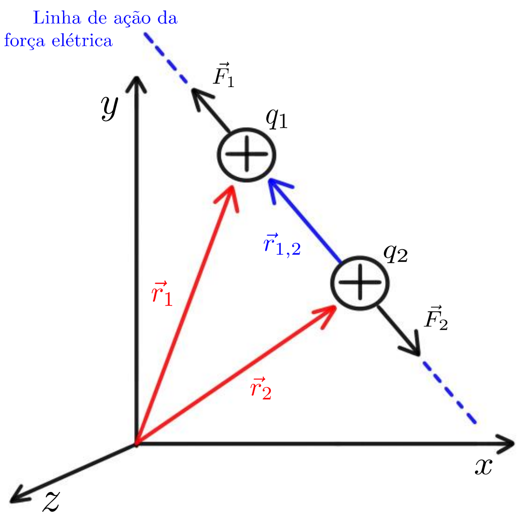


Figura 2- Aplicação vetorial da Lei de Coulomb

A constante de proporcionalidade é chamada de constante eletrostática e o seu valor é dado por:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{Nm^2}{C^2}$$

onde $\epsilon_0 = 8{,}854 \ \times 10^{-12} \ C^2/Nm^2$, que é conhecida como permissividade elétrica no vácuo. Podemos reescrever a equação da seguinte maneira:

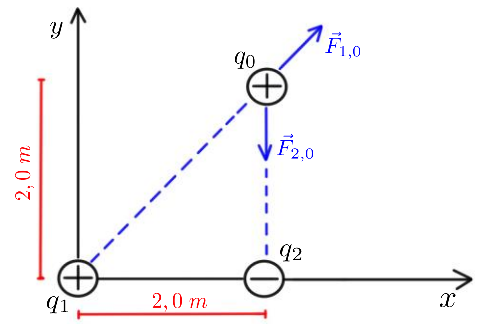
$$\vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{1,2}^2}\hat{r}$$

FIQUE ATENTO!

Temos um **dipolo elétrico** quando duas cargas pontuais de **igual magnitude e sinais opostos** estão separadas por uma pequena distância.

HORA DE PRATICAR!

(Equipe – Estratégia - 2019) Considere portadores de cargas localizados fixamente. A carga $\mathbf{q_1} = +25\ \mathbf{nC}$ está sobre a origem do plano cartesiano, a carga $\mathbf{q_2} = -15\ \mathbf{nC}$ está sobre o eixo $\boldsymbol{x}$ em $\boldsymbol{x} = 2{,}0\ \mathbf{m}$ e a carga $\mathbf{q_0} = +20\ \mathbf{nC}$ está no ponto $\boldsymbol{x} = 2{,}0\mathbf{m}$ e $\boldsymbol{y} = 2{,}0\mathbf{m}$ como mostra (figura). Determine a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica resultante sobre a carga $\mathbf{q_0}$.



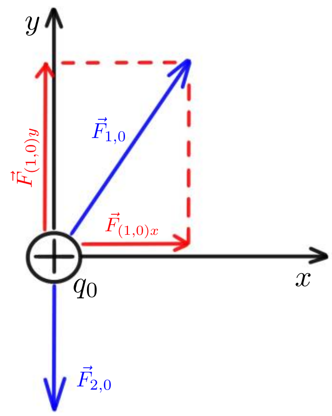
Resolução e comentários:

A questão solicita que você determine a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica resultante sobre a carga q_0. O procedimento para resolver esta questão consiste em inicialmente determinar o módulo das forças elétricas $|\vec{F}_{1,0}|$ e $|\vec{F}_{2,0}|$. Essas forças agem sobre a carga q_0.

$$
\begin{aligned}
|\vec{F}_{1,0}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1 q_0|}{r_{1,0}^2} &= \frac{(8,99\times 10^9\ N.m^2/C^2)(25\times 10^{-9}\ C)(20\times 10^{-9}\ C)}{(2\sqrt{2}\ m)^2} = \\
&= 5,62\times 10^{-7}\ N
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
|\vec{F}_{2,0}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_2 q_0|}{r_{2,0}^2} &= \frac{(8,99\times 10^9\ N.m^2/C^2)(15\times 10^{-9}\ C)(20\times 10^{-9}\ C)}{(2,0\ m)^2} = \\
&= 6,74\times 10^{-7}\ N
\end{aligned}
$$

O próximo passo é analisar o diagrama de corpo livre sobre a carga q_0, com o objetivo de identificar e determinar as componentes vetoriais das forças aplicadas sobre ela.



Como o vetor $\vec{F}_{1,0}$ faz um ângulo de $\theta = 45°$ em relação ao semieixo positivo dos x's, temos:

$$F_{(1,0)x} = F_{(1,0)y} = |\vec{F}_{1,0}| \cos 45° = |\vec{F}_{1,0}| \sin 45° = 3,97 \times 10^{-7}\ N$$

Dessa forma a força resultante sobre q_0 é dada por:

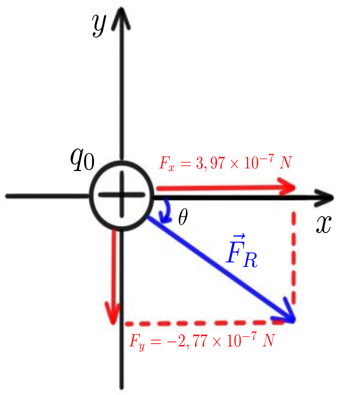
$$\begin{aligned}
\vec{F}_R &= \vec{F}_{1,0} + \vec{F}_{2,0} \\
&= (F_{(1,0)x} + F_{(2,0)x})\ \hat{i} + (F_{(1,0)y} + F_{(2,0)y})\ \hat{j} = \\
&= (3,97 \times 10^{-7}\ N)\ \hat{i} + (3,97 \times 10^{-7}\ N\ - 6,74 \times 10^{-7}\ N)\ \hat{j} = \\
&= (3,97 \times 10^{-7}\ N)\ \hat{i}\ + (-2,77 \times 10^{-7}\ N)\ \hat{j}
\end{aligned}$$

A intensidade da força resultante é dada por:

$$\begin{aligned}
|\vec{F}_R| &= \sqrt{(3,97 \times 10^{-7})^2 + (-2,77 \times 10^{-7})^2} = \\
&= 4,84 \times 10^{-7}\ N
\end{aligned}$$

Considerando a direção θ de $\overrightarrow{F_R}$ em relação ao semieixo positivo dos x's no sentido horário (ângulo negativo), temos:

$$\begin{aligned}
\tan\theta &= \frac{F_y}{F_x} = \frac{-2,77}{3,97} = -0,698 \\
\theta &= \tan^1(-0,698) = -34,9°
\end{aligned}$$



2. CAMPO ELÉTRICO

O campo elétrico é uma entidade abstrata criada por distribuições de cargas e existe em todos pontos do espaço. Para cargas pontuais afastadas umas das outras, as linhas de campo elétrico são caracterizadas por serem radiais (Fig. 3).

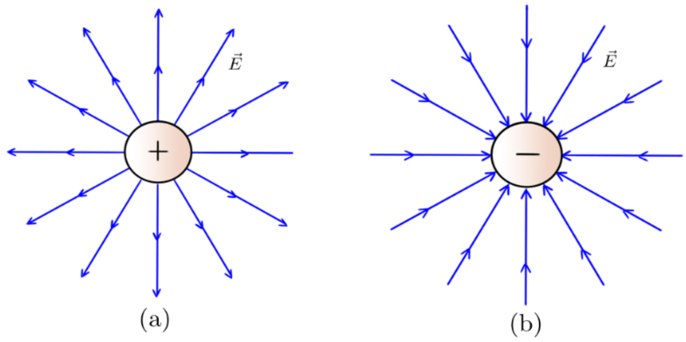


Figura 3-Campo elétrico de uma carga pontual.

2.1. Intensidade de campo elétrico

Para verificarmos se existe campo elétrico em um dado local do espaço, coloca-se no referido local um corpo carregado, chamado de carga teste ou carga de prova (q_0).

A **carga teste** é uma carga elétrica de valor bastante pequeno (desprezível), ou seja, a perturbação causada por ela também será desprezível.

Quando carga teste sofre a ação de uma força elétrica, concluímos que existe um campo elétrico nessa região. O campo elétrico nessa região é produzido por outra carga e não pela carga teste.

O vetor **intensidade de campo elétrico E** é dado pela **força por unidade de carga** imersa nesse campo elétrico.

Assim, podemos definir o campo elétrico operacionalmente por:

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\vec{F}_O}{q_0}$$

onde q_0 é carga teste e $\overrightarrow{F_0}$ é a força elétrica gerada pela carga fonte. A unidade da intensidade de campo elétrico no sistema internacional de unidades, é $\mathrm{N/C}$. Aqui precisamos fazer algumas considerações:

- A equação acima fornece a intensidade do Campo Elétrico e não o campo elétrico em si. No entanto, essa denominação não é utilizada na prática, de modo que a grandeza acima é geralmente chamada simplesmente de campo elétrico;
- O limite aplicado acima é apenas formal, pois a carga é quantizada e não pode assumir valores menores em módulo do que a carga do elétron;
- Apesar da definição operacional ser dada em função da carga de teste, o campo elétrico é uma propriedade da carga fonte;
- Em medidas experimentais, a carga de prova deve ter o menor valor possível, para que o campo gerado por ela não perturbe significativamente a distribuição de carga fonte cujo campo se quer mensurar;
- O vetor intensidade de campo elétrico está na mesma direção que a força elétrica.

Dessa forma, podemos considerar simplesmente que o vetor intensidade de campo elétrico é dado por:

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

As linhas de campo **saem da carga positiva** e **entram na carga negativa**.

Como o campo elétrico é radial, as linhas são retas partindo da origem em todas as direções, orientadas para fora no caso em que Q é positiva e para dentro no caso em que Q é negativa.

2.2. Campo elétrico de uma carga puntiforme

Se colocarmos uma carga teste q_0 em um ponto B a uma distância r da carga fonte, o módulo da força elétrica é dado pela Lei de Coulomb:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qq_0}{r^2}$$

Dessa forma, o módulo do campo elétrico E no ponto B é dado por:

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

Observe que o campo elétrico no ponto B depende da distribuição da carga fonte Q. Utilizando o vetor unitário, podemos escrever uma expressão vetorial para o campo elétrico que fornece seu módulo, direção e sentido.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r}$$

O sentido do vetor campo elétrico de uma carga fonte carregada positivamente e negativamente é ilustrado pela Figura (4).

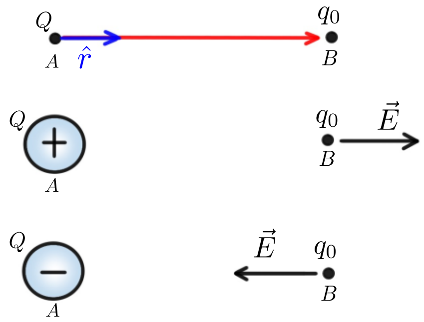


Figura 4- Comportamento do vetor campo elétrico de uma carga fonte positiva e negativa.

Quando o campo elétrico $\vec{E}$ é conhecido em um dado ponto do espaço, a força elétrica $\vec{F}$ que atua sobre uma carga teste q_0 é simplesmente $\vec{F_0} = q_0\,\vec{E}$. O sentido dessa força dependerá da relação de atração ou repulsão entre a carga fonte e a carga teste. Considerando que a carga fonte está carregada positivamente (*Q+*):

- Quando q_0 também for **positiva**, $\vec{F_0}$ que age sobre a carga terá o **mesmo sentido** de $\vec{E}$, pois haverá uma força de repulsão entre as cargas.
- Quando q_0 **for negativa**, $\vec{F_0}$ e $\vec{E}$ terão **sentidos contrários**, pois o sentido do campo elétrico permanecerá "saindo" da carga fonte e, agora, a força entre as cargas será de atração!

O comportamento da força e do campo elétrico gerado por uma carga fonte carregada positivamente sobre uma carga teste pode der visualizado na Figura (5).

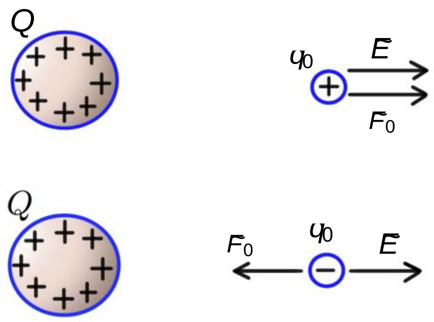


Figura 5-comportamento da força e do campo elétrico sobre uma carga teste.

Observe que o mesmo raciocínio pode ser utilizado quando a carga teste está carregada negativamente. Dessa forma, podemos concluir que o sentido da força elétrica e do campo elétrico será determinado pela **carga teste!**

ESCLARECENDO!

Se a carga teste for **positiva**, o campo elétrico e a força elétrica terão **o mesmo sentido**! Se a carga teste for **negativa**, o campo elétrico e a força elétrica terão **sentidos contrários**!

2.3. Densidade de fluxo elétrico

A densidade de fluxo elétrico **D** está relacionada com a intensidade do campo elétrico **E** por meio da seguinte relação:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

A constante ϵ_0 é denominada como a constante de permissividade do espaço livre. Ela é dada em Farads/metro (F/m) e equivale a:

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$$

A densidade de fluxo elétrico também pode ser relacionada com o fluxo elétrico. Por definição, **o fluxo do campo elétrico E** através de uma superfície orientada ***dS*** é calculado como a integral do produto escalar entre estes dois vetores. Dessa forma, temos que

$$\psi = \int_S \vec{D} \cdot \overrightarrow{dS}$$

Onde o fluxo elétrico ψ é dado em C e a densidade de fluxo em C/m^2.

FIQUE ATENTO!

Perceba que, se a densidade de fluxo elétrico $\vec{D}$ estiver normal à superfície $\overrightarrow{dS}$**,** eles serão paralelos. Dessa forma, o produto escalar entre os dois vetores poderá ser retirado da equação, dado que o cos 0° será igual a um!

2.4. Lei de Gauss

Até agora foi analisado a situação em que existia apenas uma única carga pontual dentro da superfície. No entanto, se tivermos várias cargas pontuais, deveremos considerar a carga líquida total Q_{total} dentro da superfície.

Esse resultado nos leva à lei de Gauss. Essa importante lei estabelece que:

O **fluxo total** ψ através de qualquer superfície fechada é igual à **carga total envolvida** por essa superfície.

Dessa forma, temos que:

$$\psi = \oint_S \vec{D} \cdot \vec{dS} = Q_{total}$$

Esta é a primeira Lei de Maxwell da Eletrostática escrita na forma integral! Aplicando o teorema da divergência à lei de Gauss para campos elétricos, obtermos a primeira equação de Maxwell no formato diferencial e integral.

$$\oint_S \vec{D} \cdot \vec{dS} = \int_V \nabla \cdot \vec{D}\, dv$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_V$$

A lei de Gauss é de extrema importância, pois representa uma maneira mais fácil de se determinar o vetor intensidade de campo elétrico $\vec{E}$ para distribuições simétricas de carga, tais como:

- uma carga pontual;
- uma linha infinita de cargas;
- uma superfície cilíndrica infinita de cargas;
- uma distribuição esférica de cargas.

Convém salientar que se a distribuição não for simétrica, a lei de Gauss permanece válida da mesma forma! Portanto, a **lei de Gauss** é um caso especial da **lei de Coulomb**!

Para aplicar a lei de Gauss, devemos verificar a existência de simetria. Uma vez identificada a distribuição simétrica de cargas, podemos construir a nossa superfície gaussiana de modo que o vetor intensidade de campo elétrico $\vec{E}$ seja normal à superfície e, assim, poderemos retirar o produto escalar da integral.

3. DIFERENÇA DE POTENCIAL

Quando uma partícula carregada se desloca em um campo elétrico, o campo exerce uma força que realiza um trabalho sobre a partícula. Esse trabalho realizado pode ser expresso em termos de energia potencial elétrica, que depende da posição da partícula carregada no campo elétrico.

3.1. Energia potencial elétrica

Considere um deslocamento radial (como apresentado na Figura.6) para calcular o trabalho realizado sobre uma carga de teste q_0 que se move (de um ponto a até um ponto b) no campo elétrico produzido por uma única carga puntiforme estática q (carga fonte).

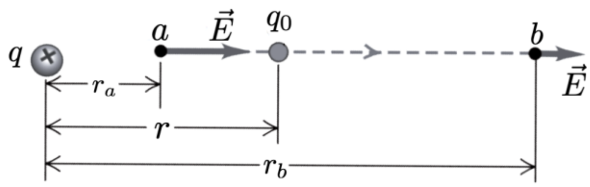


Figura 6-Carga teste q0 movendo-se na presença de campo elétrico. Fonte: YOUNG, HUGH.

A força sobre q_0 é dada pela Lei de Coulomb e é variável ao longo do percurso.

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}$$

A força elétrica não é constante durante o deslocamento, ou seja, é preciso quantificar o trabalho utilizando a forma integral. Assim,

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} \vec{F}\cdot d\vec{r} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\, dr$$

$$W_{a\to b} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

Sendo assim, é possível definir uma energia potencial elétrica associada a ela. A energia potencial elétrica está relacionada ao trabalho realizado ao deslocar a carga elétrica. O trabalho realizado pela força elétrica no deslocamento da carga é feito à custa de uma variação contrária na energia potencial elétrica interna U do sistema isolado formado pelas duas cargas. Logo,

$$\Delta U = -W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$$

Note que, se as duas cargas têm o mesmo sinal, quando elas se afastam uma das outras, a energia potencial elétrica diminui, pois $r_b > r_a$. Quando elas se aproximam, a energia aumenta. Já quando as cargas têm sinais contrários, a energia potencial aumenta quando elas se afastam e diminui quando elas se aproximam. Além disso, como todo tipo de energia, a energia potencial elétrica é medida em joules (J) no SI.

Em geral, essa referência é considerada em $r_a \to \infty$. Dessa forma, a energia potencial elétrica de um sistema de duas cargas separadas por uma distância $\vec{r}$ equivale a

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r}$$

3.2. Potencial elétrico

O potencial elétrico pode ser definido como a energia potencial por unidade de carga.

Logo,

$$V = \frac{U}{q_0}$$

A energia potencial e a carga são grandezas escalares, de modo que o potencial elétrico é uma grandeza escalar. A unidade do potencial elétrico é o (J/C), que recebeu o nome de Volt (V) .

Considerando o mesmo caso da seção anterior sob a perspectiva do potencial elétrico, a variação de energia potencial elétrica é dada por:

$$\Delta U = -W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$$

Portanto, a diferença de potencial elétrico entre os pontos a e b equivale a:

$$V_{ab} = \frac{\Delta U}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$$

Generalizando,

$$V_{ab} = V_b - V_a$$

Onde V_be $V_a$são potenciais absolutos nos pontos B e A, respectivamente. Assim

A **diferença de potencial** pode ser considerada como o potencial de B com relação a A. Em circuitos, a diferença de potencial entre dois pontos é, geralmente, chamada de **voltagem**.

Considerando da mesma forma um ponto no infinito como referência, o potencial elétrico em qualquer ponto devido a uma carga pontual q (localizada na origem) é dado por:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Em que r é a distância entre a carga q e o ponto em que o potencial está sendo calculado. Quando q é positiva, o potencial por ela produzido é positivo em todos os pontos do espaço; quando é negativa, o potencial é negativo em qualquer ponto. Em ambos os casos, V é igual a zero para $r \to \infty$, ou seja, quando a distância entre a carga o ponto do espaço analisado é muito grande.

Em alguns problemas para os quais o campo elétrico seja fornecido ou facilmente obtido, é mais fácil calcular V a partir de $\vec{E}$:

$$W_{a\to b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_a^b q_0\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Dividindo por q_0, encontramos

$$\boxed{V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r}}$$

Essa equação pode ser utilizada para calcular a diferença de potencial entre dois pontos quaisquer por meio do campo elétrico!

3.3. Capacitores e capacitância

Quando estudamos sobre campo e potencial elétrico, não podemos deixar de comentar sobre os capacitores!

Um **capacitor** é um dispositivo que **armazena energia** potencial elétrica e carga elétrica.

A Figura (7) representa um capacitor constituído por um par de condutores a e b. Inicialmente, cada condutor possui carga líquida igual a zero e há transferência de elétrons de um condutor para o outro; dizemos, nesse caso, que o capacitor está carregando.

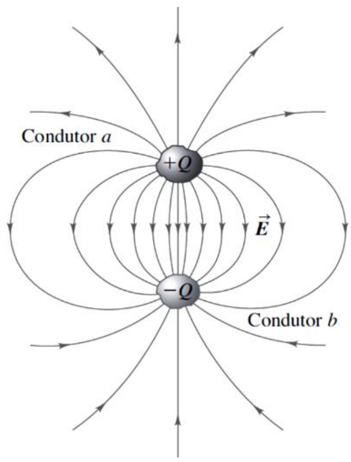


Figura 7-Capacitor constituído por qualquer par de condutores a e b. Fonte: GRIFFTIHS, DAVID.

O campo elétrico em qualquer ponto na região entre condutores é proporcional ao módulo Q da carga em cada condutor. Conforme foi mencionado anteriormente, a diferença de potencial entre dois pontos por meio do campo elétrico dada por:

$$V_b - V_a = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Podemos verificar, com a relação acima, que a diferença de potencial é proporcional ao campo elétrico. Consequentemente, a diferença de potencial também será proporcional à carga Q. Essa relação pode ser representada matematicamente por meio da capacitância, da seguinte forma:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

Essa equação é utilizada para calcular a capacitância (C) característica do sistema formado pelos condutores. Note que tal expressão é uma definição operacional e que, na verdade, a capacitância é uma propriedade associada à geometria do arranjo formado pelos condutores e ao meio que existe entre eles. Logo,

A **capacitância** é uma **propriedade física** do capacitor!

Desta equação, pode-se obter a unidade da capacitância, que, no SI, é dada por C/V. Essa unidade recebe o nome especial de Farads, e ela é simbolizada por F.

A **função do capacitor** é justamente **armazenar cargas**, que podem ser usadas posteriormente para alguma finalidade, tal como em unidade de flash das máquinas fotográficas, em um laser pulsante, nos sensores de *air bags* automotivas, receptores de rádio e televisão.

Encontraremos muitas aplicações oportunamente, no qual veremos o papel crucial desempenhado pelos capacitores nos circuitos de corrente alternada.

3.4. Capacitores de placas paralelas

3.4.1. Capacitância de um capacitor de placas paralelas

Considere duas placas paralelas grandes (Figura 8), as quais possuem cargas com módulos iguais com sinais contrários ($+\sigma$ e $-\sigma$, onde sigma representa a densidade superficial de cargas).

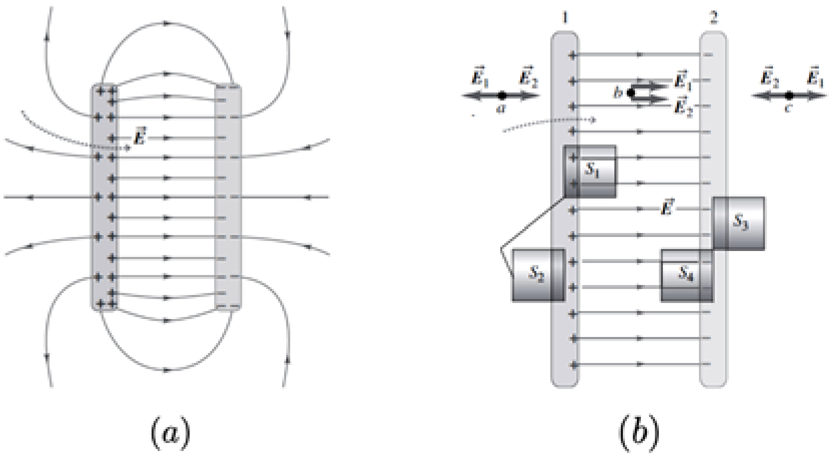


Figura 8-Capacitor de placas paralelas (a) Campo elétrico (b) Campo elétrico resultante no ponto b entre as placas. Fonte: Adaptado de YOUNG, HUGH.

Quando as placas são muito grandes em comparação à distância entre elas, as cargas nas superfícies externas das placas são muito pequenas. Assim, desprezamos os efeitos de encurvamento, exceto sobre as bordas. Nesse caso, podemos supor que o campo elétrico é uniforme na região entre as placas.

Esse capacitor é um dos mais simples e é construído por duas placas condutores paralelas, cada uma delas com área A, separadas por uma distância d pequena em comparação às suas dimensões.

Verificamos que o campo elétrico entre as placas paralelas do capacitor é dado por:

$$|\vec{E}_R| = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

O campo é uniforme e a distância entre as placas é d, logo a diferença de potencial entre as duas placas pode ser determinada da seguinte forma:

$$V_{ab} = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} = |\vec{E}|d$$

$$V_{ab} = \frac{1}{\epsilon_0}\frac{Qd}{A}$$

Utilizando a definição de capacitância, temos que a capacitância para o capacitor de placas paralelas é dada por:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

$$\boxed{C = \epsilon_0 \frac{A}{d}}$$

3.4.2. Dielétrico entre as placas do capacitor

Quase todos os capacitores possuem entre suas placas condutoras um material isolante (ou dielétrico). Colocar um dielétrico sólido entre as placas de um capacitor possui três objetivos que são:

- resolver o problema mecânico de manter duas grandes placas metálicas separadas por uma pequena distância, sem que entrem em contato;
- aumentar a diferença de potencial máxima entre as placas, quando submetido a um campo elétrico suficientemente elevado;
- aumentar a capacitância mantendo as dimensões do capacitor.

Sabemos que qualquer material isolante, quando submetido a um campo elétrico intenso, sofre uma ruptura dielétrica (uma ionização parcial que permite a condução através dele). Muitos materiais dielétricos conseguem suportar campos elétricos mais elevados do que o do ar, sem que ocorra ruptura do isolamento. Portanto, o uso de um dielétrico permite a sustentação de uma diferença de potencial mais elevada V, podendo assim o capacitor acumular maior quantidade de carga e energia.

Quando um dielétrico é inserido entre as placas de um capacitor, a capacitância é maior do que a capacitância do mesmo capacitor quando há vácuo entre as placas. Experimentalmente quando inserimos entre a placas um dielétrico descarregado (vidro, parafina ou poliestireno), o potencial diminui para um valor V. Como o potencial é inversamente proporcional à capacitância, ela irá aumentar quando o dielétrico for inserido.

No caso em que há vácuo entre as placas, consideramos a constante ϵ_0 (constante de permissividade elétrica do vácuo). No entanto, devemos também considerar a **permissividade elétrica** do material quando utilizamos um **dielétrico!** Ela pode ser calculada pela seguinte relação:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Assim, a capacitância C de um capacitor de placas paralelas preenchido com um dielétrico de constante dielétrica ϵ_r será dada por

$$C = \epsilon_r C_0 = \epsilon \frac{A}{d}$$

Onde C_0 é a capacitância do capacitor desconsiderando a inserção do dielétrico entre as placas. Logo, quando consideramos o material dielétrico entre as placas, devemos considerar a permissividade do material dielétrico e não a permissividade do espaço livre!

(Perito Criminal ITEP- Instituto AOCP – 2018) Um capacitor de placas paralelas com dielétrico de poliestireno possui intensidade de campo elétrico de $10\ kV/m$, sendo que a distância entre as placas é de $1,5\ mm$. Assinale a alternativa que apresenta o valor da densidade superficial de cargas livres nas placas do capacitor em questão. Considerar $\epsilon_r = 2,55$ para o poliestireno.

(A) $113{,}2\ nC/m^2$

(B) $225{,}4\ nC/m^2$

(C) $2{,}5\ nC/m^2$

(D) $1000\ nC/m^2$

(E) $254\ nC/m^2$

Resolução e comentários:

A questão solicita que você determine o valor da densidade superficial de cargas nas placas do capacitor.

Podemos solucionar essa questão de várias maneiras. Você pode utilizar as equações desenvolvidas referente aos capacitores com dielétricos ou utilizar o conceito de campo elétricos entre as lâminas do capacitor com ou sem dielétrico.

Sabemos que o campo entre as placas de um capacitor com placas paralelas é dado por $E_0 = \sigma/\epsilon_0$, quando entre as placas há vácuo. De forma análoga, par um capacitor de placas paralelas com dielétrico, o campo é dado por $E = \sigma/\epsilon$.

Sabemos também que ao alterar o meio entre as placas, não se modifica a geometria dos capacitores, permitindo que a densidade superficial de carga das placas se mantenha. Como o problema forneceu a permissividade relativa $\epsilon_r = 2{,}55$, temos

$$\begin{aligned}
\epsilon_r &= \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = 2,55 \\
\epsilon &= \epsilon_r\epsilon_0 = (8,85.10^{-12}) \times (2,55) \\
\epsilon &= 225,67.10^{-13} C^2/N.m^2
\end{aligned}$$

Como o campo elétrico é dado por $E = \sigma/\epsilon$,

$$\begin{aligned}
\sigma &= E\epsilon = (225,67.10^{-13}) \times (10^4) \\
\sigma &= 225,7\ nC/m^2
\end{aligned}$$

Portanto,

A **alternativa (B)** é o gabarito da questão.

4. MATERIAIS ELÉTRICOS

Nos capítulos anteriores, consideramos campos eletrostáticos no espaço livre (vácuo). No entanto, eles também podem existir em meios materiais que são classificados conforme suas propriedades elétricas. De forma geral, eles podem ser classificados em dois grandes grupos como materiais condutores e isolantes (ou dielétricos).

4.1. Materiais condutores

Os materiais podem ser classificados de acordo com sua condutividade. Dessa forma, a condutividade elétrica é usada para caracterizar o comportamento elétrico de um determinado material.

> A **condutividade elétrica** de um material representa a capacidade que um material tem de conduzir corrente elétrica. Ela **depende da temperatura e da frequência**.

Os metais são bons condutores de eletricidade, no entanto alguns apresentam uma condutividade intermediária ou muito baixa. Uma importante propriedade dos condutores é:

> Um **condutor perfeito** não pode conter um **campo elétrico** em seu interior. Ele também é caracterizado por ser um corpo equipotencial. Ou seja, em qualquer ponto, o potencial é o mesmo.

Você deve lembrar que o número de elétrons disponíveis em um material depende do arranjo com o qual os elétrons estão dispostos na camada de valência. Assim, praticamente a maior parte dos condutores de eletricidade são metais e isso ocorre justamente devido a sua estrutura atômica (na qual os átomos da camada de valência estão livres).

Em materiais condutores, os elétrons da última camada (camada de valência) possuem ligações muito fracas, podendo-se movimentar-se livremente. Logo, são capazes de conduzir corrente elétrica.

> A **condutividade elétrica** depende fortemente do número de **elétrons disponíveis** para participar do processo de condução.

Em outros materiais, a camada de valência pode estar quase completa (quase completando 8 elétrons pela regra do octeto). Nesta situação, a força de ligação dos elétrons com o núcleo é grande, ou seja, os elétrons não estão livres como nos materiais condutores. Esses materiais são denominados isolantes ou dielétricos e serão estudados na próxima subseção.

De forma geral, podemos concluir que os materiais que apresentam elétrons livres são bons condutores elétricos, dando um destaque para os materiais metálicos! Existem materiais não metais que são bons condutores! Por exemplo: grafite e água salgada.

Quando os elétrons são arrastados devido a ação do campo elétrico, eles acabam se chocando com as moléculas do material condutor perdendo energia sob forma de calor! Portanto, além de boa condutividade elétrica, os metais possuem também boa condutividade térmica, o que justifica o aquecimento de diversos aparelhos elétricos.

Agora vou resumir as principais características e aplicações de alguns metais que são utilizados na engenharia elétrica!

Elementos	Características	Aplicações
Cobre	Destaque entre os materiais condutores. Baixa resistividade, características mecânicas favoráveis, baixa oxidação, fácil deformação.	Fios telefônicos, enrolamentos, barramentos.
Alumínio	Baixo custo, fragilidade mecânica, rápida oxidação, leve, segundo material mais usado depois do cobre.	Instalações elétricas em aviões, cabos isolados, capacitores
Chumbo	Resistência a água potável, permite soldagem.	Blindagem de cabos, elos fusíveis, materiais de solda
Prata	Alta condutividade, baixa oxidação.	Pastilhas de contato, uso industrial
Zinco	Alta dilatação térmica, maleável a certa temperatura.	Pilhas galvânicas e fios
Níquel	Propriedades ferromagnéticas, resistente a sais, gases e matéria orgânica, estabilidade mecânica.	Fios de eletrodos, anodos, grades, parafusos, alimentadores de filamentos de tungstênio
Ferro	Abundante, bom condutor de calor e eletricidade, dúctil, maleável, magnetizável, boas propriedades mecânicas.	Resistências para aquecimento elétrico, reostatos, condutores em linhas aéreas.

4.2. Materiais isolantes

Os materiais isolantes possuem resistividade muito alta, ou seja, eles se opõem o máximo possível à passagem de corrente elétrica. São chamados também de dielétricos.

Os materiais dielétricos ou isolantes são materiais caracterizados por não permitirem a livre circulação de cargas elétricas não possuem "elétrons livres" na camada de valência.

A principal diferença entre condutores e dielétricos é a disponibilidade de elétrons livres nas camadas atômicas mais externas!

Quando uma tensão elétrica atua sobre o dielétrico, ocorre o processo de polarização do material. Dessa forma, as cargas são deslocadas de forma limitada. Os materiais isolantes impedem a passagem de corrente elétrica enquanto o campo elétrico estabelecido não ultrapassar um valor específico que depende do material. Assim que o nível de tensão ultrapassa este valor, o material torna-se condutor de eletricidade.

De maneira simplória e sem aprofundar a nossa análise sobre a estrutura e polarização destes materiais, a ausência de elétrons livres é o motivo pelo qual um material é denominado isolante!

> A **constante dielétrica** de um material (ou permissividade relativa) ϵ_r é a **razão** entre a permissividade do dielétrico ϵ e a do espaço livre ϵ_0. Para o espaço livre e materiais condutores, a permeabilidade relativa ϵ_r equivale a 1.

Quando o campo elétrico no interior de um dielétrico atinge um valor elevado, os elétrons das moléculas começam a ser arrancados e, assim, o material se torna um condutor de eletricidade. Esse fenômeno é denominado ruptura dielétrica do material. Todos os tipos de dielétricos estão sujeitos à ruptura, que depende da natureza do material, temperatura e do tempo em que o campo é aplicado.

> A rigidez dielétrica é o campo elétrico máximo que o dielétrico pode ser submetido sem que ocorra a ruptura dielétrica.

As características e aplicações mais importantes segundo esta classificação estão reunidas nas tabelas abaixo.

Isolantes	Classificação	Aplicações
Ar	O mais comum isolante gasoso.	Condutores sem isolamento em redes elétricas de transmissão.
Óleo mineral	Líquido, devem ser estáveis e ter baixa viscosidade	Transformadores, cabos, capacitores e chaves a óleo.
Cerâmica	Isolante sólido, resistência a altas temperaturas, baixo preço, simples processo de fabricação.	Isoladores de redes elétricas, dispositivos de comandos, transformadores, capacitores e resistores de fornos elétricos.

Podemos também comentar sobre os **materiais semicondutores**. Eles são sólidos que possuem uma faixa intermediária de condutividade elétrica com muita aplicação na indústria eletrônica. Os semicondutores mais utilizados são o Silício e o Germânio, no entanto o Selênio também já foi muito utilizado. Esses materiais podem ser combinados para controlar a corrente elétrica, desenvolvendo então dispositivo como diodos e transistores.

HORA DE PRATICAR!

(Perito Criminal ITEP-RN- Instituto AOCP – 2017) Sobre os materiais condutores e isolantes, assinale a alternativa correta.

A) Os materiais condutores possuem elétrons livres em sua formação denominados “elétrons de condução”.

B) Os átomos de materiais isolantes são classificados por possuírem apenas 1 elétron em sua camada de valência, sendo então muito ligados ao núcleo e, portanto, mal condutores de eletricidade.

C) Os materiais condutores possuem em sua natureza atômica 8 elétrons na camada de valência, podendo assim conduzir muito bem a eletricidade.

D) Os materiais isolantes mais comuns encontrados são a borracha e o vidro, que possuem em sua estrutura atômica uma característica em comum: apenas 1 elétron em sua camada de valência.

E) Em um condutor de cobre, os prótons possuem o triplo da carga dos elétrons e, por esse motivo, os elétrons se movimentam e os prótons ficam agrupados no núcleo do átomo, pois são mais pesados.

Resolução e comentários:

A questão solicita que você julgue as alternativas acerca das características gerais materiais condutores e isolantes. Vamos analisar cada alternativa separadamente.

A) A alternativa está **correta**. Os materiais condutores são caracterizados por possuírem elétrons livres em sua camada de valência, possibilitando assim a condução de corrente elétrica.

B) A alternativa está **incorreta**. Os materiais isolantes são caracterizados por não possuírem elétrons livres em sua camada de valência.

C) A alternativa está **incorreta**. Os materiais condutores possuem elétrons livres, logo não completam 8 átomos em sua camada de valência para se tornarem estáveis.

D) A alternativa está **incorreta**. Essa não pode ser descrita como uma característica comum entre a borracha e o vidro. Lembrando sempre que elétrons livres na camada de valência é uma característica dos materiais condutores.

E) A alternativa está **incorreta**. Afirmação sem pé nem cabeça. O motivo apresentado não é a justificativa correta relacionada à movimentação dos elétrons no átomo. Além do mais, os prótons e o elétrons possuem valores iguais em módulo apesar de terem sinais opostos

Portanto,

A **alternativa (A)** é o gabarito da questão.

5. QUESTÕES COMENTADAS

1. (UFPR - Pref. Municipal de Curitiba – Eng. Eletricista – 2019) Duas esferas iguais, eletricamente carregadas com $+140\ \mathrm{mC}$ e $-154\ \mathrm{mC}$, e separadas de uma distância fixa d se atraem com uma força de intensidade $6,6\ \mathrm{mN}$ (d é suficientemente grande para que os raios das esferas possam ser desconsiderados). Em seguida, mantidas nas mesmas posições, as duas esferas são colocadas eletricamente em contato até que as cargas se redistribuam (o condutor usado é suficientemente fino para que se despreze a carga distribuída sobre ele). Depois de removido esse condutor, a força de interação entre as duas esferas passa a ser de:

Obs.: O valor de $\mathrm{k_0}$ pode ser considerado como $9\ \mathrm{x}10^9\ \mathrm{N/m^2C^{-2}}$.

(A) $15\ \mu\mathrm{N}$ (repulsão)

(B) $150\ \mu\mathrm{N}$ (atração).

(C) $150\ \mu\mathrm{N}$ (repulsão).

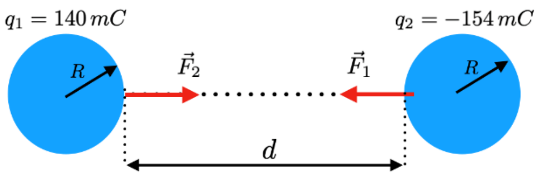
(D) $2904\ \mathrm{mN}$ (atração)

(E) $2904\ \mathrm{mN}$ (repulsão).

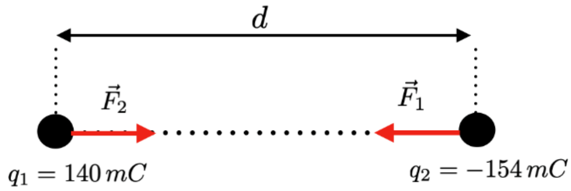
Resolução e comentários:

A questão solicita que você calcule a força de interação entre as duas esferas após a redistribuição de cargas.

O problema explora conceitos de conservação da carga elétrica e aplicação direta da Lei Coulomb. A questão afirma que duas esferas iguais e carregadas com cargas diferentes, estão separadas por uma distância d. Essa distância d deve ser considerada grande o suficiente para que os efeitos eletrostáticos das esferas sejam análogos aos de cargas puntiformes, ou seja, deve-se desconsiderar os raios das esferas.



Considerando d muito grande, temos



Para solucionar o problema, iremos dividir a solução em três análises.

1. O valor de d é determinado utilizando a Lei de Coulomb. Sabendo que a interação entre as cargas obedece a terceira Lei de Newton, ou seja, as forças têm a mesma intensidade, direção e sentidos opostos, $|\vec{F_1}| = |\vec{F_2}| = |\vec{F}|$.

$$\begin{aligned} |\vec{F}| &= k_0\frac{|q_1||q_2|}{d^2} = 6,6\ mN \\ &= \sqrt{k_0\frac{|q_1||q_2|}{|\vec{F}|}} = \sqrt{(9.10^9) \times \frac{(140.10^{-3}) \times (154.10^{-3})}{(6,6).10^{-3}}} \\ d &= 171,46.10^{-3}\ m \end{aligned}$$

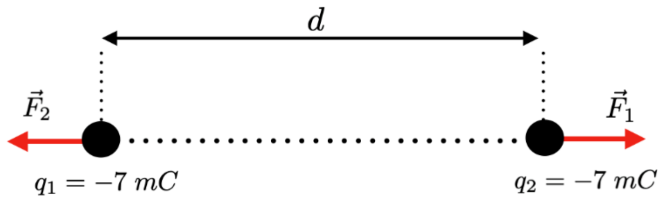
2. Quando as esferas forem conectadas, haverá um movimento em frações de segundos dos portadores de carga para atingir a nova condição de equilíbrio. No equilíbrio as duas esferas estarão no mesmo potencial V, pois qualquer diferença de potencial entre elas implicaria um campo elétrico no fio, portanto, uma corrente elétrica.

Após atingido o equilíbrio eletrostático, as cargas das duas esferas serão redistribuídas, pois temos um único condutor resultante do contato das duas esferas. Pelo princípio da conservação da carga elétrica, temos que a carga total do sistema antes do contato $(q_1 + q_2)$ deve ser igual a carga total do sistema após o contato $(q_1' + q_2')$.

Aprendemos que toda carga em excesso de um condutor em equilíbrio se distribui em sua superfície externa. Como as esferas têm as mesmas dimensões, então após a retirada do contato, as esferas dividirão a carga total, ou seja, $(q_1' + q_2') = \ (q + q)$.

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= 2q \\ q &= \frac{(q_1 + q_2)}{2} \\ &= -7.10^{-3}\ C \end{aligned}$$

3. Após a condição de equilíbrio devido o contato, as esferas restabelecem suas posições originais. Com o objetivo de quantificar a nova interação, aplicaremos novamente a Lei de Coulomb. Agora teremos uma interação repulsiva. Vamos escrever as novas interações da seguinte forma, $|\vec{F_1}| = |\vec{F_2}| = |\vec{F'}|$.



$$\begin{aligned} |\vec{F}'| &= k_0 \frac{|q_1||q_2|}{d^2} \\ &= (9.10^9) \times \frac{(7.10^{-3})^2}{(171,46.10^3)^2} \\ &= 1,5.10^{-5}\ N = 15.10^{-6}\ N = 15\ \mu C \end{aligned}$$

Portanto,

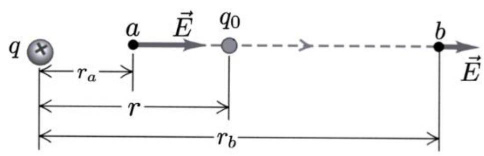
A **alternativa (A)** é o gabarito da questão.

2. (CESPE - SLU -DF– Eng. Elétrica – 2019) Julgue o item a seguir.

Em um campo eletrostático, a diferença de potencial entre dois pontos depende da trajetória entre esses pontos; assim, o campo realiza trabalho quando uma carga se movimenta em trajetória fechada dentro desse campo.

Resolução e comentários:

A força eletrostática tem uma característica muito especial, ou seja, ela é conservativa!



O trabalho realizado pela força elétrica para transportar em equilíbrio uma carga em uma trajetória aberta de $\boldsymbol{a}$ até $\boldsymbol{b}$ é cada por:

O resultado mostra que o trabalho depende apenas das posições finais e iniciais, ou seja, independe da trajetória.

$$\frac{W_{a\to b}}{q_0} = -\frac{\Delta U}{q_0} = -\left(\frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0}\right) = V_a - V_b$$

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} \vec{F}.d\vec{r} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}dr$$
$$= \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

As expressões acima relacionam a diferença de potencial com o trabalho, mostrando que a diferença de potencial também independe da trajetória.

Portanto,

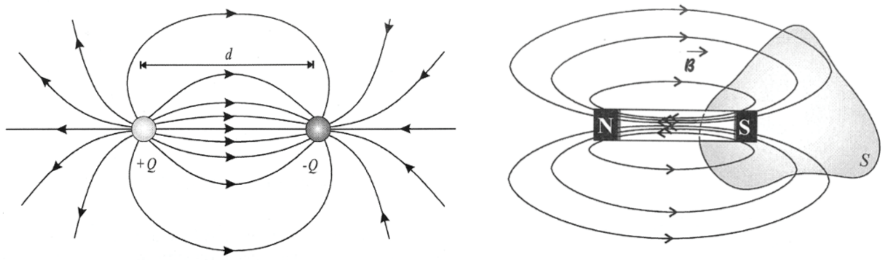
O item é **falso**.

3. (CESPE - SLU-DF– Eng. Elétrica – 2019) Julgue o item a seguir.

Assim como as linhas de fluxo elétrico, as linhas de fluxo magnético são sempre fechadas sobre si mesmas.

Resolução e comentários:

Na figura abaixo comparamos os campos elétrico (campo característico de um dipolo elétrico) e magnético (campo característico de um ímã).



(a) (b)

Perceba que o campo elétrico (dipolo) "nasce" na carga $+\boldsymbol{Q}$ e "morre" na carga $-\boldsymbol{Q}$, dessa forma, temos **linhas de campo aberto** para o campo elétrico.

As linhas de campo magnético são **linhas fechada**, elas entram pelo pólo sul e saem pelo pólo norte. Assim, quando envolvemos um dos pólos com uma superfície fechada $\boldsymbol{S}$, como mostra a Figura (b), o número de linhas de campo que atravessam a superfície fechada para fora é exatamente igual ao número de linhas que atravessam a superfície para dentro, o que faz com que o fluxo de campo magnético através da superfície fechada seja nulo.

Portanto,

O item é **falso**.

4. (UFPR - ITAIPU – Eng. Elétrica – 2019) Duas pequenas esferas condutoras, idênticas, possuem cargas de $2,0 \times 10^{-9}\ C$ e $-0,5 \times 10^{-9}\ C$. Assinale a alternativa que apresenta, respectivamente, a força entre elas quando estiverem separadas por $4\ cm$, e a força entre elas quando forem postas em contato e novamente separadas por $4\ cm$.

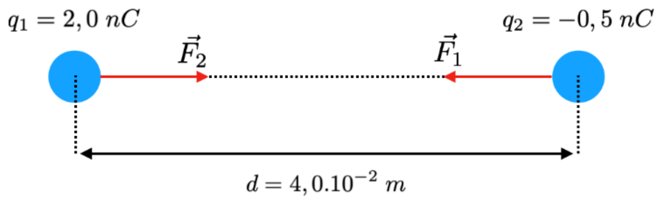
A) $-0{,}86 \times 10^{-5}\ N$ e $4{,}58 \times 10^{-6}\ N$
B) $0{,}56 \times 10^{-5}\ N$ e $3{,}16 \times 10^{-6}\ N$
C) $-0{,}20 \times 10^{-5}\ N$ e $1{,}82 \times 10^{-6}\ N$
D) $0{,}32 \times 10^{-5}\ N$ e $1{,}95 \times 10^{-6}\ N$
E) $0{,}44 \times 10^{-5}\ N$ e $-2{,}20 \times 10^{-6}\ N$

Resolução e comentários:

A questão solicita que você calcule a força entre as esferas quando elas estiverem separadas por $4\ cm$, e a força entre elas quando forem postas em contato e novamente separadas por $4\ cm$.

Vamos começar analisando a interação eletrostática utilizando a Lei de Coulomb...

Sabendo que $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F$, temos



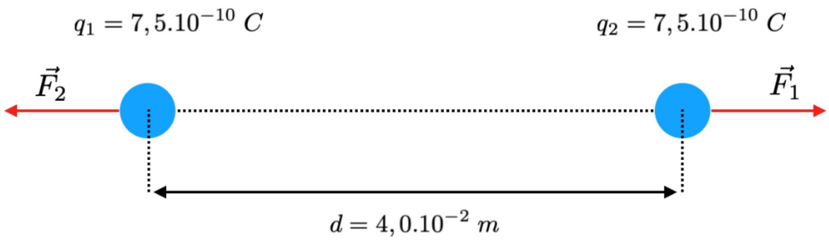
$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{d^2} \\ &= (9.10^9) \times \frac{(2.10^{-9}) \times (0,5.10^{-9})}{(4.10^{-2})^2} \\ &= 0,56.10^{-5}\ N \end{aligned}$$

Com essa análise já poderíamos definir o gabarito, mas vamos prosseguir com a resolução.

Próximo passo é verificar qual é carga final das esferas após o contato. Após o contato, o sistema ficará sob o mesmo potencial, de tal forma que a carga será redistribuída igualmente entre as esferas, pois elas são idênticas. Usando o princípio da conservação da carga, a carga total antes do contato $(\boldsymbol{q_1 + q_2})$ deverá ser igual a carga total após o contato $(\boldsymbol{q'_1 + q'_2 = 2q})$.

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= q'_1 + q'_2 = 2q \\ q_1 + q_2 &= 2q \\ q &= \frac{(2.10^{-9}) - (0,5.10^{-9})}{2} \\ q &= 7,5.10^{-10}\ C \end{aligned}$$

Agora vamos calcular a intensidade da nova interação após o contato e restabelecida a posição original das esferas.



A força de repulsão será:

$$
\begin{aligned}
F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{d^2} \\
&= (9.10^9) \times \frac{(7,5.10^{-10})^2}{(4.10^{-2})^2} \\
&= 3,16.10^{-6}\ N
\end{aligned}
$$

Portanto,

A **alternativa (B)** é o gabarito da questão.

5. (IADES – Analista Legislativo (ALEGO) – Engenheiro Eletricista – 2019) Duas placas condutoras retangulares de comprimento x e largura y são colocadas em paralelo a uma distância d uma da outra, e, entre elas é inserido um dielétrico com permissividade relativa ε_r. Esse conjunto possui capacitância C. Com base nessas informações, é correto afirmar que, se

A) O dielétrico for trocado para um dielétrico com um terço de ε_r, C será triplicada.
B) d for dobrada, C será dobrada.
C) x e d forem dobrados, C não se alterará.
D) y e d forem dobrados, C quadruplicará.
E) x for triplicada, C será diminuída para um terço do valor original.

Resolução e comentários:

O problema exige do aluno competências de análise quantitativa sobre o capacitor de placas paralelas. Sabemos que a capacitância é uma grandeza que varia diretamente com os parâmetros geométricos do capacitor (área das placas / dimensões) e com as características do meio inserido entre as placas. A capacitância tem uma relação inversamente proporcional com a distância entre as placas.

A expressão da capacitância para o capacitor de placas paralelas é dada por:

$$C = \frac{\kappa\varepsilon_0 A}{d}$$

A permissividade relativa é

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\kappa\varepsilon_0}{\varepsilon_0} = \kappa$$

Ou seja, a permissividade absoluta é a própria constante dielétrica.

Analisando cada item, temos:

(A) Utilizando um novo material com $\boldsymbol{\varepsilon_r' = \varepsilon_r/3}$, teremos a seguinte capacitância:

$$C' = \frac{\kappa\varepsilon_0 A}{3d} = \frac{C}{3}$$

A nova capacitância $\boldsymbol{C'}$ é um terço da capacitância original. (**item- Errado**)

(B) Dobrando a distância entre as placas, temos: $\boldsymbol{d' = 2d}$

$$C' = \frac{\kappa\varepsilon_0 A}{2d} = \frac{C}{2}$$

A nova capacitância diminui pela metade. (**item- Errado**)

(C) Como as placas têm formas retangulares, a área é $\boldsymbol{A = x.y}$. Se $\boldsymbol{x}$ e $\boldsymbol{d}$ são dobrados, temos:

$$C' = \frac{\kappa\varepsilon_0(2xy)}{2d} = \frac{\kappa\varepsilon_0(xy)}{d} = C$$

A nova capacitância não se altera. (**item- Correto**)

(D) Da mesma forma do item (c), dobrando $\boldsymbol{y}$ e $\boldsymbol{d}$ teremos a mesma capacitância original. (**item- Errado**)

(E) Se $\boldsymbol{x}$ for triplicado, a nova capacitância também será triplicada. (**item- Errado**)

$$C' = \frac{\kappa\varepsilon_0(3xy)}{d} = 3C$$

Portanto,

A **alternativa (C)** é o gabarito da questão.

6. (Pref. São Gonçalo-UFF- 2011) O cobre e o alumínio são os dois metais mais usados na fabricação dos condutores elétricos. Ao longo dos anos, o cobre tem sido o mais utilizado, sobretudo em condutores isolados, devido, principalmente, a suas propriedades elétricas e mecânicas. Já o alumínio, normalmente utilizado em linhas aéreas de transmissão e distribuição, tem seu uso vinculado ao aço cuja função é:

A) assegurar melhor condutividade.

B) constituir uma liga.

C) aumentar a resistividade do alumínio, que é menor do que a do cobre.

D) aumentar a resistência mecânica do alumínio.

E) diminuir a resistividade do alumínio, que é menor do que a do cobre.

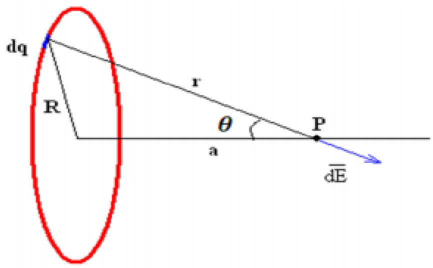
Resolução e comentários:

Conforme foi estudado, o alumínio é largamente utilizado na produção de condutores de energia elétrica devido ao seu baixo custo, boa condutividade térmica e baixo peso específico. No entanto, este material possui uma considerável fragilidade mecânica, que pode ser minimizada com o a fabricação de ligas de alumínio associadas ao aço para elevar sua resistência mecânica.

Portanto,

A **alternativa (D)** é o gabarito da questão.

7. (EBSERH-HE-UFSCAR- AOCP-Engenheiro Eletricista-2015) Tem-se um anel uniformemente carregado com carga q, cujo centro está localizado a uma distância a em relação a um ponto P qualquer de seu eixo de simetria, conforme ilustra a figura a seguir. Caso o raio R do anel seja muito maior que a distância do seu centro ao ponto P, é correto afirmar que o campo elétrico produzido pelo anel no ponto P é igual a



A) 1

B) -1

C) 0

D) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}$

E) $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$

Resolução e comentários:

A questão solicita que você calcule o campo elétrico produzido pelo anel no ponto P, descrito pela figura.

O procedimento para resolver essa questão consiste em aplicar a lei de Coulomb, explorando da simetria do problema para fazermos uma análise mais simples.

O anel carregado é um caso típico de distribuição de cargas, então, é bom que, de fato, você tenha o conhecimento de como calcular o campo elétrico em um anel carregado.

Conforme estudamos, o campo elétrico dE produzido por uma carga pontual dq é dado por:

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{r^2}$$

O ponto chave para resolver essa questão é olhar para a simetria do problema, considerando a própria figura do enunciado. Olhe pra ela e perceba que cada elemento de carga dq que compõem o anel vai produzir um campo dE no ponto P. A questão é que, se tomarmos um elemento de carga dq oposto e decompormos no esse vetor no eixo y, eles irão se anular nessa direção (apenas eixo Y!).

Em todas as direções que você olhar, vai sobrar apenas dE na direção do eixo x. Logo, por simetria, E_y=0.

Partindo desse princípio, temos que encontrar apenas a componente x do campo elétrico. E é assim que vamos proceder!

Pela decomposição vetorial temos que:

$$dE_x = dEcos\theta$$

Integrando dos dois lados,

$$E_x = \int dEcos\theta$$

Substituindo dE,

$$E_x = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{dq}{r^2}cos\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{dq}{r^2}cos\theta$$

Pela figura e pela relação trigonométrica dentro do triângulo formado por *R*, *a* e *r*

$$r^2 = R^2 + a^2 \text{ e } cos\theta = \frac{a}{r}$$

Substituindo na expressão do campo elétrico,

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int \frac{dq}{(R^2+a^2)}\frac{a}{(R^2+a^2)^{\left(\frac{1}{2}\right)}}$$

Simplificando,

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq\ a}{(R^2+a^2)^{3/2}}$$

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{a}{(R^2+a^2)^{3/2}} \int dq$$

Como a integral de dq é a cara total, chegamos ao seguinte resultado:

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{a}{(R^2+a^2)^{3/2}}$$

Agora, basta analisarmos essa expressão de acordo com o que o enunciado solicita. Conforme o enunciado, caso o raio *R* seja muito maior do que a distância *a* do seu centro até o ponto P (R>>a) e apenas colocando R em evidência para podermos comparar esses parâmetros, temos que:

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{a}{R^3(1+\left(\frac{a}{R}\right)^2)^{3/2}}$$

Se R>>a, então podemos desprezar o termo entre parêntese (elevado a 3/2)... Assim,

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{a}{R^3}$$

Consequentemente chegamos à seguinte conclusão, já que não temos essa expressão nas alternativas:

Se R>>a então o valor do campo elétrico se aproxima de 0, pois R ao cubo está no denominador da expressão.

Portanto,

A **alternativa (C)** é o gabarito da questão.

Adicionando um raciocínio, perceba que a alternativa D representa justamente o caso contrário em que a>>R , logo o termo entre parênteses ficará apenas em função de "a" e consequentemente, podemos fazer a simplificação de que :

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$$

De forma mais "instintiva", você também poderia pensar da seguinte forma...

Quando R>>a, é como se o ponto P estivesse no centro do anel. Ou seja, os elementos de cargas situadas em postos opostos iriam gerar elementos de campo elétrico que no final das contas iriam acabar se anulando em todas as direções.

É muito importante que você entenda esses tipos de análise para diferentes distribuições de cargas (as mais típicas) para que você tome essas conclusões de forma mais rápida e perspicaz no momento da prova! Fica a dica!

8. (UFFS-AOCP-Engenheiro Elétrico- 2016) Um Engenheiro Eletricista calculou a capacitância de um capacitor de placas paralelas, com duas placas de 20 cm x 20 cm cada, separadas uma da outra por uma distância de 5 mm, tendo dielétrico feito de cerâmica. Assinale a alternativa que corresponde ao valor da capacitância calculada, considerando a permissividade relativa da cerâmica como sendo 7.500 e a constante dielétrica absoluta para o vácuo (ou ar) de ϵ_0 =8,854.10^{-12} F/m.

A) A capacitância calculada foi de C=1000.10^{-9} F.

B) A capacitância calculada foi de C=332,24.10^{-12} F.

C) A capacitância calculada foi de C=531,24.10^{-9} F.

D) A capacitância calculada foi de C=60.000.10^{-9} F.

E) A capacitância calculada foi de C=781,24.10^{-6} F.

Resolução e comentários:

A questão solicita que você calcule a capacitância de um capacitor de placas paralelas que possui um dielétrico (cerâmica) entre as placas do capacitor.

O procedimento para resolver essa questão consiste em aplicar a fórmula para o cálculo da capacitância. Estudamos nessa aula que a capacitância C de um capacitor de placas paralelas preenchido com um dielétrico de constante dielétrica ϵ_r será dada por:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Onde,

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Isolando ϵ e substituindo os dados fornecidos pelo enunciado da questão, temos que:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$C = 7500 \cdot 8{,}854 \cdot 10^{-12} \frac{(20x20)\cdot 10^{-4}}{5\cdot 10^{-3}}$$

$$C = 5{,}3124 \cdot 10^{-7} F$$

$$C = 531{,}24 \cdot 10^{-9} F$$

Portanto,

A **alternativa (C)** é o gabarito da questão.

Lembre-se sempre de tomar cuidado com as unidades de medida e as devidas conversões! A área foi dada em cm^2 e a distância em mm. Logo, tivemos que converter as unidades, respectivamente, para m^2 e m.

9. (UFFS-AOCP-Engenheiro Elétrico- 2016) Sobre o tema "materiais isolantes, condutores e magnéticos", assinale a alternativa correta.

A) Os materiais isolantes possuem majoritariamente átomos com 3 elétrons em sua camada de valência.

B) O alumínio pode ser utilizado para substituir o cobre como condutor de eletricidade, porém o alumínio apresenta apenas 61% da capacidade de condução do condutor fabricado de cobre.

C) Os materiais magnéticos podem apresentar uma propriedade denominada Histerese, graças ao adiantamento do fluxo magnético em relação à força magnetomotriz.

D) A relutância magnética é a medida da capacidade que determinado material apresenta em conduzir fluxo magnético e é medida em Wb/mm^2.

E) Em um material magnético, a força magnetizante é inversamente proporcional à força magnetomotriz

Resolução e comentários:

A questão solicita que você julgue as alternativas sobre materiais elétricos. Para ficar mais clara a análise da questão, vamos julgar cada alternativa separadamente. Outros aspectos de materiais magnéticos são cobrados nessa questão, mas vamos manter o foco justamente nas propriedade dos materiais condutores e isolantes.

A) A alternativa está **incorreta**, pois não podemos fazer essa afirmação. Os materiais isolantes (dielétricos) são caracterizados justamente por uma camada de valência quase completa (quase completando 8 elétrons pela regra do octeto). Nesta situação, a força de ligação dos elétrons com o núcleo é grande, ou seja, os elétrons não estão livres como nos materiais condutores.

B) A alternativa está **correta**. Conforme foi comentado nesta aula, o alumínio possui uma resistividade elétrica aproximadamente 65% maior do que a do cobre. Ou seja, é menos condutivo que o cobre, já que a condutividade e resistividade se relacionam de forma inversa.

Comparando a resistividade elétrica dois materiais, temos que:

$$\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = \frac{0{,}0290}{0{,}0175} = 1{,}65$$

Como a condutividade equivale ao inverso da resistividade, temos:

$$\frac{\sigma_{Cu}}{\sigma_{Al}} = \frac{1}{0{,}0290} \cdot \frac{0{,}0175}{1} \cong 0{,}61$$

Dessa forma, o alumínio possui aproximadamente 61 % da capacidade de condução do cobre. A questão apenas brincou com as propriedades elétricas desses materiais.

C) A alternativa está **incorreta**. O fenômeno de B (densidade de fluxo magnético) se atrasar com relação à H (intensidade de campo magnético) é denominado histerese.

D) A alternativa está **incorreta**, pois a relutância magnética representa justamente da capacidade de oposição ao fluxo magnético. Estudaremos isso mais a frente.

E) A alternativa está **incorreta**. A força magnetizante (denominação também utilizada para a intensidade de campo magnético) é diretamente proporcional à força magnetomotriz (Fmm).

Portanto,

A **alternativa (B)** é o gabarito da questão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, ALAOR. Física básica: Eletromagnetismo. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TIPLER. PAUL ALLEN. Física para cientistas e engenheiros, volume 2: Eletricidade e magnetismo: Rio de Janeiro: Gen, 2012.

DA SILVA, CLAUDIO ELIAS. Eletromagnetismo: fundamentos e simulações. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

YOUNG, HUGH D. Física III: eletromagnetismo. São Paulo: Pearson Education do Brasil., 2009.

MACHADO, KLEBER DAUM. Teoria do eletromagnetismo. 2.ed. Vol I e II Ponta Grossa: Editora UEPG, 2005.

FEYNMAN, RICHARD P. The Feynman Lectures on Physics: The Definitive and Extended Edition, 2nd Edition. Porto Alegre: Artmed Editora S.A, 2008.

BESSONOV, L A; Applied Electricity for Engineers. Moscow: Mir, 1976.

MALVINO, A P. Eletrônica no Laboratório. São Paulo: Makron Books ,1994.

BOLTON, W. Análise de Circuitos Elétricos. São Paulo: Makron Books, 1994.

GRIFFTIHS, D. Eletrodinâmica. São Paulo: Person,2011.

SADIKU, M.O; ALEXANDER, C. K. Fundamentos de circuitos elétricos. 3ª Edição. México: McGraw-Hill, 2006.

7. GABARITO

1. Letra A
2. Falso
3. Falso
4. Letra B
5. Letra C
6. Letra D
7. Letra C
8. Letra C
9. Letra B

ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE:
PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.

1. Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.

2. Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).

3. Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).

4. Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).

5. Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).

6. Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).

7. Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.

8. O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.

Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.