

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE
FORA

Eletricidade

ELETROSTÁTICA

Carga elétrica

Força elétrica

Campo elétrico

Trabalho e potencial elétrico

Capacitância eletrostática

ELETRODINÂMICA

Corrente elétrica

Resistores

Circuitos elétricos

Capacitores

Prof: Ricardo Sutana de Mello

Creditos: Renan Schetino de Souza

ELETRIZAÇÃO

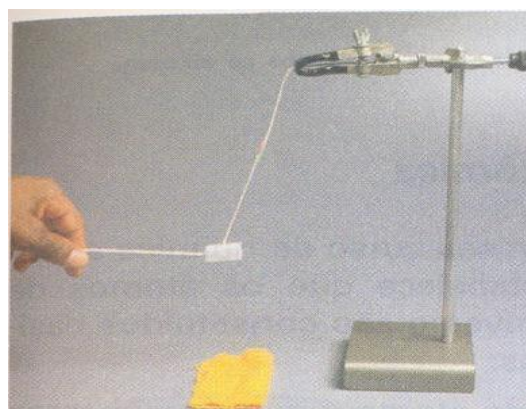
O filósofo grego Tales, que viveu na cidade de Mileto, no século VI a.C, observou que, um pedaço de âmbar (um tipo de resina) após ser atritado com pele de animal, adquiria a propriedade de atrair corpos leves (como pedaços de palha e sementes de grama).

Modernamente, sabemos que todas as substâncias podem apresentar comportamento semelhante ao âmbar quando atritadas. Como a palavra grega correspondente a âmbar é *élektron*, dizemos que esses corpos, quando atritados, "estão eletrizados". Surgiu, daí, os termos "eletrização", "eletricidade", "elétrico", etc.

A seguir, apresentamos situações em que alguns corpos se eletrizam ao serem atritados:



O pente após ser atritado passa a atrair pedaços de papel.



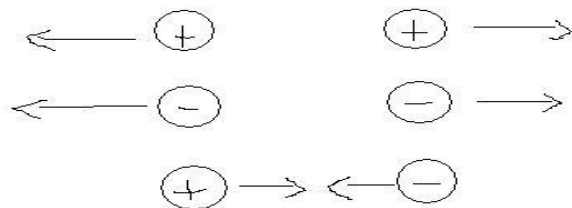
O bastão após ser eletrizado atrai o isopor

Quando um corpo está eletrizado, dizemos também que possui uma carga elétrica e, em situação normal (não eletrizado), dizemos que está neutro ou descarregado.

Existem dois tipos de cargas elétricas:

- Positiva (+)
- Negativa (-)

As cargas elétricas de mesmo nome (mesmo sinal) se repelem, e as cargas de nomes contrários (sinais diferentes) se atraem.



CARGA ELÉTRICA E ESTRUTURA ATÔMICA

Os átomos de qualquer material são constituídos basicamente pelas seguintes partículas:

- O próton, localizado no núcleo do átomo e que possui carga elétrica positiva;
- O elétron, que se move em torno do núcleo, e que possui carga elétrica negativa;
- O nêutron, também localizado no núcleo, e que não possui carga elétrica.

Pode-se entender porque um corpo se eletriza por atrito, da seguinte maneira:

- Em um corpo neutro (não eletrizado), o número de prótons é igual ao número de elétrons, de modo que a carga elétrica (carga líquida) no corpo é nula;
- Ao atritarmos dois corpos, **há transferência de elétrons** de um corpo para o outro (os prótons e nêutrons **não se deslocam** nesse processo, pois estão firmemente presos ao núcleo do átomo);
- O corpo que perde elétrons apresenta excesso de prótons e, portanto, fica eletrizado positivamente;
- O corpo que recebe elétrons apresenta excesso dessas partículas e, assim, fica eletrizado negativamente.

Por exemplo: quando atritamos uma barra de vidro com lã, há passagem de elétrons da barra para a lã. Assim, o vidro, que era neutro e perdeu elétrons, fica eletrizado positivamente. A lã, que também era neutra e ganhou elétrons, fica eletrizada negativamente.

❖ **Importante**

O processo de eletrização está sempre relacionado à perda ou ganho de elétrons. Somente os elétrons têm liberdade para se locomover. Os prótons e nêutrons estão fortemente ligados ao núcleo.

CONDUTORES E ISOLANTES

Nos metais e em alguns outros materiais, um ou dois elétrons de cada átomo se libertam da atração do núcleo e passam a se movimentar livremente no interior do metal, sendo, portanto, bons condutores de eletricidade. Assim, em um fio metálico, há um enorme número de átomos e conseqüentemente um grande número de elétrons livres, o que faz, por exemplo, que exista uma corrente elétrica nesse fio quando ligado aos pólos de uma bateria.



Nos metais, há um grande número de elétrons livres

Ao contrário dos condutores, existem materiais (caso da: madeira, borracha, porcelana, vidro, papel, isopor, etc.) que não possuem elétrons livres (ou o número desses elétrons é muito

pequeno). Logo esses materiais são maus condutores de eletricidade e são chamados de isolantes elétricos.

CONSERVAÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS

Em todo processo de eletrização, a soma das cargas dos corpos envolvidos se conserva, permanecendo a mesma no final. Portanto, o princípio da conservação das cargas elétricas pode ser enunciado assim:

Num sistema eletricamente isolado, a soma das cargas no início do processo é igual à soma no final.

Ex 1: Sejam dois corpos idênticos A e B. O corpo A tem uma carga elétrica de $+4Q$ e o corpo B uma carga de $-2Q$. Admitamos que, de um modo conveniente, houve uma troca de cargas entre os corpos. Qual será a carga elétrica total do sistema após esta troca?

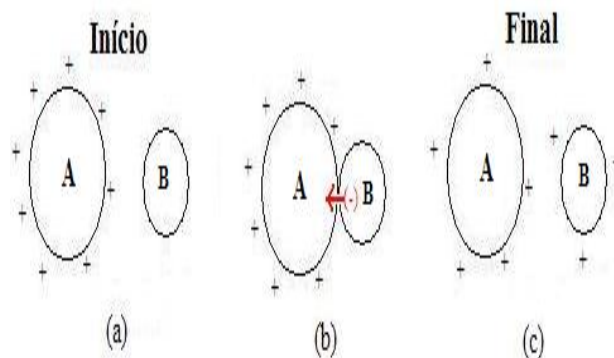
Solução: De acordo com o princípio da conservação das cargas, a quantidade de carga total no final é igual à quantidade de carga total no início da troca, isto é:

$$\text{Carga total no início do processo: } 4Q + (-)2Q = 2Q$$

Logo, a carga total no final do processo é de $2Q$. (Retornaremos neste exemplo para saber a carga separadamente em cada uma das esferas).

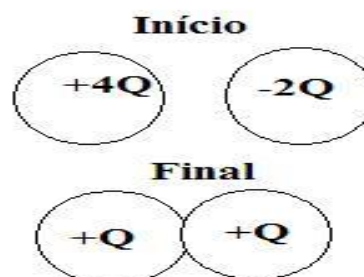
ELETRIZAÇÃO POR CONTATO

Colocando-se em contato dois condutores A e B, um eletrizado (A) e o outro neutro (B), B se eletriza com carga de mesmo sinal que A.



Em (a), os corpos A e B estão isolados e afastados. Colocados em contato (b), durante breve intervalo de tempo, elétrons livres irão de B para A. Após o processo (c), A e B apresentam-se eletrizados positivamente.

Caso o corpo A estivesse carregado negativamente e o corpo B neutro, durante o contato (b), elétrons livres iriam de A para B, fazendo com que ambos os corpos apresentassem carga negativa.



Ex 2: Retornemos ao exemplo 1. Qual será a carga de ambos os corpos após entrarem em contato?

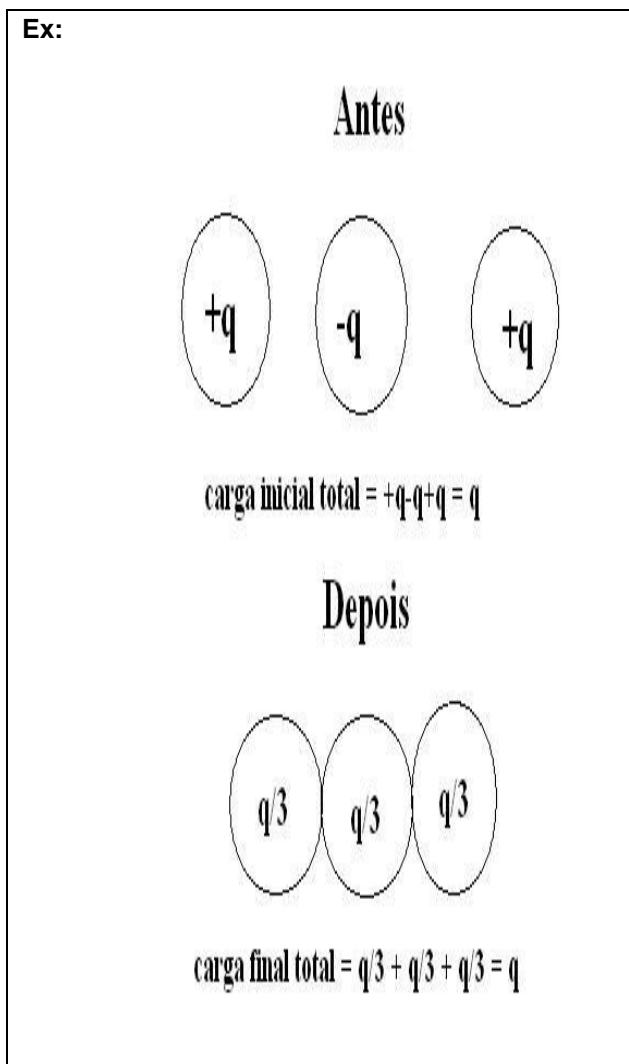
Solução: Carga total no início: $4Q + (-)2Q = 2Q$

Como a carga no início é igual no final, temos:

Carga total no final: $2Q$

Toda vez que corpos idênticos (mesma forma e material) entrarem em contato, eles ficarão com cargas idênticas no final do processo. Portanto, como temos dois corpos envolvidos, tanto o corpo A quanto o corpo B ficarão com uma carga igual a Q .

O que vimos anteriormente, vale para o caso geral. Se condutores idênticos (mesma dimensão e material) são postos em contato, a carga final em cada um será igual à soma da carga total inicial neles dividida pelo número de condutores em contato, independentemente dos sinais de suas cargas.



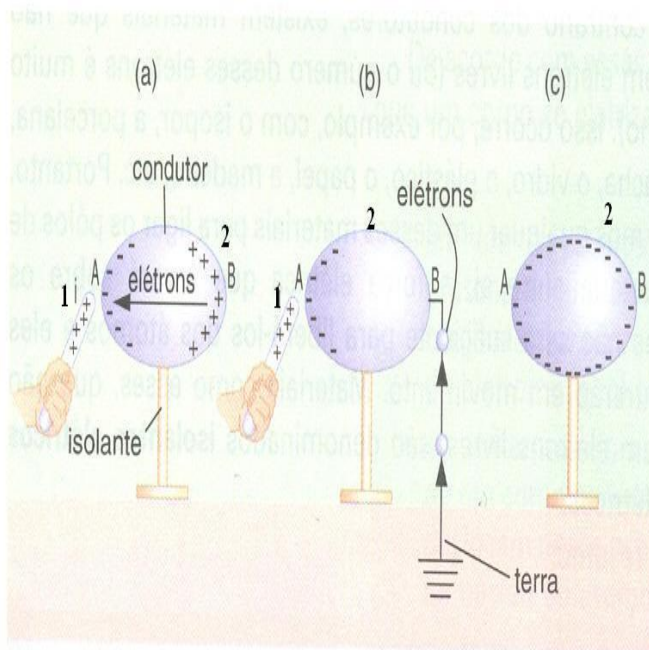
Isso ocorre porque as cargas tendem a se distribuir nos condutores de forma a ficarem num mesmo potencial (potencial elétrico será estudado mais adiante).

ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO

Imagine que aproximemos um corpo carregado positivamente (1) de outro que esteja inicialmente neutro (2), conforme a figura abaixo. Ao aproximarmos os dois corpos, as cargas do corpo positivo induzem uma separação das cargas do corpo neutro, ou seja, há uma atração nos elétrons do corpo (2), fazendo com que eles se transfiram para o lado direito, próximo ao corpo (1), deixando o lado esquerdo com excesso de prótons, ou seja, de cargas positivas. (Lembre-se que os prótons não se locomovem, pois estão presos ao núcleo). Como a força de interação no lado das cargas negativas é maior ($\vec{F}_1 > \vec{F}_2$), pois estão mais próximas do corpo neutro, há uma atração entre os corpos (1) e (2).



Suponha que aproximemos um bastão carregado positivamente próximo a uma esfera inicialmente neutra. Cargas serão induzidas na esfera. Caso a esfera seja ligada a Terra por um fio condutor, conforme na situação (b), elétrons livres na Terra serão atraídos para o lado onde estão as cargas positivas (lado B da esfera), neutralizando assim esta extremidade, ficando o outro lado com cargas negativas. Se desfizemos a ligação e em seguida afastarmos o bastão, a esfera ficará carregada negativamente.



(a) dois corpos conforme a situação estudada anteriormente; (b) é feita uma ligação do corpo 2 com a Terra e elétrons são transferidos à ele; (c) ao se retirar a ligação e afastar o bastão, o corpo 2 fica com carga negativa.

Caso repetíssemos a experiência anterior, mas com um bastão carregado negativamente, assim que a esfera fosse ligada a Terra, as cargas negativas da esfera escoariam para a Terra (*aterramento*) e, em seguida, ao desfazermos a ligação, a esfera ficaria carregada positivamente.

MEDIDA DA CARGA ELÉTRICA

A menor carga elétrica encontrada na natureza é a carga de um elétron ou de um próton. Essas cargas são iguais em valor absoluto, porém, de sinais trocados, constituindo a chamada *carga elementar* (e), cujo valor é:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

A unidade de carga elétrica é o Coulomb (1 Coulomb = 1C), em homenagem ao físico Charles Coulomb.

O Valor da carga de um corpo é medido pelo número de elétrons ou prótons que ele tem em excesso. Logo, qualquer valor da carga elétrica de um corpo é um múltiplo inteiro da carga elementar:

$$Q = ne$$

Onde: Q = carga do corpo
 n = nº de elétrons
 e = carga elementar

Ex: Um corpo inicialmente neutro é eletrizado com carga $Q = 1\text{C}$. Qual o número de elétrons retirados do corpo?

$$Q = ne \Rightarrow 1 = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$n = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,625 \cdot 10^{19} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ elétrons}$$

O elevado número de elétrons retirados do corpo no exemplo anterior nos mostra que os corpos eletrizados por atrito adquirem, em geral, cargas muito inferiores a 1C. Por isso, para medir essas cargas, são mais usados os submúltiplos seguintes:

1 mC	= 1 milicoulomb	= 10^{-3} C
1 uC	= 1 microcoulomb	= 10^{-6} C
1 nC	= 1 nanocoulomb	= 10^{-9} C

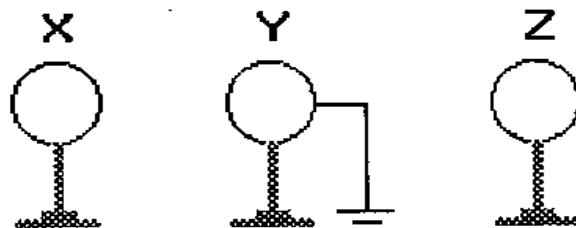
procedimento, qual a carga elétrica das esferas A, B e C, respectivamente?

- (a) $q/3$, $q/3$ e $q/3$
- (b) $q/4$, $q/4$ e $q/4$
- (c) $q/4$, $q/8$ e $q/8$
- (d) $q/2$, $q/4$ e $q/4$
- (e) $q/2$, $q/4$ e $q/8$

3. Um bastão eletricamente carregado atrai uma bolinha condutora A e repele uma bolinha B. Nessa situação,

- (a) a bolinha B está eletricamente neutra.
- (b) Ambas as bolinhas estão carregadas com cargas idênticas.
- (c) ambas as bolinhas podem estar eletricamente neutras.
- (d) a bolinha B está carregada com carga positiva.
- (e) a bolinha A pode estar eletricamente neutra.

4. Três esferas metálicas idênticas, X, Y e Z, estão colocadas sobre suportes feitos de isolante elétrico e Y está ligada à terra por um fio condutor, conforme mostra a figura.



X e Y estão eletricamente neutras, enquanto Z está carregada com uma carga elétrica q . Em condições ideais, faz-se a esfera Z tocar primeiro a esfera X e em seguida a esfera Y. Logo após este procedimento, qual carga elétrica das esferas X, Y e Z, respectivamente?

- (a) $q/3$, $q/3$ e $q/3$
- (b) $q/2$, $q/4$ e $q/4$
- (c) $q/2$, $q/2$ e nula
- (d) $q/2$, nula e $q/2$
- (e) $q/2$, nula e nula

EXERCÍCIOS

1. Dispõe-se de três esferas metálicas idênticas e isoladas umas das outras. Duas delas, A e B, estão eletricamente neutras, enquanto C contém uma carga elétrica q . Em condições ideais, faz-se a esfera C tocar primeiro a esfera A e em seguida a esfera B. No final desses procedimentos, qual a carga elétrica das esferas A, B e C, respectivamente?

- (a) $q/2$, $q/2$ e nula
- (b) $q/4$, $q/4$ e $q/2$
- (c) q , nula e nula
- (d) $q/2$, $q/4$ e $q/4$
- (e) $q/3$, $q/3$ e $q/3$

2. Dispõe-se de quatro esferas metálicas iguais e isoladas umas das outras, três delas, denominadas A, B e C, estão eletricamente neutras, enquanto a esfera D contém uma carga elétrica q . Em condições ideais, faz-se a esfera D tocar primeiro na esfera A, em seguida a B e por último a C. Depois desse

5. Analise cada uma das seguintes afirmações relacionadas com eletricidade e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F).

() Uma esfera metálica eletricamente neutra, ao ser aproximada de um bastão de vidro

positivamente carregado, pode sofrer uma força de atração elétrica.

() Em uma esfera metálica eletricamente carregada, as cargas distribuem-se uniformemente, ocupando o volume da esfera.

() Uma carga elétrica positiva colocada entre duas cargas negativas é repelida por ambas.

Quais são, respectivamente, as indicações corretas?

- (a) V, F, F
- (b) V, F, V
- (c) V, V, F
- (d) F, V, V
- (e) V, V, F

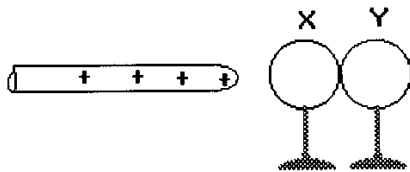
6. Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as duas lacunas, respectivamente.

I – A carga elétrica de um corpo que apresenta um número de elétronsao número de prótons, é positiva.

II – Nos cantos de uma caixa cúbica condutora, eletricamente carregada, a densidade de carga é que nos centros de suas faces.

- (a) superior – maior que
- (b) superior – a mesma
- (c) inferior – maior que
- (d) inferior – menor que
- (e) inferior – a mesma

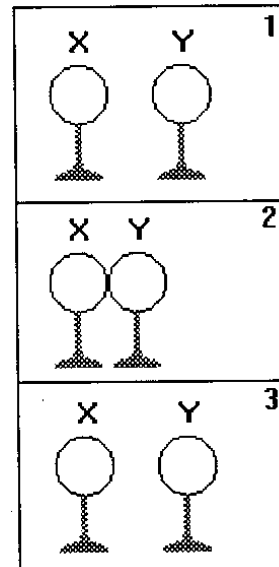
7. Duas esferas condutoras descarregadas, X e Y, colocadas sobre suportes isolantes, estão em contato. Um bastão carregado positivamente é aproximado da esfera X, como mostra a figura.



Em seguida, a esfera Y é afastada da esfera X, mantendo-se o bastão em sua posição. Após esse procedimento, as cargas das esferas X e Y são, respectivamente,

- (a) nula, positiva
- (b) negativa, positiva
- (c) nula, nula
- (d) negativa, nula
- (e) positiva, negativa

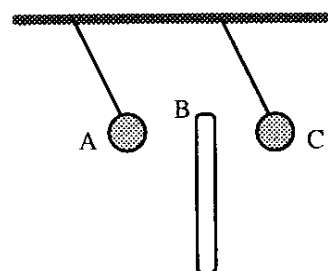
8. As figuras 1, 2 e 3 representam duas esferas metálicas iguais, X e Y, que estão montadas sobre suportes não condutores. Inicialmente a esfera X está positivamente carregada e a Y está eletricamente neutra (figura 1).



Após serem postas em contato (figura 2) e novamente separadas (figura 3),

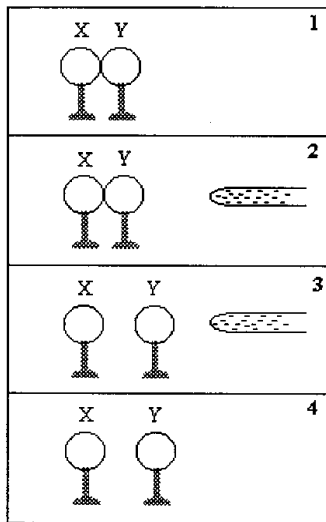
- (a) as esferas apresentarão cargas elétricas iguais.
- (b) as esferas se atrairão mutuamente.
- (c) X está carregada positivamente e Y, negativamente.
- (d) Y estará carregada positivamente e X descarregada.
- (e) as duas esferas estão descarregadas.

9. A figura representa duas esferas A e C, suspensas por barbantes, e um bastão isolante B. Sabendo-se que a carga elétrica da esfera A é negativa, as cargas elétricas do bastão B e da esfera C são, respectivamente,



- (a) positiva e negativa
- (b) negativa e positiva
- (c) positiva e neutra
- (d) negativa e negativa
- (e) positiva e positiva

10. A figura 1 representa duas esferas metálicas descarregadas, X e Y, apoiadas em suportes feitos de isolantes elétricos. Na figura 2, um bastão carregado negativamente é aproximado e mantido à direita. As esferas continuam em contato. Na figura 3, as esferas são separadas e o bastão é mantido à direita. Na figura 4, o bastão é afastado e as esferas permanecem separadas.



Considere a seguinte convenção:

+: cargas positivas em excesso
 -: cargas negativas em excesso
 N : carga neutra (= número de cargas negativas e positivas).

Qual o sinal (+, -, N) que se aplica à carga elétrica resultante das esferas X e Y, respectivamente, nas figuras 2, 3 e 4?

- (a) - e + - e + - e +
 (b) - e - - e + - e +
 (c) N e N - e + - e +
 (d) N e N - e + N e N
 (e) - e + - e N - e +

11. As figuras 1 e 2 representam as esferas W, X, Y e Z, suspensas por barbantes, e um bastão B. As esferas e o bastão encontram-se eletricamente carregados.

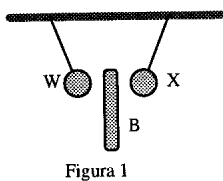


Figura 1

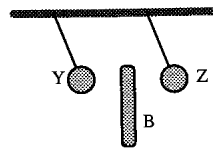


Figura 2

Na figura 1, o bastão B atrai as duas esferas. Na figura 2, esse bastão, com a mesma carga elétrica que possuía na figura 1, atrai a esfera Y e repele a Z.

As cargas elétricas das esferas W, X, Y e Z podem ser respectivamente:

- (a) + - + +
 (b) - - + -
 (c) + + - +
 (d) - + - -
 (e) + + + -

12. Um bastão eletricamente carregado atrai uma bolinha condutora X, mas repele uma bolinha condutora Y. As bolinhas X e Y atraem, na ausência do bastão. Sendo essas forças de atração e de repulsão de origem elétrica, conclui-se que

- (a) Y está carregada, e X está eletricamente descarregada ou eletricamente carregada com carga de sinal contrário ao da carga de Y.
 (b) Ambas as bolinhas estão eletricamente descarregadas.
 (c) X e Y estão eletricamente carregadas com cargas de mesmo sinal.
 (d) X está eletricamente carregada com carga de mesmo sinal da do bastão.
 (e) Y está eletricamente descarregada, e X, carregada.

13. Você dispõe de duas esferas metálicas, iguais e eletricamente neutras, montadas sobre suportes isolantes, e de um bastão de ebonite carregado negativamente. Os itens de I a IV referem-se às ações necessárias para carregar eletricamente as esferas por indução.

I – Aproximar o bastão de uma das esferas.

II – Colocar as esferas em contato.

III – Separar as esferas.

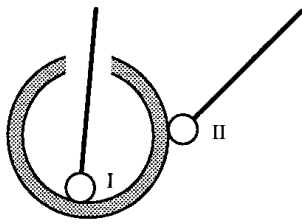
IV – Afastar o bastão

Qual a alternativa que coloca essas ações na ordem correta?

- (a) I, II, IV, III
 (b) III, I, IV, II
 (c) IV, II, III, I
 (d) II, I, IV, III
 (e) II, I, III, IV

14. Em uma esfera metálica oca, carregada positivamente, são encostados esferas metálicas menores, I e II, presas a cabos

isolantes, e inicialmente descarregadas, como representa a figura.



As cargas elétricas recolhidas pelas esferas I e II, são respectivamente,

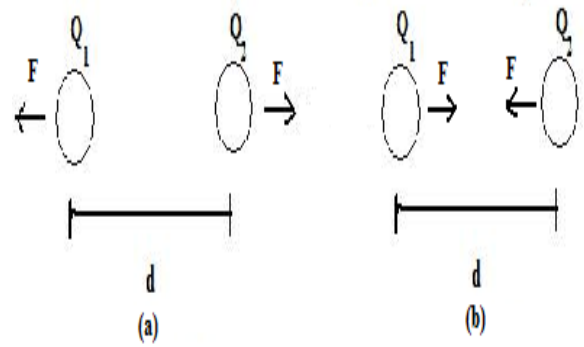
- (a) zero e negativa
- (b) zero e positiva
- (c) positiva e negativa
- (d) positiva e zero
- (e) negativa e positiva

GABARITO

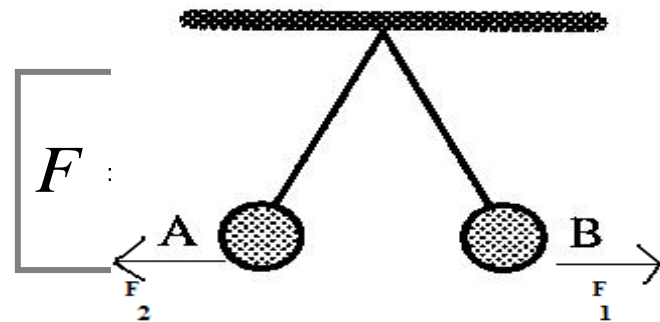
- 1. D
- 2. E
- 3. E
- 4. E
- 5. A
- 6. C
- 7. B
- 8. A
- 9. E
- 10. A
- 11. E
- 12. A
- 13. E
- 14. B

LEI DE COULOMB

Considere duas cargas elétricas puntiformes separadas pela distância d e situadas no vácuo. Entre elas pode ocorrer: (a) repulsão (se tiverem mesmo sinais); (b) atração (sinais opostos); com forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, de acordo com o princípio da ação e reação:



Charles Coulomb, realizando medidas cuidadosas com um dispositivo projetado por ele, conseguiu estabelecer experimentalmente uma



expressão para a força elétrica entre dois pequenos corpos:

Na expressão anterior, Q_1 e Q_2 são as cargas em valor absoluto dos corpos 1 e 2,

$$F_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{2} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{2} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

respectivamente; seus sinais apenas indicam se a força é de atração ou repulsão; d é a distância entre os dois corpos e k é denominada “constante da lei de Coulomb” ou “constante eletrostática”, cujo valor para o vácuo é:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Quando as cargas elétricas estão mergulhadas em outro meio material, observa-se

experimentalmente que a força entre elas torna-se menor que quando elas estão no ar, variando de valor para cada meio. Isso nos mostra que o valor de k depende do meio, adquirindo sempre valores menores que aquele fornecido para o caso do ar.

Resumindo:

O módulo da força entre dois pequenos corpos eletrizados é proporcional ao produto dos módulos de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles, ou seja, a força (seja de atração ou repulsão) é tanto maior quanto maiores forem os valores das cargas nos corpos, e tanto menor quanto maior for a distância entre eles.

Lembre-se que força é um vetor, logo, a direção destes vetores será a mesma da reta que liga o centro destas duas cargas puntiformes, e o sentido é tal conforme esta força for de atração ou repulsão.

Ex: Duas esferas metálicas pequenas, A e B de massas iguais, suspensas por fios isolantes, distantes $2m$ uma da outra, conforme representa a figura, são carregadas com cargas elétricas positivas que valem respectivamente $1\mu\text{C}$ na esfera A e $2\mu\text{C}$ na esfera B.

Seja F_1 a força elétrica exercida por A sobre B, e F_2 a força elétrica exercida por B sobre A, calcule-as.

Obs: Obviamente, as forças possuem a mesma intensidade, pois constituem pares de ação e reação.

Quando ocorrer de mais de um vetor força elétrica atuar em uma carga puntiforme, é necessário que se faça a soma vetorial de todos esses vetores que nela atuam. Portanto:

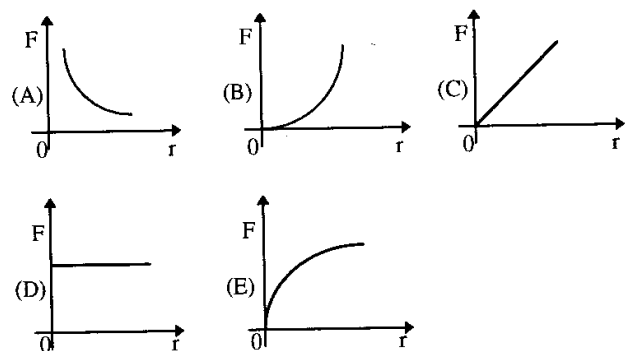
Assim como a força gravitacional, a força elétrica obedece ao princípio da superposição, ou seja, o vetor força resultante que age sobre uma carga é igual à soma individual de cada vetor força que age sobre ela.

EXERCÍCIOS

15. Duas cargas elétricas q_1 e q_2 encontram-se separadas por uma distância r . Nessa situação, a intensidade da força elétrica exercida sobre a carga q_1 depende:

- (a) de q_1
- (b) de q_2
- (c) de q_1 a r
- (d) de q_2 a r
- (e) de q_1, q_2 e r

16. Qual o gráfico que melhor representa a maneira como varia o módulo F da força que uma carga elétrica puntiforme exerce sobre outra quando a distância r entre elas é alterada?



17. Duas partículas, separadas entre si por uma distância r , estão eletricamente carregadas com cargas positivas q_1 e q_2 , sendo $q_1 = 2q_2$. Considere F_1 o módulo da força elétrica exercida por q_2 sobre q_1 e F_2 o módulo da força elétrica de q_1 sobre q_2 . Nessa situação, a força elétrica entre as partículas é de

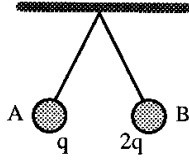
- (a) atração, sendo $F_1 = F_2$
- (b) atração, sendo $F_1 = 2 F_2$
- (c) atração, sendo $F_1 = F_2/2$
- (d) repulsão, sendo $F_1 = F_2$
- (e) repulsão, sendo $F_1 = 2F_2$

18. O módulo da força de atração entre duas cargas elétricas $+q$ e $-q$, a uma distância r uma da outra, é F . nas mesmas condições, o módulo da força de repulsão entre duas cargas $+q$ e $+q$ é

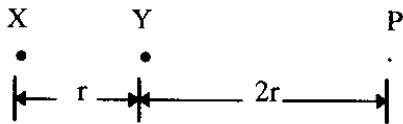
- (a) Nulo
- (b) $F/2$
- (c) F
- (d) $2F$
- (e) $3F$

19. Duas esferas metálicas pequenas, A e B de massas iguais, suspensas por fios isolantes, conforme representa a figura, são carregadas com cargas elétricas positivas que valem respectivamente q na esfera A e $2q$ na esfera B. Sendo F_1 a força elétrica exercida por A sobre B, e F_2 a força elétrica exercida por B sobre A, pode-se afirmar que:

- (a) $F_1 = F_2$
 (b) $F_1 = 2F_2$
 (c) $F_2 = 2F_1$
 (d) $F_1 = 4F_2$
 (e) $F_2 = 4F_1$



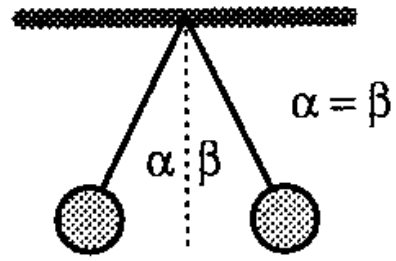
20. Duas cargas elétricas, X e Y, ambas carregadas com uma carga elétrica $+q$, estão separadas por uma distância e repelem-se com uma força elétrica de módulo igual a F .



Quando uma terceira carga elétrica, igual às outras duas ($+q$), é colocada no ponto P, localizado sobre a reta que as une, a uma distância $2r$ à direita da carga Y, conforme indica a figura, o módulo da força exercida sobre Y passa a ser:

- (a) $3F/2$
 (b) $5F/4$
 (c) $3F/4$
 (d) $F/2$
 (e) Zero
21. Para comparar duas cargas elétricas, q_1 e q_2 , coloca-se uma de cada vez à mesma distância de uma outra carga fixa e medem-se os módulos das forças elétricas, F_1 e F_2 , exercidas sobre q_1 e q_2 , respectivamente. Obtendo-se $F_1 = 4F_2$, qual a razão (q_1/q_2) entre as cargas?
- (a) $1/4$
 (b) $1/2$
 (c) 1
 (d) 2
 (e) 4

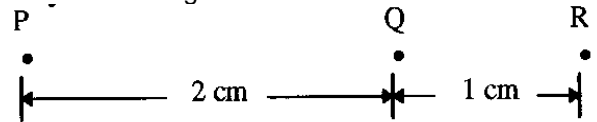
22. Duas esferas eletricamente carregadas, de mesmo diâmetro, suspensas por fios isolantes, mantêm-se em uma posição de equilíbrio conforme representa a figura. A respeito dessa situação são feitas as seguintes afirmações:



- I – As cargas são de mesmo sinal
 II – As massa das esferas são iguais.
 III – as forças elétricas exercidas sobre as esferas são iguais em módulo.
 Quais estão corretas?

- (a) I
 (b) II
 (c) I e III
 (d) II e III
 (e) I, II e III

23. Três objetos puntiformes com cargas elétricas iguais estão localizados como indica a figura.



O módulo da força elétrica exercida por R sobre Q é de $8 \cdot 10^{-5}$ N. Qual o módulo da força elétrica exercida por P sobre Q?

- (a) $2 \cdot 10^{-5}$ N
 (b) $4 \cdot 10^{-5}$ N
 (c) $8 \cdot 10^{-5}$ N
 (d) $16 \cdot 10^{-5}$ N
 (e) $64 \cdot 10^{-5}$ N
24. Quando uma distância entre duas cargas elétricas é dobrada, o módulo da força elétrica entre elas muda de F para:
- (a) $F/4$
 (b) $F/2$
 (c) $2F$
 (d) $4F$
 (e) $8F$

GABARITO

15. E
 16. A

- 17. D
- 18. C
- 19. A
- 20. C
- 21. E
- 22. E
- 23. A
- 24. A

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (\text{forma vetorial})$$

$$F = qE \quad (\text{forma modular})$$

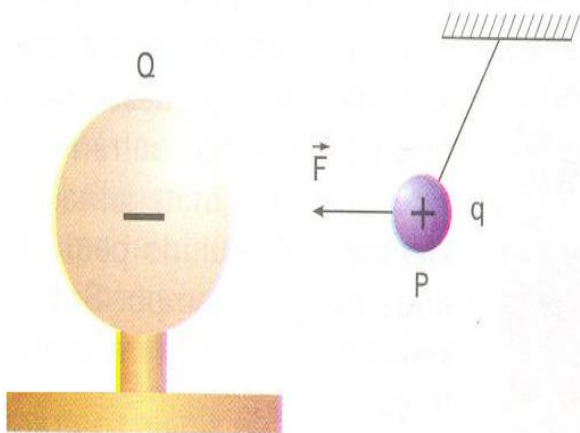
Onde E é a letra que usamos para representar o campo elétrico.

Da definição de produto de um número real por um vetor, podemos concluir que:

- se $q > 0$ (carga positiva), \vec{F} e \vec{E} têm o mesmo sentido;
- se $q < 0$ (carga negativa), \vec{F} e \vec{E} têm sentidos opostos;
- \vec{F} e \vec{E} têm sempre mesma direção.

CAMPO ELÉTRICO

Sabemos que um corpo próximo a Terra, sofre a ação de uma força gravitacional, sem necessariamente estar em contato com ela (força à distância). Uma carga elétrica puntiforme Q , ou uma distribuição de cargas, modifica, de alguma forma, a região que a envolve, de maneira análoga ao campo gravitacional gerado pela Terra, de modo que ao colocarmos uma carga puntiforme de prova q num ponto P dessa região, será constatada a existência de uma força \vec{F} , de origem elétrica, agindo em q .

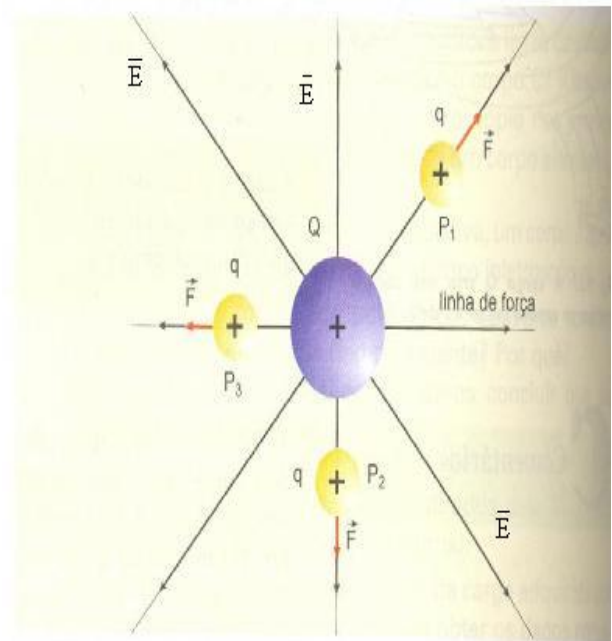


A existência da força elétrica \vec{F} na carga de prova q mostra que no ponto P existe um campo elétrico criado por Q .

Nesse caso, dizemos que a carga elétrica Q , ou a distribuição de cargas, origina ao seu redor um *campo elétrico*, o qual age sobre q .

O campo elétrico desempenha o papel de transmissor de interações entre cargas elétricas.

Essa força elétrica é proporcional ao valor do campo elétrico gerado pela carga Q no ponto P e ao valor da carga q . Assim, a força elétrica na carga q é dada por:



Observe que os vetores força e campo elétrico possuem o mesmo sentido, pois as cargas de prova q são positivas e sofrem uma força de repulsão da carga Q ; se caso fossem negativas, a força seria de atração e \vec{E} e \vec{F} teriam sentidos opostos.

Algumas pessoas, equivocadamente, costumam confundir o campo elétrico, criado pela

carga Q , com o espaço em torno dela (definem o campo como sendo "espaço em torno da carga"). Você deverá estar alerta para não cometer esse erro muito comum: a idéia correta é a de que o campo elétrico é uma manifestação (perturbação) criada pela carga elétrica no espaço existente em torno dela. O campo elétrico é um vetor e desempenha o papel de transmissor de interações entre cargas elétricas.

UNIDADE DE CAMPO ELÉTRICO

De $F = qE$, temos que $E = \frac{F}{q}$, logo o campo elétrico tem valor de:

$$E = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} = \frac{N}{C}$$

Ex: Num ponto de um campo elétrico, o vetor campo elétrico tem direção horizontal, sentido da direita para a esquerda e intensidade 105 N/C. Coloca-se neste ponto uma carga puntiforme de valor $-2\mu\text{C}$. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força que atua na carga.

Solução:

Intensidade: $F = qE$, logo: $F = 2 \cdot 10^{-6} \times 105 = 0,2\text{N}$

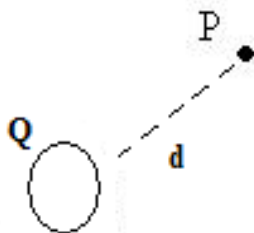
Direção: mesma de E (horizontal)

Sentido: da esquerda para a direita (oposto ao de E , pois $q < 0$).

CAMPO ELÉTRICO GERADO POR UMA CARGA PUNTIFORME

Quando um corpo eletrizado tem dimensões muito pequenas, costuma-se dizer que ele é uma carga puntiforme (carga elétrica concentrada praticamente em um ponto).

Queremos agora determinar qual é a intensidade do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme Q num ponto P situado a uma distância d qualquer.



Pela definição do campo elétrico:

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

Porém, pela lei de Coulomb:

$$F = \frac{k|Q||q|}{d^2} \quad (2)$$

Introduzindo o valor de F da equação (2) na equação (1), temos que:

$$E = \frac{k|Q|}{d^2}$$

Assim como a força elétrica, este campo é proporcional ao valor da carga Q que o gerou e inversamente proporcional ao quadrado da distância à esta carga geradora Q . Sua direção e sentido são dados pela representação das linhas de força, que será o próximo assunto a ser estudado.

O campo é independente do valor da carga de prova q que é posta ao seu redor; ele depende somente do valor de sua carga geradora Q . Somente a força elétrica que age na carga de prova é que depende do valor de q .

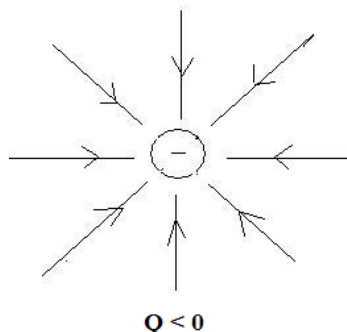
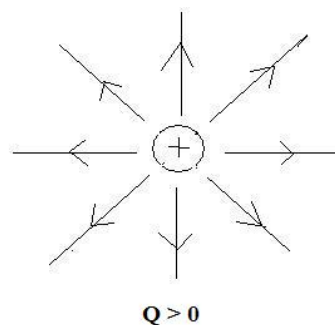
LINHAS DE FORÇA

A cada ponto de um campo elétrico associa-se um vetor \vec{E} . A representação gráfica de um campo elétrico consiste em usar *linhas de força* que, são linhas tangentes ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos. As linhas de força de um campo elétrico são linhas traçadas de tal modo que indicam a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre uma carga de prova positiva, colocada em qualquer ponto do campo. São orientadas no sentido do vetor campo elétrico, de modo que:

- As linhas de força sempre nascem nas cargas positivas (divergem);
- As linhas de força sempre morrem nas cargas negativas (convergem);

O desenho das linhas de força numa certa região nos dá a idéia de como varia, aproximadamente, a direção e o sentido do vetor campo elétrico na região.

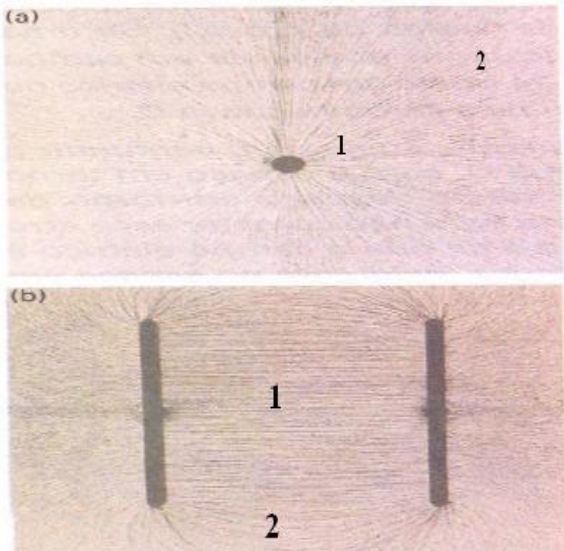
As linhas de força para uma carga puntiforme Q estão ilustradas a seguir:



É possível "materializar" as linhas de força de um campo elétrico, distribuindo pequenas limalhas de ferro na região onde existe o campo. Sob a ação das forças elétricas, essas limalhas

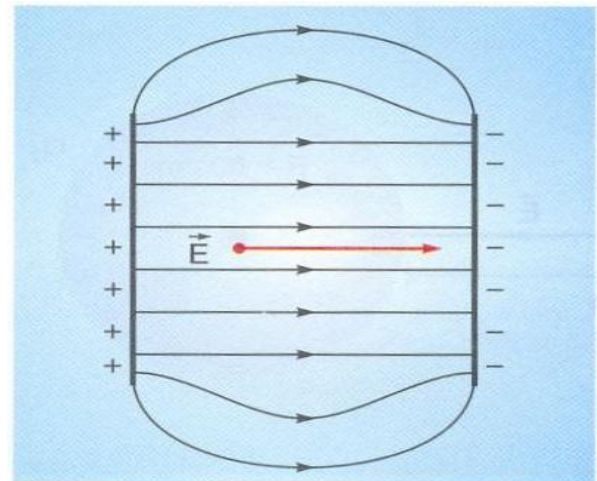
se orientam praticamente ao longo das linhas de força, permitindo uma visualização dessas linhas.

Onde as linhas estiverem mais próximas umas das outras, mais intenso é o campo neste ponto.



Visualização das linhas de forças utilizando limalhas de ferro (a) campo gerado por uma carga puntiforme; (b) campo gerado por duas placas planas paralelas.

Veja que o campo é mais intenso em 1 que em 2, pois as linhas de força neste ponto são mais próximas.

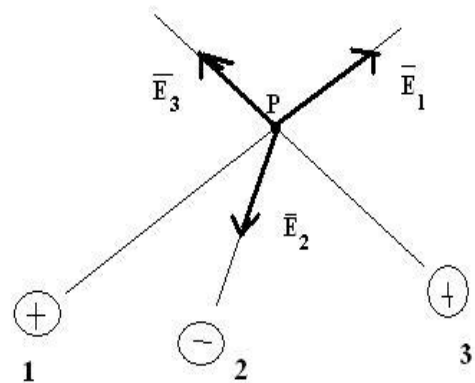


O campo elétrico estabelecido entre duas placas paralelas, eletrizadas uniformemente com cargas iguais e de sinais contrários, é praticamente uniforme.

CAMPO ELÉTRICO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES FIXAS

Assim como a força elétrica, o campo elétrico também obedece ao princípio da superposição. O vetor campo elétrico \vec{E} resultante em um ponto P, devido a várias cargas Q_1, Q_2, \dots, Q_n , é a soma vetorial dos vetores campo $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$, onde cada vetor parcial é determinado como se a respectiva carga estivesse sozinha.

Por exemplo, na figura abaixo, o vetor campo elétrico resultante no ponto P, seria a soma vetorial dos vetores campo elétrico das cargas 1, 2 e 3.



CAMPO ELÉTRICO ENTRE DUAS PLACAS CONDUTORAS PLANAS E PARALELAS

A figura abaixo mostra como se comportam as linhas de força na região entre duas placas planas e paralelas, carregadas com cargas de mesmo valor e sinais opostos.

Como as linhas de força nas regiões entre as duas placas apresentam o mesmo

espaçamento entre si, nota-se que o campo entre elas é uniforme, ou seja, apresenta o mesmo valor em qualquer ponto deste espaço. Como consequência, uma carga que seja abandonada nesta região será acelerada por uma força elétrica de intensidade também constante, pois, nesse caso, o valor da força elétrica não varia com a distância da carga à placa.

Ex: Calcule a aceleração sofrida por uma carga de prova q abandonada numa região onde existe um campo elétrico uniforme estabelecido por duas placas planas e paralelas.

Solução: sabemos que $F = qE$;
mas pela 2ª lei de Newton:
 $F = ma$
portanto, temos que:
 $qE = ma \Rightarrow a = \frac{qE}{m}$

EXERCÍCIOS

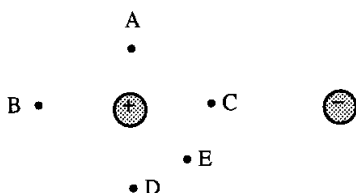
25. O módulo da força de atração elétrica entre as cargas $+q$ e $-Q$ de um dipolo elétrico é igual a F . Qual a intensidade do campo elétrico no ponto equidistante das duas cargas e localizado sobre a reta que as une?

- (a) $F/4q$
- (b) $F/2q$
- (c) F/q
- (d) $4F/q$
- (e) $8F/q$

26. O produto de carga elétrica por intensidade de campo elétrico é expresso em unidades de:

- (a) Energia
- (b) Potência
- (c) Diferença de potencial elétrico.
- (d) Corrente elétrica
- (e) Força

27. A figura representa os pontos A, B, C, D e E duas cargas elétricas iguais e de sinais opostos, todos contidos no plano da página. Em qual dos pontos indicados na figura o campo elétrico é mais intenso?



- (a) A
- (b) B
- (c) C
- (d) D
- (e) E

28. O módulo do campo elétrico produzido em um ponto p por uma carga elétrica puntiforme é igual a E . Dobrando-se a distância entre a carga e o ponto P , por meio do afastamento da carga, o módulo do campo elétrico nesse ponto muda para:

- (a) $E/4$
- (b) $E/2$
- (c) $2E$
- (d) $4E$
- (e) $8E$

29. Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as lacunas nas três situações abaixo, respectivamente.

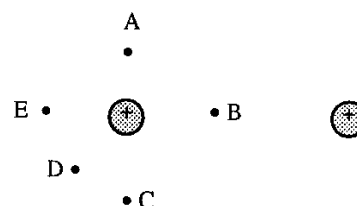
I – Um bastão de vidro carregado com cargas elétricas positivas repele um objeto suspenso. Conclui-se que o objeto está carregado.....

II – À medida que duas cargas elétricas puntiformes negativas são aproximadas uma da outra, a força elétrica entre elas

III – Duas cargas elétricas puntiformes estão separadas de uma certa distância. A intensidade do campo elétrico se anula em um ponto do segmento de reta que une as duas cargas. Conclui-se que as cargas são de

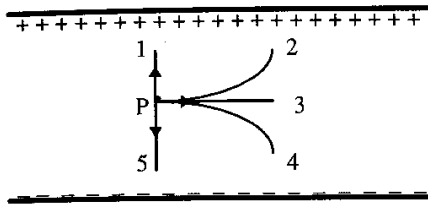
- (a) negativamente – diminui – sinal contrário
- (b) positivamente – aumenta – sinal contrário
- (c) negativamente – aumenta – sinal contrário
- (d) positivamente – aumenta – mesmo sinal
- (e) negativamente – diminui – mesmo sinal

30. A figura representa duas cargas elétricas positivas iguais e diversos pontos. As cargas e os pontos estão localizados no plano da página. Em qual dos pontos indicados na figura o campo elétrico é menos intenso?



- (a) A
- (b) B
- (c) C
- (d) D
- (e) E

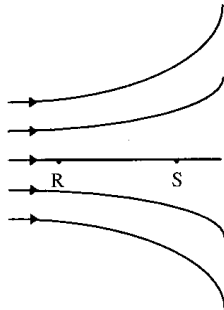
31. A figura representa duas placas paralelas, muito grandes, carregadas com cargas elétricas de sinais contrários, que produzem um campo elétrico uniforme na região entre elas.



Um elétron no ponto P move-se, a partir do repouso, segundo a trajetória

- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 5

32. Selecione a alternativa que apresenta os termos que preenchem corretamente as duas lacunas, respectivamente, no seguinte texto.



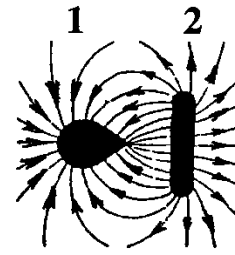
A figura representa as linhas de forças de um campo elétrico na região próxima do ponto R é..... do que na região próxima do ponto S, e que um elétron abandonado em repouso entre R e S, desloca-se no sentido de.....

- (a) menor – R
- (b) menor – S
- (c) a mesma – S
- (d) maior – R
- (e) maior – S

33. Um elétron sujeito a um campo elétrico uniforme sofre uma aceleração de módulo a . Qual seria o módulo da aceleração do elétron se fosse duplicada a intensidade do campo elétrico?

- (a) $a/4$
- (b) $a/2$
- (c) a
- (d) $2a$
- (e) $4a$

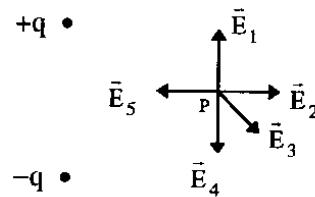
34. As linhas de força da figura representam o campo elétrico existente em torno dos corpos 1 e 2.



Relativamente a seu estado de eletrização, pode-se concluir que os corpos 1 e 2 se apresentam, respectivamente,

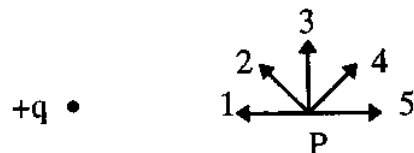
- (a) com cargas positiva e negativa
- (b) com cargas negativa e positiva
- (c) com cargas positiva e positiva
- (d) com cargas negativa e descarregado
- (e) descarregado e com carga positiva

35. A figura representa duas cargas puntiformes, uma positiva ($+q$) e outra negativa ($-q$), próximas uma da outra, que constituem um dipolo elétrico. Qual o vetor que melhor indica o sentido do campo elétrico no ponto P?



- (A) \vec{E}_1
- (B) \vec{E}_2
- (C) \vec{E}_3
- (D) \vec{E}_4
- (E) \vec{E}_5

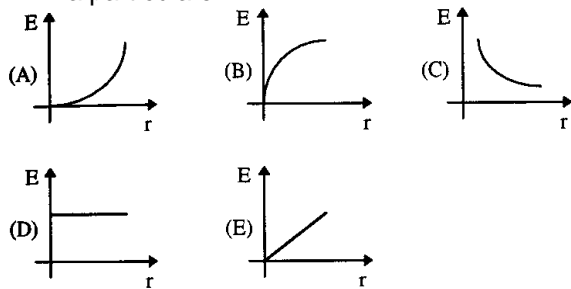
36. Uma carga puntiforme positiva $+q$ cria, em um campo elétrico cujo sentido é melhor representado pela seta



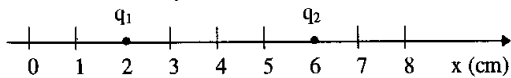
- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 5

37. O gráfico que melhor representa a intensidade E do campo elétrico criado

por uma partícula eletricamente carregada em função da distância r e até a partícula é

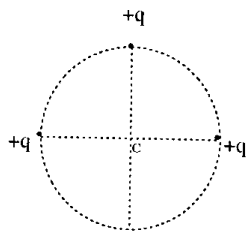


38. Na figura, q_1 e q_2 representam duas cargas elétricas puntiformes de mesmo sinal, situadas nos pontos $x=2\text{ cm}$ e $x=6\text{ cm}$, respectivamente.



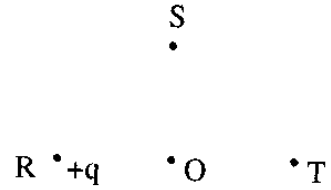
Para que o campo elétrico resultante produzido por essas duas cargas seja nulo no ponto $x=3\text{ cm}$, qual deve ser a relação entre as cargas?

- (a) $q_1 = q_2$
 (b) $q_1 = 3q_2$
 (c) $q_1 = 4q_2$
 (d) $q_1 = q_2/3$
 (e) $q_1 = q_2/9$
39. Três cargas elétricas iguais ($+q$) estão localizadas em diferentes pontos de uma circunferência, conforme representado na figura. Sendo E o módulo do campo elétrico produzido por cada carga no centro C da circunferência, qual a intensidade do campo elétrico resultante produzido pelas três cargas em C ?



- (a) nulo
 (b) E
 (c) $\sqrt{2}E$
 (d) $2E$
 (e) $3E$
40. Todos os pontos da figura encontram-se no plano da página e R , S e T estão à mesma distância do ponto O . Uma carga elétrica positiva $+q$ localizada no ponto R produz um campo elétrico de módulo E no ponto O . Quer-se colocar uma segunda carga ou em S ou em T de tal forma que ambas produzam um campo

elétrico resultante de módulo $2E$ no ponto O . Identifique e localize a segunda carga.



- (a) Carga $+q$ no ponto S .
 (b) Carga $+q$ no ponto T .
 (c) Carga $+2q$ no ponto S .
 (d) Carga $+2q$ no ponto T .
 (e) Carga $+3q$ no ponto T .

GABARITO

25. E
 26. E
 27. C
 28. A
 29. D
 30. B
 31. A
 32. D
 33. D
 34. B
 35. D
 36. E
 37. C
 38. E
 39. B
 40. E

TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA

Vamos supor que uma carga elétrica q seja colocada numa região de campo elétrico uniforme entre duas placas planas e paralelas, de intensidade E . Ela será acelerada por uma força de atração ou repulsão, e com isso efetuará trabalho de certo ponto ao outro (pois efetuará um deslocamento). Suponha que a carga sofra um deslocamento “ d ” de um ponto A até um ponto B, ao longo de uma linha de força (ou seja, numa direção retilínea). Da definição de trabalho de uma força constante e paralela ao deslocamento, temos:

$$T = Fd$$

Lembrando que: $F = qE$, concluímos que o trabalho realizado pela força elétrica no deslocamento da carga do ponto A ao ponto B é:

$$T = qEd$$

DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO

Agora, voltemos ao exemplo da carga q colocada sobre um campo uniforme. Se outra carga, q_2 por exemplo, fosse posta em seu local e sofresse o mesmo deslocamento, de acordo com a definição de trabalho, o trabalho efetuado por ela seria $T_2 = q_2Ed$, e iria diferir em relação ao trabalho da primeira carga somente em função do valor de q_2 , pois os valores de E e d permanecem inalterados.

A esse valor $\frac{T}{q}$, onde no caso de um campo elétrico uniforme é constante e igual a Ed , damos o nome de *diferença de potencial elétrico* entre os pontos A e B, ou abreviadamente *ddp*, ou usualmente conhecida como *voltagem*. O potencial no ponto A é denotado por V_a e o potencial em B é denotado por V_b . Logo:

$$V_a - V_b = \frac{T}{q}$$

Indicando por U a diferença de potencial elétrico $V_a - V_b$:

$$U = V_a - V_b$$

Temos que:

$$T = qU$$

$$T = q(V_a - V_b)$$

UNIDADE DE DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO

Da equação $V_a - V_b = \frac{T}{q}$, temos que:

Unidade de ddp =

$$1 \frac{\text{Joule}}{\text{coulomb}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1 \text{volt} = 1\text{V}$$

Para o cálculo do potencial elétrico em um ponto, é preciso atribuir um valor arbitrário (por exemplo, zero), ao potencial elétrico de outro ponto. Assim, por exemplo, se a ddp entre dois pontos A e B de um campo elétrico é 50V ($V_a - V_b = 50\text{V}$), convencionando-se $V_b = 0$, teremos $V_a = 50\text{V}$. Porém, se convencionarmos $V_a = 0$, o valor em b será $V_b = -50\text{V}$.

O ponto cujo potencial elétrico é convencionado nulo constitui o ponto de referência para a medida de potenciais.

POTENCIAL ELÉTRICO NO CAMPO DE UMA CARGA PUNTIFORME

O potencial elétrico num ponto ao redor de uma carga puntiforme é dado por:

$$V = k \frac{Q}{d}$$

Onde d é a distância deste ponto à carga Q , e k é a constante eletrostática do vácuo.

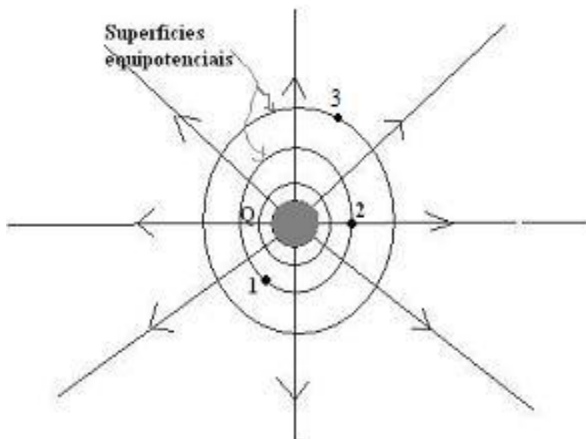
O ponto de referência, ou seja, onde o potencial é nulo, é adotado num ponto infinitamente afastado de Q , ou seja:

$$d \rightarrow \infty \quad V = k \frac{Q}{d} \rightarrow 0$$

Importante:

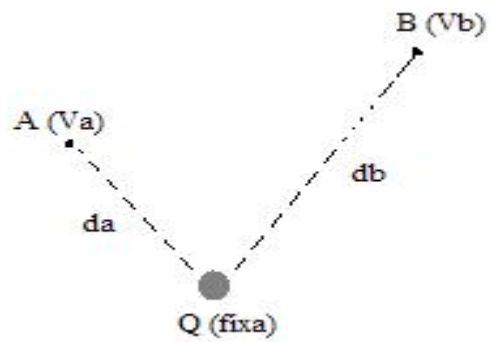
Observe que V não é um vetor, logo, não podemos colocar na fórmula do potencial o valor de Q em módulo (assim como fizemos no cálculo da intensidade da força e do campo elétrico), pois é importante saber se o potencial é positivo ($Q > 0$) ou negativo ($Q < 0$).

Superfícies equipotenciais são superfícies onde o potencial elétrico é o mesmo em cada ponto localizado sobre ela. No caso de uma carga puntiforme, o potencial é o mesmo em pontos situados numa mesma superfície esférica, cuja distância é igual ao raio desta esfera.



O potencial é o mesmo nos pontos 1 e 2, mas difere do valor no ponto 3.

Considere agora o campo elétrico originado por uma carga elétrica puntiforme Q , fixa e no vácuo. A e B são dois pontos desse campo, distantes respectivamente d_a e d_b da carga Q fixa.



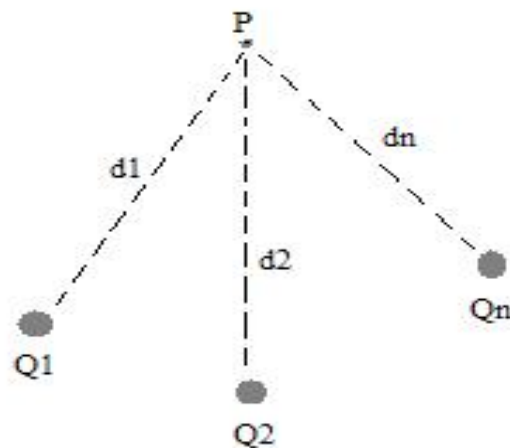
A diferença de potencial entre A e B vale:

$$V_a - V_b = k \frac{Q}{d_a} - k \frac{Q}{d_b}$$

Onde simplesmente subtraímos o potencial do ponto A pelo do ponto B.

POTENCIAL ELÉTRICO NO CAMPO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES

Imaginemos agora que tenhamos várias cargas e queiramos calcular o potencial elétrico num ponto P qualquer.



O potencial elétrico num ponto P do campo é a soma algébrica de todos os potenciais em P, produzidos separadamente pelas cargas Q_1, Q_2, \dots, Q_n . Adotando o ponto de referência no infinito, temos:

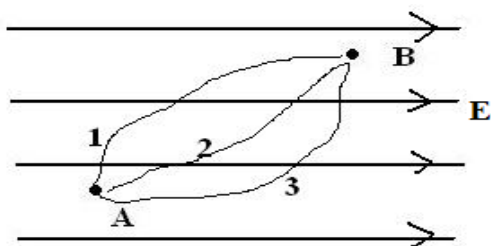
$$V_P = \frac{kQ_1}{d_1} + \frac{kQ_2}{d_2} + \dots + \frac{kQ_n}{d_n}$$

Obs: Deve se atentar ao sinal, pois caso alguma carga seja negativa, seu potencial também será, e, portanto, é preciso colocar o sinal (-) na frente deste respectivo potencial.

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Um campo de forças cujo trabalho entre dois pontos não depende da forma da trajetória é um *campo conservativo*. As forças desses campos são chamadas *forças conservativas*. É o caso da força gravitacional, da força elástica e da força elétrica.

Quando uma carga elétrica q se desloca num campo elétrico qualquer de um ponto A para um ponto B, o trabalho da força elétrica resultante que age em q , não depende da forma da trajetória, que liga A com B, depende somente dos pontos de partida (A) e de chegada(B).



O trabalho efetuado pela carga é o mesmo nos caminhos 1, 2 e 3

Essa conclusão, embora demonstrada na figura acima para o caso particular do campo elétrico uniforme, é válida para um campo elétrico qualquer.

Aos campos de forças conservativas, associa-se o conceito de *energia potencial*. Assim como associamos uma energia potencial a um campo gravitacional (energia potencial gravitacional), podemos associar ao campo elétrico uma energia potencial (a energia potencial elétrica).

Num sistema de cargas onde haja conservação de energia (que serão os casos analisados), o trabalho realizado na carga é igual à variação da energia potencial elétrica sofrida por essa carga entre o ponto de partida (A) e chegada (B):

$$T = E_{P_A} - E_{P_B}$$

Onde: E_{P_A} é a energia potencial elétrica no ponto A

E_{P_B} é a energia potencial elétrica no ponto B

Lembrando que $T = q(V_a - V_b)$,

igualando T a equação anterior, teremos que:

$$E_{P_A} - E_{P_B} = q(V_a - V_b)$$

$$E_{P_A} = qV_a$$

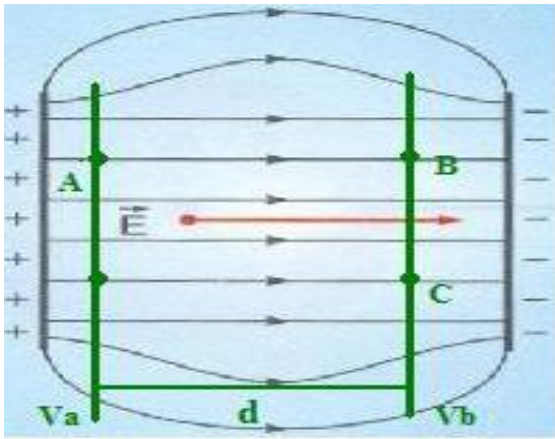
$$E_{P_B} = qV_b$$

Portanto, a energia potencial elétrica num ponto P qualquer é dada por:

$$E_p = qV_p$$

DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE DOIS PONTOS DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Considere dois pontos A e B de um campo elétrico uniforme e intensidade E . Sejam V_a e V_b os potenciais elétricos de A e B, respectivamente, e seja d a distância entre as superfícies equipotenciais que passam por A e B.



Vimos que quando uma carga puntiforme é deslocada de A para B, a força elétrica realiza trabalho $T = qEd$.

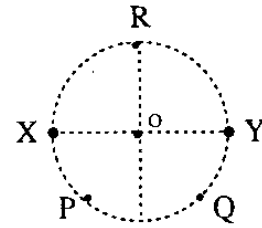
De $U = V_a - V_b = \frac{T}{q}$, resulta:

$$U = V_a - V_b = Ed$$

Na figura acima, observe que a ddp entre os pontos A e C ($V_a - V_c$) é igual à ddp entre A e B ($V_a - V_b$), pois B e C pertencem à mesma superfície equipotencial ($V_b = V_c$).

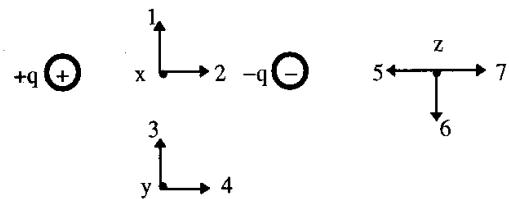
EXERCÍCIOS

41. O produto de uma carga elétrica por uma diferença de potencial é expresso em unidades de:
- Energia
 - Força
 - Potência
 - Intensidade de campo elétrico
 - Corrente elétrica
42. Duas cargas elétricas puntiformes, de mesma intensidade e sinais contrários, estão situadas nos pontos X e Y representados na figura. Entre que pontos, indicados na figura, a diferença de potencial gerada pelas cargas é nula?



- O e R
- X e R
- X e Y
- P e Q
- O e Y

43. Na figura estão representadas duas cargas elétricas e de sinais opostos, $+q$ e $-q$.



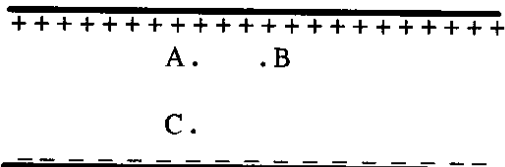
Nos pontos x, y e z a direção e o sentido dos campos elétricos estão melhor representados, respectivamente, pelos vetores

- 1, 3 e 7
 - 1, 4 e 6
 - 2, 3 e 5
 - 2, 3 e 6
 - 2, 4 e 5
44. A diferença de potencial entre duas grandes placas paralelas separadas de 0,001 m é de 10 V. Qual a intensidade do campo elétrico entre as placas?
- 0,1 V/m
 - 1 V/m
 - 10 V/m
 - 100 V/m
 - 10000 V/m
45. A diferença de potencial entre duas grandes placas paralelas, separadas de 0,005 m, é de 50 V. Qual a intensidade do campo elétrico entre as placas, na região central das mesmas, em unidades do Sistema Internacional de Unidades?
- 10^{-4}
 - 0,25
 - 10
 - 25
 - 10^4

46. O campo elétrico criado por duas distribuições uniformes de carga, próximas e de sinal contrário, é uniforme, na região entre elas, se as cargas se encontram distribuídas sobre

- (a) duas pequenas esferas adjacentes.
- (b) duas pequenas esferas concêntricas.
- (c) Uma pequena esfera e uma placa adjacente
- (d) Duas grandes placas paralelas
- (e) Dois pequenos cilindros concêntricos

47. A figura representa duas placas paralelas, de dimensões muito maiores do que o espaçamento entre elas, uniformemente carregadas com cargas elétricas de sinais contrários.



Nessas condições, a diferença de potencial é nula entre os pontos, e o vetor campo elétrico tem direção

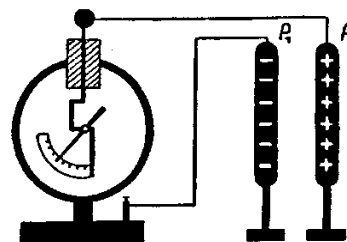
- (a) A e B – AC
- (b) A e C – AC
- (c) A e C – AB
- (d) A e B – perpendicular à página.
- (e) A e B – perpendicular à página.

48. Selecione a alternativa que apresenta as preenchem corretamente as duas lacunas, respectivamente, no texto abaixo.

Duas grandes placas paralelas muito próximas (apoiadas em isolantes elétricas) estão eletricamente carregadas, uma com cargas positivas e a outra com cargas negativas. Quando as placas são moderadamente afastadas uma da outra, verifica-se que, entre elas, a diferença de potencial e a intensidade do campo elétrico na região central as mesmas placas

- (a) diminui – diminui
- (b) diminui – aumenta
- (c) aumenta – aumenta
- (d) diminui – permanece constante
- (e) aumenta – permanece constante

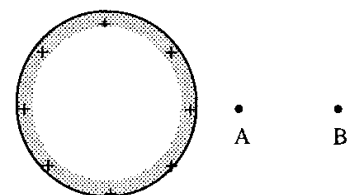
49. A figura representa duas placas paralelas P_1 e P_2 de um capacitor, ligadas a um dispositivo que permite avaliar variação de diferença de potencial.



Quando as placas são aproximadas uma da outra, a diferença de potencial e a intensidade do campo elétrico na região central entre elas, respectivamente,

- (a) aumenta e permanece constante.
- (b) aumenta e diminui
- (c) aumenta e aumenta
- (d) diminui e diminui
- (e) diminui e permanece

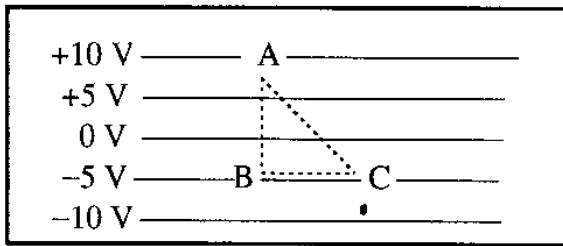
50. A figura uma superfície esférica condutora carregada positivamente e dois pontos A e B, ambos no plano da página.



Nessa situação, pode-se afirmar que

- (a) o potencial em B é maior do que em A.
- (b) um elétron em A tem maior energia potencial elétrica do que em B.
- (c) o campo elétrica no ponto A é mais intenso do que no ponto B.
- (d) o potencial em A é igual ao potencial B.
- (e) o trabalho realizado para deslocar um elétron de A para B com velocidade constante é nulo.

51. A figura representa linhas equipotenciais de um campo elétrico uniforme. Uma carga elétrica puntiforme positiva de $2,0 \text{ nC}$ é movimentada com velocidade constante sobre cada um dos trajetos de A até B, de B até C de A até C.



Nessas condições, o trabalho necessário para movimentar a carga

- (a) de A até B é nulo.
- (b) de B até C é nulo.
- (c) de A até C é igual ao de B até C.
- (d) de A até B é igual ao de B até C.
- (e) de A até B é maior do que de A até C.

GABARITO

- 41. A
- 42. A
- 43. E
- 44. E
- 45. E
- 46. D
- 47. A
- 48. E
- 49. E
- 50. C
- 51. B

