

## MÓDULO 3



ELECTROSTÁTICA, CORRENTE ELÉCTRICA

E ELECTROMAGNETISMO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO - INDE

# Conteúdos

<b>Acerca deste Módulo</b>	<b>1</b>
<b>Lição 1</b>	<b>5</b>
<b>Lição 2</b>	<b>12</b>
<b>Lição 3</b>	<b>20</b>
<b>Lição 4</b>	<b>30</b>
<b>Lição 5</b>	<b>38</b>
<b>Lição 6</b>	<b>45</b>
<b>Lição 7</b>	<b>52</b>
<b>Lição 8</b>	<b>58</b>
<b>Lição 9</b>	<b>64</b>
<b>Lição 10</b>	<b>69</b>
<b>Lição 11</b>	<b>75</b>
<b>Lição 12</b>	<b>80</b>
<b>Teste de preparação</b>	<b>87</b>
<b>Chaves de Correção das Actividades de Avaliação</b>	<b>89</b>





## Acerca deste Módulo

FÍSICA

---

### Como está estruturado este Módulo

#### A visão geral do curso

Este curso está dividido por módulos autoinstrucionais, ou seja, que vão ser o seu professor em casa, no trabalho, na machamba, enfim, onde quer que você deseja estudar.

Este curso é apropriado para você que já concluiu a 7ª classe mas vive longe de uma escola onde possa frequentar a 8ª, 9ª e 10ª classes, ou está a trabalhar e à noite não tem uma escola próxima onde possa continuar os seus estudos, ou simplesmente gosta de ser auto didacta e é bom estudar a distância.

Neste curso a distância não fazemos a distinção entre a 8ª, 9ª e 10ª classes. Por isso, logo que terminar os módulos da disciplina estará preparado para realizar o exame nacional da 10ª classe.

O tempo para concluir os módulos vai depender do seu empenho no auto estudo, por isso esperamos que consiga concluir com todos os módulos o mais rápido possível, pois temos a certeza de que não vai necessitar de um ano inteiro para concluí-los.

Ao longo do seu estudo vai encontrar as actividades que resolvemos em conjunto consigo e seguidamente encontrará a avaliação que serve para ver se percebeu bem a matéria que acaba de aprender. Porém, para saber se resolveu ou respondeu correctamente às questões colocadas, temos as resposta no final do seu módulo para que possa avaliar o seu despenho. Mas se após comparar as suas respostas com as que encontrar no final do módulo, tem sempre a possibilidade de consultar o seu tutor no Centro de Apoio e Aprendizagem – CAA e discutir com ele as suas dúvidas.

No Centro de Apoio e Aprendizagem, também poderá contar com a discussão das suas dúvidas com outros colegas de estudo que possam ter as mesmas dúvidas que as suas ou mesmo dúvidas bem diferentes que não tenha achado durante o seu estudo mas que também ainda tem.

#### Conteúdo do Módulo



Cada Módulo está subdividido em Lições. Cada Lição inclui:

- Título da lição.
- Uma introdução aos conteúdos da lição.
- Objectivos da lição.
- Conteúdo principal da lição com uma variedade de actividades de aprendizagem.
- Resumo da unidade.
- Actividades cujo objectivo é a resolução conjunta consigo estimado aluno, para que veja como deve aplicar os conhecimentos que acaba de adquirir.
- Avaliações cujo objectivo é de avaliar o seu progresso durante o estudo.
- Teste de preparação de Final de Módulo. Esta avaliação serve para você se preparar para realizar o Teste de Final de Módulo no CAA.

---

## Habilidades de aprendizagem



Estudar à distância é muito diferente de ir a escola pois quando vamos a escola temos uma hora certa para assistir as aulas ou seja para estudar. Mas no ensino a distância, nós é que devemos planejar o nosso tempo de estudo porque o nosso professor é este módulo e ele está sempre muito bem disposto para nos ensinar a qualquer momento. Lembre-se sempre que “*o livro é o melhor amigo do homem*”. Por isso, sempre que achar que a matéria esta a ser difícil de perceber, não desanime, tente parar um pouco, reflectir melhor ou mesmo procurar a ajuda de um tutor ou colega de estudo, que vai ver que irá superar toas as suas dificuldades.

Para estudar a distância é muito importante que planeie o seu tempo de estudo de acordo com a sua ocupação diária e o meio ambiente em que vive.

---

## Necessita de ajuda?



Ajuda

Sempre que tiver dificuldades que mesmo após discutir com colegas ou amigos achar que não está muito claro, não tenha receio de procurar o seu tutor no CAA, que ele vai lhe ajudar a supera-las. No CAA também vai dispor de outros meios como livros, gramáticas, mapas, etc., que lhe vão auxiliar no seu estudo.



# Lição 1

---

## Lei de Coulomb

### Introdução

Os estudos a respeito da electricidade estática, criadora dos campos eléctricos, remontam a Tales de Mileto. O filósofo e estudioso da natureza descreveu o fenómeno que consiste em uma barra de âmbar (seiva petrificada) que atrai pequenos objectos depois de esfregada com uma pele de coelho. No quotidiano, é o mesmo que esfregar uma caneta de plástico (material isolante) contra um pano ou o próprio cabelo. Em ambas as situações, o objecto fica electricamente carregado.

Nesta lição vamos dar início ao estudo dos fenómenos eléctrico através do estudo do enunciado de mais uma importante lei da Física e aplicá-la na resolução de exercícios concretos. Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

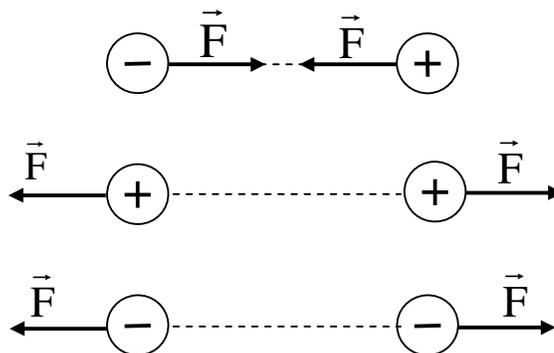
- *Aplicar* a Lei de Coulomb na resolução de exercícios concretos.
- *Determinar* graficamente e analiticamente a resultante das interacções eléctricas de um sistema de cargas pontuais.

### A Lei de coulomb

A **Lei de Coulomb** foi descoberta pelo físico francês Charles Augustin de Coulomb. Esta lei estabelece que o módulo da força entre duas cargas eléctricas pontuais ( $q_1$  e  $q_2$ ) é directamente proporcional ao produto dos valores absolutos (módulos) das duas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância  $r$  entre elas. Esta força pode ser atractiva ou repulsiva dependendo do sinal das cargas. É atractiva se as cargas tiverem sinais opostos. É repulsiva se as cargas tiverem o mesmo sinal.

Isto significa que:

- se o produto das cargas aumenta duas, três ou mais vezes, a força de interacção entre as cargas também aumenta duas, três, ou mais vezes.
- Se a distância que separa as cargas aumenta duas, três vezes, a força de interacção entre as cargas diminui quatro, nove vezes.



A figura representa a direcção e o sentido das forças que actuam sobre as cargas quando há atracção (cargas de sinais opostos) quando há repulsão (cargas do mesmo sinal).

Após detalhadas medidas Coulomb concluiu que esta força é completamente descrita pela seguinte expressão:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

onde as letras representam as seguintes grandezas :

F - força eléctrica (em N)

k - constante de Coulomb ( $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ )

$q_1$  e  $q_2$  - cargas eléctricas (C)

r - distância entre cargas (m)

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da unidade



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A Lei de Coulomb estabelece que o módulo da força entre duas cargas eléctricas pontuais ( $q_1$  e  $q_2$ ) é directamente proporcional ao produto dos valores absolutos (módulos) das duas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância  $r$  entre elas.
- A força de interacção entre duas cargas eléctricas é completamente descrita pela expressão:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; poasse à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

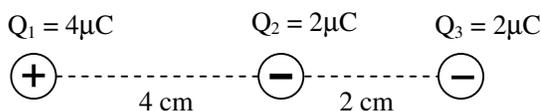


### Actividades

Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

1. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.
  - a) Represente as forças que actuam sobre a carga  $Q_2$ .
  - b) Calcule a resultante das forças que actuam sobre a carga  $Q_2$ .



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

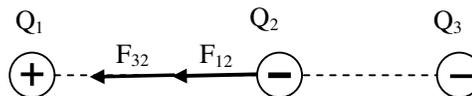
### Chave de Correcção

- a) Para representar as forças que actuam sobre a carga devemos ter em conta que cargas do mesmo sinal repelem-se e de sinais contrários atraem-se.

Neste caso:

- Entre  $Q_1$  e  $Q_2$  a força “ $F_{12}$ ” é atractiva porque têm sinais contrários.
- Entre  $Q_3$  e  $Q_2$  a força “ $F_{32}$ ” é repulsiva porque têm o mesmo sinal.

Assim,



- b) Para calcular a resultante das forças que actuam sobre a carga  $Q_2$  é necessário determinar a resultante entre as forças  $F_{12}$  e  $F_{32}$ . Ma neste caso com são forças com a mesma direcção e sentido, a sua resultante é igual a soma dos seus módulos (ou valores) Por isso,



$$F_R = F_{12} + F_{32}$$

No entanto, os valores das forças podem ser calculados através da expressão que traduz a Lei de Coulomb. Deste modo:

Cálculo de  $F_{12}$

$$F_{12} = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

- Neste caso:  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $r = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ;
- Já sabe que  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

Por isso,

$$F_{12} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow F_{12} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-12}}{16 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow F_{12} = \frac{72 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{12} = 45 \text{ N}$$

Cálculo de  $F_{32}$

$$F_{32} = k \frac{Q_3 \cdot Q_2}{r^2}$$

- Neste caso:  $Q_3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $r = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ;
- Já sabe que  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

Por isso,

$$F_{32} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow F_{32} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow F_{32} = \frac{36 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{32} = 90 \text{ N}$$

Como vê:  $F_{12} = 45 \text{ N}$  e  $F_{32} = 90 \text{ N}$ . Assim,

$$F_R = 45 + 90 \Rightarrow F_R = 135 \text{ N}$$

**Resposta:** A resultante das forças que actuam sobre a carga “ $Q_2$ ” é de

135 N.

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

**Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.**

#### Mãos à obra!

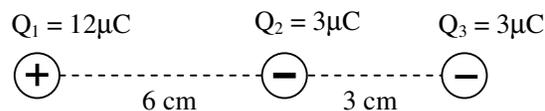
1. Assinale com “**V**” as afirmações verdadeiras e com “**F**” as falsas.

Num sistema de duas cargas eléctricas a força de interacção entre elas:

- a) Duplica se duplicarmos o valor de uma delas.
- b) Aumenta 6 vezes se duplicarmos uma delas e triplicarmos a outra.
- c) Triplica se a distância entre elas triplicar.
- d) Diminui 16 vezes se a distância entre elas quadruplicar.
- e) Mantém-se constante se duplicarmos uma delas e também duplicarmos a distância que as separa.

2. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.

- a) Represente as forças que actuam sobre a carga  $Q_2$ .
- b) Calcule a resultante das forças que actuam sobre a mesma carga  $Q_2$ .



**Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.**

**Sucessos!**

## Lição 2

---

### Campo Eléctrico

#### Introdução

Deve-se a Michael Faraday a introdução da noção de campo eléctrico. O campo eléctrico é uma grandeza vectorial, portanto é representado por um vector.

Nesta lição vamos aprender a calcular o campo originado por cargas eléctricas.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Determinar* graficamente e analiticamente o campo eléctrico originado por um sistema de cargas eléctricas pontuais.
- *Determinar* graficamente e analiticamente a intensidade do campo eléctrico resultante de um sistema de cargas pontuais.



#### Objectivos

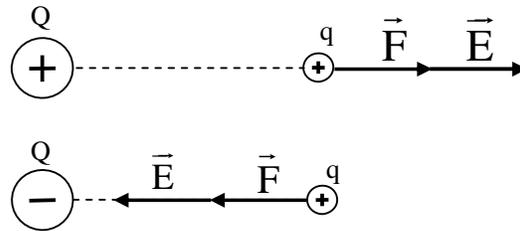
#### Campo Eléctrico

Um campo eléctrico é o espaço onde se fazem sentir as acções da força eléctrica provocado por cargas eléctricas, (electrões, protões ou iões) ou por um sistema de cargas.

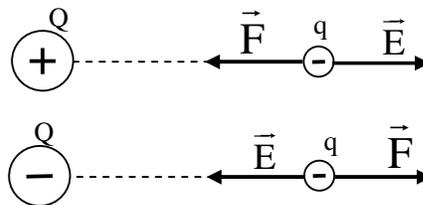
O campo eléctrico é caracterizado pelo vector da intensidade do campo eléctrico.

Para determinarmos a presença de um campo eléctrico, colocamos uma carga de prova no meio. Se esta ficar sujeita a uma força, dizemos que a região em que a carga se encontra, está sujeita a um

campo eléctrico. O vector do campo eléctrico tem sempre a mesma direcção da força a que a carga está sujeita, e o sentido é o mesmo da força, se a carga de prova estiver carregada positivamente ( $q > 0$ ), ou contrária à força, se a carga for negativa ( $q < 0$ ).



(a)



(b)

Como pode ver, em (a), a carga de prova é positiva. Por isso, a força eléctrica “F” e a intensidade do campo eléctrico “E” têm o mesmo sentido. No entanto em (b), como a carga de prova é negativa, a força eléctrica “F” e a intensidade do campo eléctrico “E” têm sentidos contrários.

O módulo da intensidade do campo eléctrico é calculado pela expressão:

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

Já sabemos que a força eléctrica entre duas cargas eléctricas “Q” e “q” pode ser determinada pela expressão:

$$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

Mas já sabemos que a intensidade do campo pode ser determinada pela expressão:  $E = \frac{F}{q}$

Assim podemos substituir “F” e obtemos:

$$E = \frac{k \frac{Q \cdot q}{r^2}}{q} \Rightarrow E = \frac{k \cdot Q \cdot q}{q \cdot r^2} \Rightarrow E = k \frac{Q}{r^2}$$

Como pode ver, a intensidade do campo eléctrico de uma carga pontual pode ser calculada pela expressão:

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

---

## Resumo da unidade



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Um campo eléctrico é o espaço onde se fazem sentir as acções da força eléctrica provocado por cargas eléctricas.
- O campo eléctrico é caracterizado pelo vector da intensidade do campo eléctrico.
- O vector do campo eléctrico tem sempre a mesma direcção da força a que a carga está sujeita, e o sentido é o mesmo da força, se a carga de prova estiver carregada positivamente ( $q > 0$ ), ou contrário à força, se a carga for negativa ( $q < 0$ ).



- O módulo da intensidade do campo eléctrico é calculado pela expressão:  $E = \frac{F}{q}$
- A intensidade do campo eléctrico de uma carga pontual pode ser calculada pela expressão:  $E = k \frac{Q}{r^2}$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; poasse à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

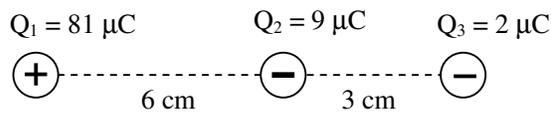


### Actividades

Caríssimos estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

1. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.
  - a) Represente o campo eléctrico no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$ .
  - b) Calcule o campo eléctrico resultante sobre a carga  $Q_3$ .

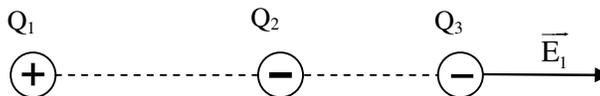


Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

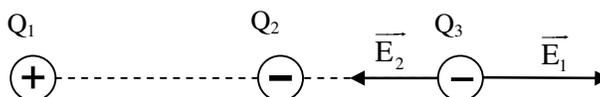
### Chave de Correcção

- a) Para representar o campo eléctrico no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$ , temos que imaginar uma carga de prova no ponto. Neste caso podemos imaginar que a carga  $Q_3$  é a nossa carga de prova.

- Entre  $Q_1$  e  $Q_3$  a força é de atracção, por isso a força eléctrica aponta para a esquerda. Mas como a carga de prova é negativa, então a intensidade do campo eléctrico da carga  $Q_1$  ( $E_1$ ) aponta para a direita, pois devem ter sentidos contrários. Assim,



- Entre  $Q_2$  e  $Q_3$  a força é de repulsão, por isso a força eléctrica aponta para a direita. Mas como a carga de prova é negativa, então a intensidade do campo eléctrico da carga  $Q_2$  ( $E_2$ ) aponta para a esquerda, pois devem ter sentidos contrários. Assim,





- b) Para calcular a intensidade do campo eléctrico resultante temos que observar o sentido da intensidade do campo eléctrico que cada uma das cargas cria no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$ .

Como vê,  $E_1$  e  $E_2$  têm sentidos contrários. Por isso, a intensidade do campo eléctrico resultante é igual a diferença entre  $E_1$  e  $E_2$ . Assim,

$$E_R = E_2 - E_1$$

Para calcular os valores de  $E_1$  e  $E_2$  devemos aplicar a expressão para o cálculo da intensidade do campo eléctrico de uma carga pontual:  $E = k \frac{Q}{r^2}$

#### Cálculo de $E_1$

$$E_1 = k \frac{Q_1}{r^2}$$

- Neste caso:  $Q_1 = 81 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $r = 9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  (6 + 3);
- Já sabe que  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

Assim,

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{81 \cdot 10^{-6}}{(9 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{81 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

#### Cálculo de $E_2$

$$E_2 = k \frac{Q_2}{r^2}$$

- Neste caso:  $Q_2 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ;  $r = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ;
- Já sabe que  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

Assim,

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

Cálculo de  $E_R$

$$E_R = E_2 - E_1$$

- Neste caso:  $E_1 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ ;  $E_2 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$

$$E_R = 9 \cdot 10^7 - 9 \cdot 10^7 \Rightarrow E_R = 0 \text{ N/C}$$

**Resposta:** O Campo eléctrico resultante no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$  é nulo ( $E_R = 0 \text{ N/C}$ )

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

## Actividades de Avaliação



### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

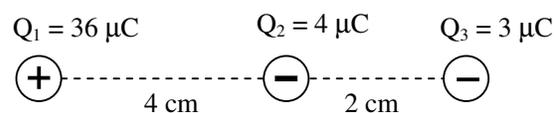
1. Assinale com “V” as afirmações verdadeiras e com “F” as falsas.

A intensidade do campo eléctrico originado por uma carga eléctrica num ponto “P” do espaço:

- a) Diminui quatro vezes se duplicarmos a distância do ponto P a carga eléctrica.
- b) É uma grandeza vectorial.
- c) É um vector que aponta para a própria carga (convergente) se esta for positiva.
- d) É um vector que aponta para a própria carga (convergente) se esta for negativa.
- e) Não depende do valor da própria carga que origina o campo eléctrico.

2. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.

- a) Represente o campo eléctrico no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$ .
- b) Calcule o campo eléctrico resultante sobre a carga  $Q_3$ .



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

## Lição 3

### Potencial Eléctrico e Trabalho Electrostático

#### Introdução

O Potencial eléctrico é a capacidade que um corpo electrizado tem de realizar trabalho, ou seja, atrair ou repelir outras cargas eléctricas. Com relação a um campo eléctrico interessa-nos a capacidade de realizar trabalho, associada ao campo em si, independentemente do valor da carga de prova “q” colocada em qualquer ponto desse campo.

Nesta lição vamos aprender a calcular o trabalho realizado durante o deslocamento de cargas eléctricas em campo electrostático.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

- *Calcular* o potencial eléctrico de uma carga pontual.
- *Determinar* o trabalho realizado pelo campo electrostático durante o transporte de uma carga eléctrica no seu seio.
- *Aplicar* a relação entre o potencial e a intensidade do campo eléctrico na resolução de exercícios concretos.

#### Potencial Eléctrico

Da mecânica sabe que a energia potencial é chama energia de posição, pois ela depende da altura, da massa do corpo e da aceleração da gravidade no local ( $E_p = mgh$ ). De forma semelhante, uma carga eléctrica também possui energia potencial eléctrica em virtude da sua posição em relação a outras cargas. Por isso a expressão para o seu cálculo pode ser,  $E_p = q \cdot E \cdot r$ .

Repare que a massa “m” foi substituída pela carga de prova “q”, a aceleração da gravidade “g” foi substituída pela letra intensidade do campo eléctrico “E” e a altura “h” pela distância “r”.

Já sabemos que a intensidade do campo eléctrico de uma carga pontual pode ser calculada pela expressão,  $E = k \frac{Q}{r^2}$ .



Substituindo na expressão,  $E_p = q.E.r$ , obtemos:  $E_p = q.k \frac{Q}{r^2}.r$ . Deste modo obtemos a expressão:

$$E_p = k \frac{qQ}{r}$$

Para medir a capacidade de um campo eléctrico realizar trabalho, utiliza-se a grandeza potencial eléctrico “U”. Para obter o potencial eléctrico de um ponto, coloca-se nele uma carga de prova “q” e mede-se a energia potencial adquirida por ela. Essa energia potencial é proporcional ao valor de “q”. Portanto, o quociente entre a energia potencial e a carga é constante. Esse quociente chama-se potencial eléctrico do ponto e representa-se pela letra “U”.

Assim podemos escrever:  $U = \frac{E_p}{q}$

Substituindo a expressão da energia potencial teremos:

$$U = \frac{k \frac{q \cdot Q}{r}}{q} \Rightarrow U = k \frac{Q}{r}$$

Por isso o potencial eléctrico de uma carga pontual pode ser calculado pela expressão:

$$U = k \frac{Q}{r}$$

Portanto, quando se fala que o potencial eléctrico de um ponto “P” é  $U_p = 20 \text{ V}$ , entende-se que este ponto consegue fornecer **20J** de energia cada unidade de carga de **1C**. Se a carga eléctrica for **3C** por exemplo, ela será fornecida uma energia de 60J, obedecendo à proporção.

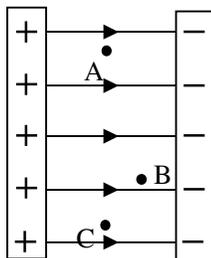
A unidade no S.I. é  $J/C = V$  (Volt)

Como o potencial é uma grandeza escalar, o potencial resultante de um sistema de cargas eléctricas é igual a soma algébrica dos potenciais gerados por cada uma delas como se estivessem sozinhas, levando sempre em conta que o potencial de uma carga positiva é positivo e de uma carga negativa é negativo.

## Campo eléctrico uniforme

É definido com uma região em que todos os pontos possuem o mesmo valor do vector da intensidade do campo eléctrico, em módulo, direcção e sentido.

Para produzir um campo com essas características, basta utilizar duas placas planas e paralelas electrizadas com cargas de mesmo módulo e sinais opostos.



Como o campo eléctrico entre as placas é uniforme, a intensidade do campo eléctrico nos pontos A, B, e C tem o mesmo valor ( $E_A = E_B = E_C$ ).

Vamos em seguida determinar as expressão que permitem resolver exercícios relacionados com o campo eléctrico uniforme.

Por isso vamos em seguida determinar a relação entre a intensidade do campo eléctrico e o potencial eléctrico.

Já sabemos que a intensidade do campo eléctrico e o potencial eléctrico de uma carga podem ser determinados pelas expressões:

$$E = k \frac{Q}{r^2} \text{ e } U = k \frac{Q}{r}$$

Donde podemos escrever:

$$E = k \frac{Q}{r} \cdot \frac{1}{r}$$

Como pode ver, a primeira parte da expressão é o potencial eléctrico. Por isso obtemos a expressão:

$$E = \frac{U}{r}$$

Esta é a expressão que estabelece a relação entre a intensidade do campo eléctrico e o potencial eléctrico.

Para o caso do campo eléctrico uniforme “U” é a diferença de potencial (d.d.p.) entre as placas e “r” é a distância entre as placas.

Outra expressão que já conhece e pode usar na resolução de exercícios sobre o campo eléctrico uniforme, é a que já definimos no estudo da intensidade do campo eléctrico.

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

Vamos em seguida aplicar algumas das expressões aprendidas no cálculo do trabalho electrostático.

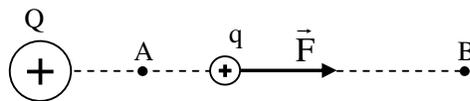
## Trabalho electrostático

Da mecânica já sabe que o trabalho realizado pela força de gravidade no transporte de um corpo de massa “m” de um ponto “A” para outro “B”, é igual a variação da energia potencial entre os dois pontos mas de sinal contrário. Por isso,

$$W_{AB} = -\Delta E_p$$

De forma semelhante, se pode definir o trabalho realizado pelo campo electrostático ao se deslocar uma carga de prova “q” no interior de um campo eléctrico originado por uma carga “Q”, de um ponto “A” para outro “B”.

Desta forma podemos afirmar que o trabalho realizado pelo campo electrostático no transporte de uma carga “q”, é igual à variação da energia potencial entre os dois pontos mas de sinal contrário.



Com base na definição podemos escrever:

$$W_{AB} = -\left(k \frac{qQ}{r_B} - k \frac{qQ}{r_A}\right) \Rightarrow W_{AB} = -q \left(k \frac{Q}{r_B} - k \frac{Q}{r_A}\right)$$

Se compararmos as expressões dentro dos parêntesis, verificamos que elas expressam o potencial eléctrico da carga de prova nos pontos “A” e “B”, respectivamente. Assim,

$$W_{AB} = -q \left( k \frac{Q}{r_B} - k \frac{Q}{r_A} \right) \Rightarrow W_{AB} = -q(U_B - U_A)$$

$$\Rightarrow W_{AB} = q(U_A - U_B)$$

Repare que no último passo, levou-se o sinal negativo para dentro do parêntesis, por isso é que se trocou a ordem (primeiro o potencial do ponto “A” e em seguida o potencial do ponto “B”).

Como vê, o trabalho electrostático pode ser determinado pela expressão:

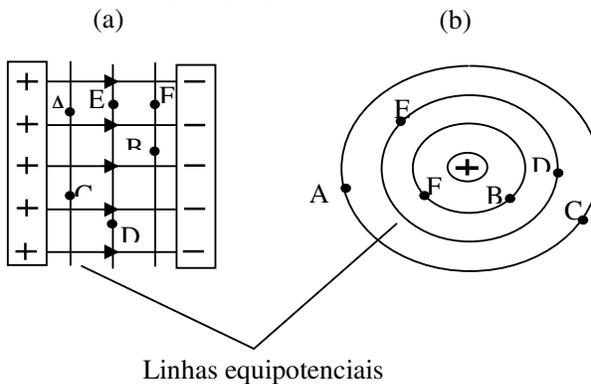
$$W_{AB} = q(U_A - U_B)$$

Onde, “q” é o valor da carga de prova, “ $U_A$ ” é potencial no ponto de partida e “ $U_B$ ” é o potencial no ponto de chegada da carga eléctrica.

## Linhas Equipotenciais

Vimos que um campo eléctrico uniforme é definido com uma região em que todos os pontos possuem o mesmo valor do vector da intensidade do campo eléctrico, em módulo, direcção e sentido. DE forma similar definem-se as linhas equipotenciais: Assim, linhas equipotenciais são definidas com uma região em que todos os pontos possuem o mesmo valor do potencial eléctrico.

No interior de um campo eléctrico uniforme, as linhas equipotenciais são linhas rectas paralelas entre si, como mostra a figura (a). Porém, no caso de uma carga pontual, as linhas equipotenciais têm a forma de circunferências concêntricas, cujo centro é ocupado pela própria carga, como ilustra a figura (b).



Note que nos dois casos,  $U_A = U_C$ ,  $U_E = U_D$  e  $U_F = U_B$ .

Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.

---

## Resumo da unidade



Nesta lição você aprendeu que:

### Resumo

- A energia potencial eléctrica é a energia que uma carga eléctrica possui em virtude da sua posição em relação a outras cargas.
- A expressão para o seu cálculo pode ser:  $E_p = k \frac{qQ}{r}$ .
- O potencial eléctrico é o quociente entre a energia potencial e a carga.
- A expressão para o seu cálculo pode ser:  $U = k \frac{Q}{r}$ .
- A unidade do potencial eléctrico no SI é o Volt “V”.
- Campo eléctrico uniforme é definido com uma região em que todos os pontos possuem o mesmo valor do vector da intensidade do campo eléctrico, em módulo, direcção e sentido.
- O trabalho electrostático é a energia despendida no deslocamento de uma carga de prova “q” no interior de um campo eléctrico.
- O trabalho electrostático é igual à variação da energia potencial mas de sinal contrário.
- A expressão para o seu calculo  $W_{AB} = q(U_A - U_B)$ .
- A relação entre o potencial eléctrico e o potencial eléctrico é dada pela expressão:  $E = \frac{U}{r}$ .
- Linhas equipotenciais são uma região em que todos os pontos possuem o mesmo valor do potencial eléctrico.

- No interior de um campo eléctrico uniforme, as linhas equipotenciais são linhas rectas paralelas entre si e nas proximidades de uma carga pontual, as linhas equipotenciais têm a forma de circunferências concêntricas, cujo centro é ocupado pela própria carga.

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; poasse à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

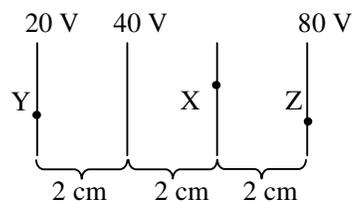


Caríssimos estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

### Actividades

1. A figura representa as linhas equipotenciais entre duas placas electrizadas. A distância entre as linhas é de 2 cm.



- a) Determine o potencial do ponto X.
- b) Calcule a intensidade do campo eléctrico.
- c) Calcule o trabalho realizado no transporte de uma carga eléctrica de  $2 \mu\text{C}$  de Y para Z.

Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

### Chave de Correção

- a) Para resolver esta alínea devemos verificar que a cada 2 cm o potencial aumenta em 20 V. Por isso, o potencial do ponto “X” é de 60V.
- b) Para calcularmos a intensidade do campo eléctrico devemos usar a relação entre o potencial eléctrico e a intensidade do campo eléctrico.

Dados	Fórmula	Resolução
-------	---------	-----------

$U = 20 \text{ V}$ $r = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$ $E = ?$	$E = \frac{U}{r}$	$E = \frac{20}{0,02}$ $E = 1000 \text{ N/C}$
--	-------------------	---

**Resposta:** A intensidade do campo eléctrico é de 1000 N/C.

**Nota:** Também podemos usar outros potenciais, mas devemos ter sempre em conta a distância entre os pontos. Por exemplo, se usarmos 40 V, a distância deverá ser de 4 cm; mas se usarmos 60V, a distância a considerar deverá ser de 6 cm; e por aí adiante.

c) Para calcularmos o trabalho realizado pelo campo eléctrico devemos usar a relação para o seu cálculo.

Dados	Fórmula	Resolução
$U_Y = 20 \text{ V}$ $U_Z = 80 \text{ V}$ $q = 2\mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $W_{YZ} = ?$	$W_{YZ} = q \cdot (U_Y - U_Z)$	$W_{YZ} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (20 - 80)$ $\Rightarrow W_{YZ} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (-60)$ $\Rightarrow W_{YZ} = -120 \cdot 10^{-6}$ $\Rightarrow W_{YZ} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

**Resposta:** O trabalho realizado pelo campo eléctrico é de  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ .

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Avaliação

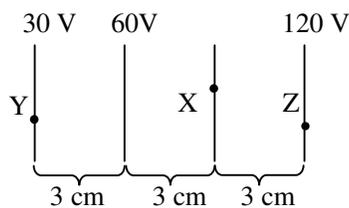


### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

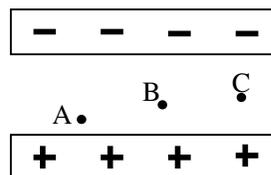
Mãos à obra!

1. A figura representa as linhas equipotenciais entre duas placas electrizadas. A distância entre as linhas é de 3 cm.



- a) Determine
- b) Calcule a intensidade do campo eléctrico.
- c) Calcule o trabalho realizado no transporte de uma carga eléctrica de  $2\mu\text{C}$  de Y para Z.

2. A figura representa duas placas electrizadas.



- a) Represente o campo eléctrico entre as placas.
- b) Compare a intensidade do campo eléctrico nos pontos A, B e C.
- c) Sabendo que a distância entre as duas placas é de 2 cm e que a d.d.p. entre as placas é de 500 V, calcule a intensidade do campo eléctrico entre as placas.

**Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.**

**Sucessos!**

## Lição 4

---

### Leis de Kirshhoff

#### Introdução

As Leis de Kirshhoff foram formuladas em 1845, e são baseadas no Princípio da Conservação da Energia, no Princípio de Conservação da Carga Eléctrica e no facto de que o potencial eléctrico tem o valor original após qualquer percurso em uma trajectória fechada.

Nesta lição estudaremos circuitos eléctricos mais complexos, como por exemplo circuitos com mais de uma fonte de tensão e resistências em série e paralelo.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

- *Aplicar* as Leis de Kirshhoff na resolução de exercícios concretos.

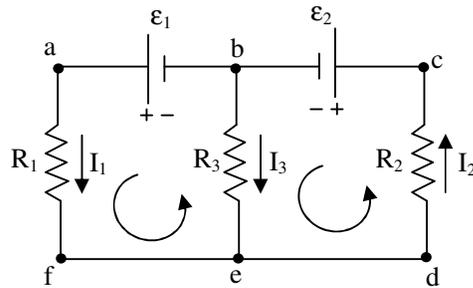


#### Objectivos

### Leis de Kirchhoff

Para o estudo de circuitos eléctricos mais complexos, normalmente designados por redes devemos inicialmente, definir dois termos importantes, nó e malha:

- Um **nó** em uma rede é um ponto onde três (ou mais) condutores são ligados.
- Uma **malha** é qualquer trajecto condutor fechado.
- Um **ramo** é qualquer percurso entre nós consecutivos.



Por exemplo, os pontos “b” e “e” são nós, mas “a”, “c”, “d” e “f” não são, veja a figura.

As malhas possíveis neste circuito são os trajectos fechados definidos pelos pontos: “abefa”, “acdfa” e “bcdeb”.

Os ramos podem ser “efab”, “eb” e “bcde”.

## Regra dos Nós

A soma algébrica das correntes que se dirigem para qualquer nó é igual a zero.

$$\sum_n I_n = 0$$

Este princípio é conhecido por Primeira Lei de Kirchhoff ou lei dos nós. Ele é uma consequência da conservação da carga total existente no circuito. Isto é uma confirmação de que não há acumulação de cargas nos nós.

## Regra das Malhas

A soma algébrica das forças electromotrizes (f.e.m.) em qualquer malha é igual a soma algébrica das quedas de potencial ou dos produtos “IR” contidos na malha.

$$\sum_k \varepsilon_k = \sum_n R_n \cdot I_n$$

Este princípio é conhecido como Segunda Lei de Kirchhoff ou lei das malhas. Esta lei é uma generalização do princípio da conservação da energia em um circuito fechado.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- Um nó em uma rede é um ponto onde três (ou mais) condutores são ligados.
- Uma malha é qualquer trajecto condutor fechado.
- A soma algébrica das correntes que se dirigem para qualquer nó é igual a zero.

$$\sum_n I_n = 0$$

- A soma algébrica das forças electromotrizes (f.e.m.) em qualquer malha é igual a soma algébrica das quedas de potencial ou dos produtos “IR” contidos na malha.

$$\sum_k \mathcal{E}_k = \sum R_n \cdot I_n$$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; poasse à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

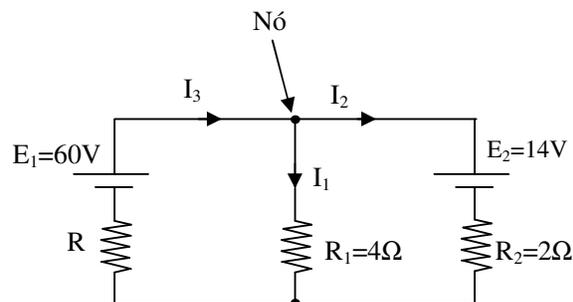


### Actividades

Caríssimos estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

- No circuito dado, se a intensidade da corrente  $i_1$  é 5A, então calcule o valor da resistência  $R$  e das correntes  $I_2$  e  $I_3$ .



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

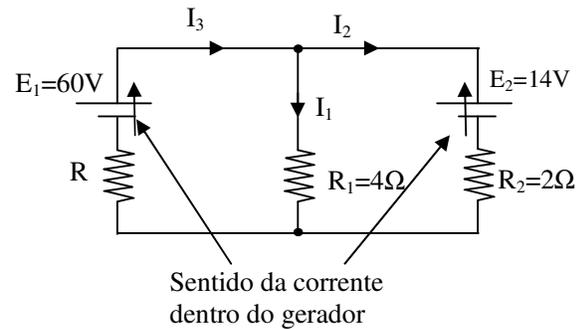
### Chave de Correção

- Se observarmos o nó indicado na figura, verificamos que as correntes  $I_1$  e  $I_2$  saem do nó, enquanto que a corrente  $I_3$  entra no mesmo nó. Por isso, se considerarmos as correntes  $I_1$  e  $I_2$  positivas, a corrente  $I_3$  é negativa. Assim podemos estabelecer a equação:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

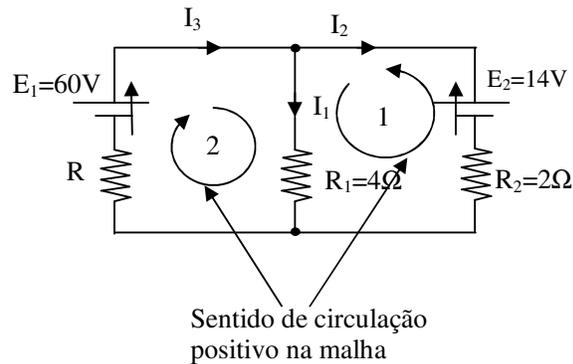
Para aplicar a segunda Lei de Kirshhoff temos que:

1º - Indicar o sentido da corrente dentro das fontes de tensão que deve ser do pólo negativo para o pólo positivo.



Como pode ver, o sentido da corrente dentro do gerador  $E_1$  é de baixo para cima. No gerador  $E_2$ , também, por acaso, é de baixo para cima.

2º - Escolher, arbitrariamente, o sentido de circulação positivo na malha que pode ser o sentido horário ou anti-horário.



Como pode ver, na malha “1”, por exemplo, o sentido de circulação positivo é o horário enquanto que na malha “2” é o anti-horário.

3º - Escolher arbitrariamente o sentido da corrente em cada ramo.

Neste caso o sentido das correntes já foram dados e nomeados por  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ .

4º - Escrever as equações de cada malha comparando sempre:

- o sentido da corrente dentro da fonte de tensão e o sentido de circulação escolhido;
- o sentido da corrente no ramo e o sentido de circulação escolhido;

**Nota:** Se os sentidos coincidirem a corrente é positiva, caso contrário é negativa.

Neste caso:



- a força electromotriz  $E_1$  é positiva, porque o sentido da corrente dentro da fonte coincide com o sentido de circulação positivo na malha;
- a força electromotriz  $E_2$  é positiva, porque o sentido da corrente dentro da fonte coincide com o sentido de circulação positivo na malha;
- a corrente  $I_1$  é positiva, porque o seu sentido coincide com o sentido de circulação positivo na malha;
- a corrente  $I_2$  é negativa, porque o seu sentido é contrário ao sentido de circulação positivo na malha;
- a corrente  $I_3$  é positiva, porque o seu sentido coincide com o sentido de circulação positivo na malha;

Desta forma podemos escrever as equações para as malhas. Assim:

#### Malha 1

$$E_1 = R \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1$$

#### Malha 2

$$E_2 = -R_2 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1$$

Para determinar o pedido no exercício temos que resolver o sistema composto pela equação do nó e das malhas:

$$\Rightarrow \begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = R \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1 \\ E_2 = -R_2 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1 \end{cases}$$

Substituindo os valores dados e aplicando o método de substituição que aprendeu na Matemática para a resolução de sistemas de equações teremos:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = R \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1 \\ E_2 = -R_2 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1 \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} - \\ 60 = R \cdot I_3 + 4.5 \\ 14 = -2 \cdot I_2 + 4.5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} - \\ - \\ 14 = -2 \cdot I_2 + 20 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} - \\ - \\ I_2 = 3A \end{cases} \\ \Rightarrow \begin{cases} 5 + 3 - I_3 = 0 \\ - \\ I_2 = 3A \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8A \\ 60 = R \cdot 8 + 20 \\ I_2 = 3A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8A \\ R = 5\Omega \\ I_2 = 3A \end{cases} \end{aligned}$$

**Resposta:**

$$\begin{cases} I_3 = 8A \\ R = 5\Omega \\ I_2 = 3A \end{cases}$$

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Actividades de Avaliação

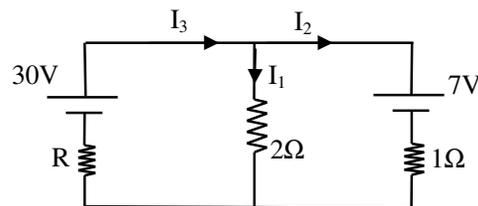


### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

- No circuito dado o gerador e o receptor são ideais e as correntes têm os sentidos indicados. Se a intensidade da corrente  $I_1$  é 5A, calcule então o valor da resistência do resistor R e as intensidades das correntes  $I_2$  e  $I_3$ .



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

## Lição 5

### Campo Magnético e Experiência de Oersted

#### Introdução

Conta a história que o magnetismo entre os corpos foi descoberto na cidade de Magnésia por volta do ano 121 DC, quando se verificou que havia corpos que tinham a propriedade de atrair outros corpos metálicos. Pelo simples facto de a descoberta se ter dado na cidade de Magnésia, esta propriedade passou a ser chamada por magnetismo e os corpos que evidenciam estas propriedades passaram a ser chamados por magnetes.

Desde então os cientistas tentaram descobrir qual era a causa da magnetismo dos corpos.

Nesta lição vamos aprender a explicar a causa do magnetismo dos corpos.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



#### Objectivos

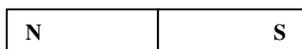
- *Representar* as linhas de força e o vector da indução de um campo magnético.
- *Explicar* o magnetismo dos corpos com base na experiência de Oersted..

#### Magnetismo

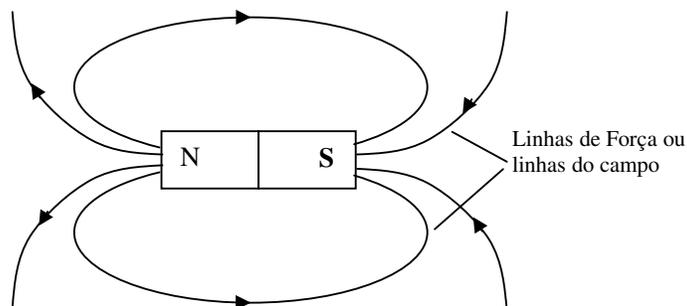
Na Electrostática fez-se a introdução do conceito de “acção do campo” por Michael Faraday. Deste modo atribuiu-se a atracção ou repulsão entre as cargas eléctrica, a acção recíproca dos campos por elas criado.

A acção dos magnetes ou ímanes também se deve ao efeito da acção do campo. Neste caso porém, a acção deve-se a presença de um campo magnético.

Convencionou-se que uma das extremidades do magnete é o pólo norte “N” e a outra extremidade é o pólo sul “S”, veja a figura.

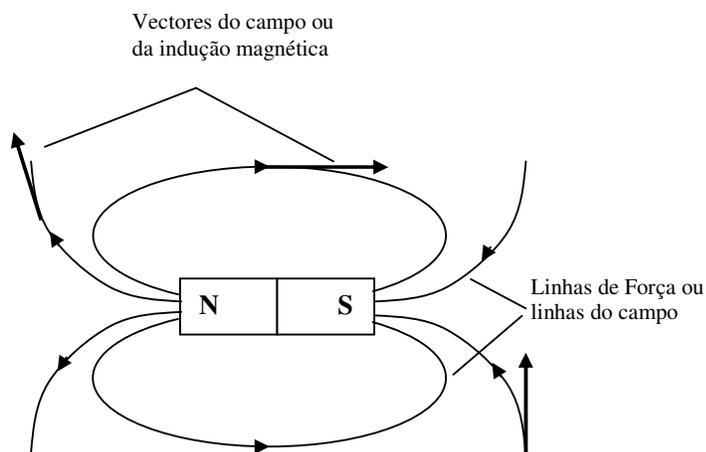


Convencionou-se que as linhas do campo magnético ou linhas de força saem do pólo norte e entram pelo pólo sul, veja a figura.



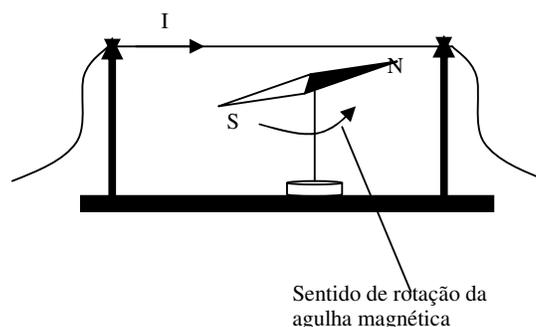
A experiência mostra que pólos do mesmo nome repelem-se e de nome diferentes atraem-se. Esta é chamada Lei Qualitativa das Interações Magnéticas.

As linhas de força ou do campo servem para visualizar a configuração do campo magnético a volta do magnete. Para caracterizar o campo magnético a volta do magnete, usa-se o vector da indução magnética “**B**”, o qual é sempre tangente às linhas de força, veja a figura.

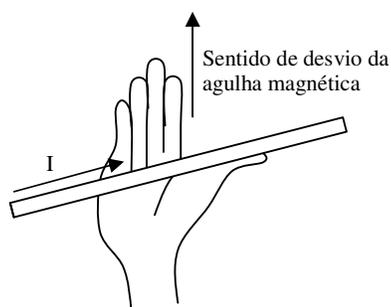


## Experiência de Oersted

O efeito magnético da corrente eléctrica foi demonstrado, experimentalmente, por Oersted, em 1920. Para tal, Oersted colocou uma agulha magnética paralelamente a um condutor percorrido por uma corrente eléctrica, veja a figura.



Nestas condições, a agulha sofre o desvio indicado na figura. O sentido de desvio da agulha magnética pode ser determinado pela Regra da Mão Direita. Para o efeito, coloca-se a mão direita com os dedos esticados, veja a figura, com o dedo polegar a indicar o sentido da corrente eléctrica. Os restantes dedos irão indicar o sentido de desvio da agulha.



Como pode ver, a agulha magnética foi desviada devido a presença de uma corrente eléctrica. Ora isto significa que a corrente eléctrica criou um campo magnético. Por isso, a conclusão mais importante da experiência de Oersted, é que uma corrente eléctrica cria sempre a sua volta, um campo magnético. Daí que o magnetismo de certos corpos só se pode ser explicado pela presença de correntes eléctricas no seu interior.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- A acção dos magnetes ou ímanes deve-se ao efeito da acção do campo magnético.
- As linhas do campo magnético ou linhas de força saem do pólo norte e entram pelo pólo sul.
- Lei Qualitativa das Interações Magnéticas estabelece que pólos do mesmo nome repelem-se e de nomes diferentes atraem-se.
- As linhas de força ou do campo servem para visualizar a configuração do campo magnético a volta do magnete.
- Para caracterizar o campo magnético a volta do magnete, usa-se o vector da indução magnética “**B**”, o qual é sempre tangente às linhas de força,
- A conclusão mais importante da experiência de Oersted, é que uma corrente eléctrica cria sempre a sua volta, um campo magnético.
- Regra da Mão Direita - coloca-se a mão direita com os dedos esticados e o dedo polegar a indicar o sentido da corrente eléctrica. Os restantes dedos irão indicar o sentido de desvio da agulha.
- O magnetismo de certos corpos deve-se a presença de correntes eléctricas no seu interior.

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.**

---

## Actividades de Fixação

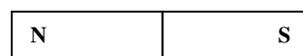
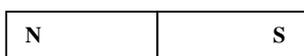
Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

**Mãos a obra!**

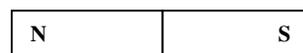
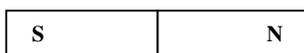
Agora resolva no seu caderno as actividades que lhe propomos para que possa avaliar o seu progresso.

Represente o campo magnético a volta dos magnetes em cada um dos seguintes casos.

(a)



(b)



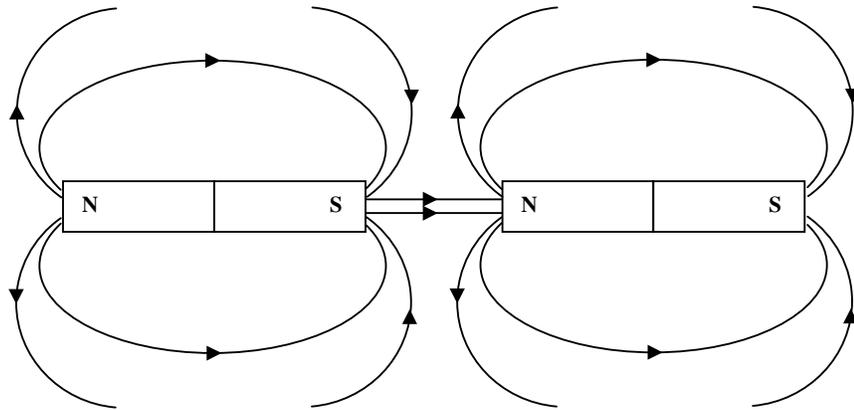
(c)



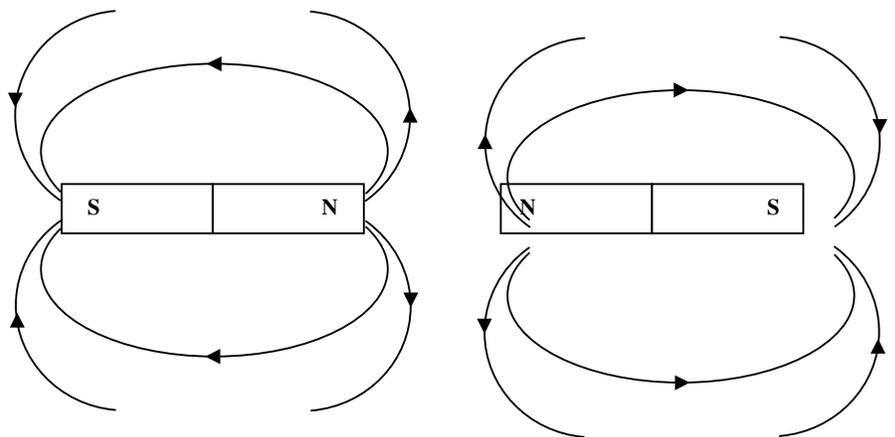
**Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.**

## Chave de Correção

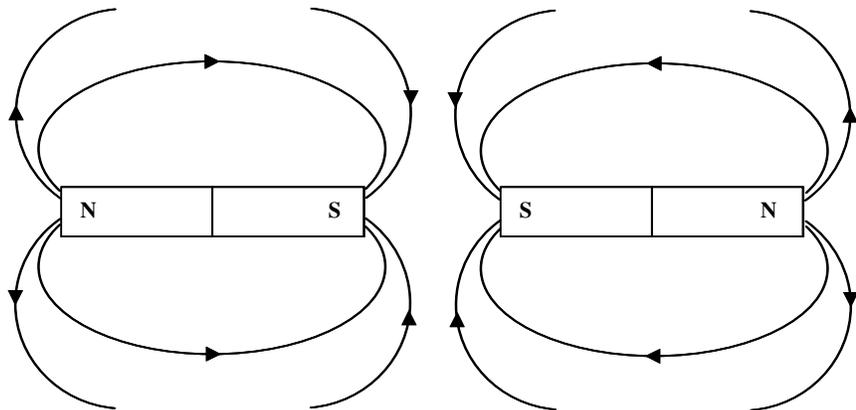
(a)



(b)



(c)



Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.

Sucessos!

## Actividades de Avaliação



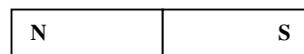
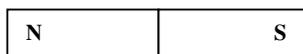
### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

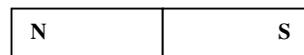
Mãos à obra!

1. Represente o campo magnético a volta dos magnetes em cada um dos seguintes casos.

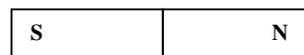
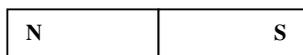
(a)



(b)



(c)



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

## Lição 6

### Campo Magnético de Uma Corrente Rectilínea

#### Introdução

Caro aluno, já sabe que a causa do magnetismo dos corpos é a corrente eléctrica. Porém, os campos magnéticos originados por correntes eléctricas podem ter diversas formas, dependendo apenas da forma do condutor que ela atravessa.

Nesta lição vai aprender a determinar o campo magnético a volta de um condutor rectilíneo.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

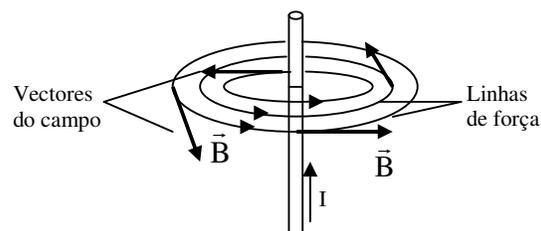


#### Objectivos

- *Aplicar* a regra da mão direita na determinação do sentido do campo magnético originado de uma corrente rectilínea.
- *Determinar* a direcção, o sentido e módulo do vector do campo magnético originado de uma corrente rectilínea.

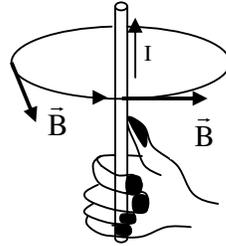
### Campo Magnético de Uma Corrente Rectilínea

O campo magnético originado por uma corrente rectilínea tem a forma de de circunferências concêntricas tendo o condutor como centro, veja a figura.



Como pode ver na figura, os vectores do campo são tangentes às linhas de força que representam o campo magnético a volta do condutor.

Para determinar o sentido e a direcção do campo magnético originado por uma corrente rectilínea, pode-se usar a regra dos dedos curvos da mão direita, veja a figura.

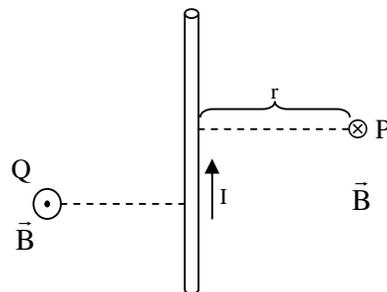


Coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.

O valor do vector da indução magnética é directamente proporcional a intensidade da corrente que atravessa o condutor e inversamente proporcional a distância que o separa do ponto considerado. Isto significa que, quanto maior é a intensidade da corrente maior é o valor da indução magnética mas quanto maior é a distância do condutor, menor é o valor do vector da indução magnética. Por isso, para calcular o módulo ou valor do vector da indução magnética, aplica-se a relação:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

Onde “B” é o valor da indução magnética, “ $\mu_0$ ” é uma constante chamada permeabilidade magnética do vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$  – Henry por metro), “I” é a intensidade da corrente eléctrica e “r” é a distância do condutor ao ponto considerado, veja a figura.



Da figura pode ver que o vector da indução magnética está representado pelo símbolo “ $\otimes$ ”. Este símbolo significa que o vector do campo entra no plano desta folha no ponto “P”. Se o vector estivesse a sair o símbolo a usar seria o representado no ponto “Q”.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O campo magnético originado por uma corrente rectilínea tem a forma de circunferências concêntricas tendo o condutor como centro.
- Os vectores do campo são tangentes às linhas de força que representam o campo magnético a volta do condutor.
- Para determinar o sentido e a direcção do campo magnético originado por uma corrente rectilínea, pode-se usar a regra dos dedos curvos da mão direita,
- Para aplicar a regra dos dedos curvos da mão direita, coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.
- O valor do vector da indução magnética é directamente proporcional a intensidade da corrente que atravessa o condutor e inversamente proporcional a distância que o separa do ponto considerado
- Para calcular o módulo ou valor do vector da indução magnética, aplica-se a relação:  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; poasse à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

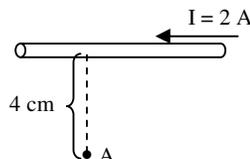


### Actividades

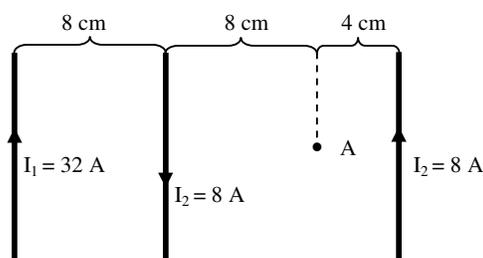
Caríssimos estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

1. Determine o sentido, a direcção e o módulo do vector da indução magnética no ponto “A” pelo condutor rectilíneo.



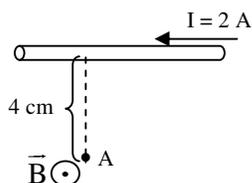
2. Calcule o vector resultante no ponto “A” pelos condutores rectilíneos representados.



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

### Chave de Correcção

1. Para determinar o sentido e a direcção do vector da indução magnética aplicamos a regra dos dedos curvos da mão direita. Deste modo, teremos que o vector da indução magnética no ponto “A” sai perpendicularmente desta folha de papel, veja a figura.



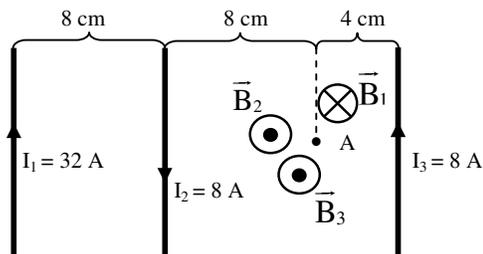


Para calcular o módulo do vector da indução magnética temos que tirar os dados e aplicar a fórmula respectiva.

Dados	Fórmula	Resolução
$I = 2\text{A}$ $r = 4\text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2}\text{m}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{H/m}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$	$\Rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}}$ $\Rightarrow B = 1 \cdot 10^{-5}\text{T}$

**Resposta:** O módulo do vector da indução magnética é de  $1 \cdot 10^{-5}\text{T}$ .

2. Para resolver este exercício, temos inicialmente que determinar o sentido do campo magnético originado por cada um dos condutores no ponto "A", aplicando a regra dos dedos curvos da mão direita. Assim,



Como pode ver, os campos originados pelas correntes  $I_2$  e  $I_3$  saem do plano desta folha, enquanto que o campo originado pela corrente  $I_1$  sai do plano desta folha.

Isto significa que os campos originados pelas correntes  $I_2$  e  $I_3$  têm o mesmo sentido enquanto que o campo originado pela corrente  $I_1$  tem sentido contrário. Por isso o campo magnético resultante será igual a soma de  $B_2$  e  $B_3$  subtraindo o valor de  $B_1$ . Deste modo podemos escrever:

$$B_R = B_2 + B_3 - B_1$$

Agora temos que determinar os valores de  $B_1$ ,  $B_2$  e  $B_3$ .

Cálculo de  $B_1$

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi r_1}$$

- Neste caso  $I_1 = 32\text{A}$  e  $r_1 = 16\text{ cm} = 16 \cdot 10^{-2}\text{ m}$  (para encontrar o valor de  $r_1$  temos que fazer:  $8\text{ cm} + 8\text{ cm}$ ).
- Então:

$$\Rightarrow B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 32}{2\pi \cdot 16 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B_1 = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

#### Cálculo de $B_2$

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi r_2}$$

- Neste caso  $I_2 = 8\text{A}$  e  $r_2 = 8\text{ cm} = 8 \cdot 10^{-2}\text{ m}$
- Então:

$$\Rightarrow B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 8 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B_2 = 2 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

#### Cálculo de $B_3$

$$B_3 = \frac{\mu_0 \cdot I_3}{2\pi r_3}$$

- Neste caso  $I_3 = 8\text{A}$  e  $r_3 = 4\text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2}\text{ m}$
- Então:

$$\Rightarrow B_3 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B_3 = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

#### Cálculo da Resultante

Já sabemos que  $B_R = B_2 + B_3 - B_1$  e que  $B_1 = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$ ,  $B_2 = 2 \cdot 10^{-5}\text{T}$  e que  $B_3 = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$ . Assim,

$$\Rightarrow B_R = 2 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-5}$$

$$\Rightarrow B_R = 4 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

**Resposta:** O módulo do vector da indução magnética é de  $4 \cdot 10^{-5}\text{T}$ .

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Actividades de Avaliação

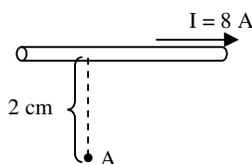


### Avaliação

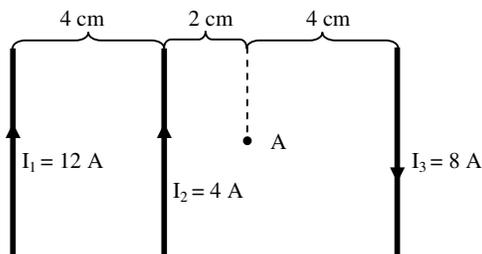
Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

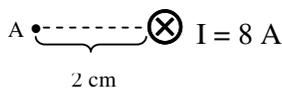
1. Determine o sentido, a direcção e o módulo do vector da indução magnética no ponto “A” pelo condutor rectilíneo.



2. Calcule o vector resultante no ponto “A” pelos condutores rectilíneos representados.



3. Determine o sentido, a direcção e o módulo do vector da indução magnética no ponto “A” pelo condutor rectilíneo.



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

## Lição 7

### Campo Magnético de Uma Bobina

#### Introdução

Já sabemos que o campo magnético originado por uma corrente rectilínea tem a forma de circunferências concêntricas tendo o condutor como centro.

Nesta lição vamos aprender a determinar o campo magnético a volta de um condutor de forma circular e de uma bobina

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

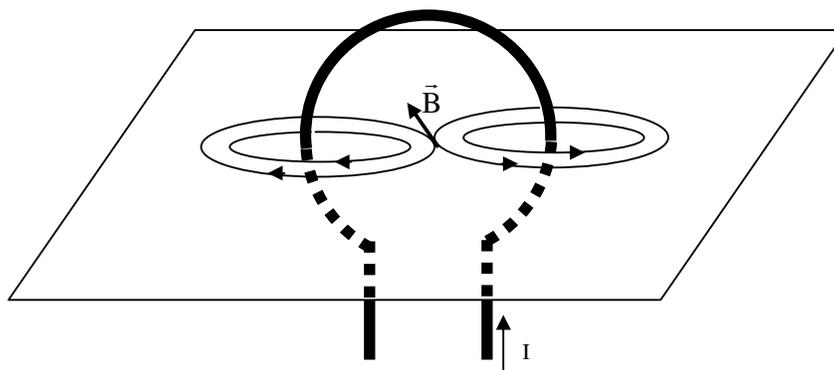
- *Aplicar* a regra da mão direita na determinação do sentido do campo magnético originado de uma corrente circular.
- *Aplicar* a regra da mão direita na determinação do sentido do campo magnético originado de uma corrente helicoidal.



Objectivos

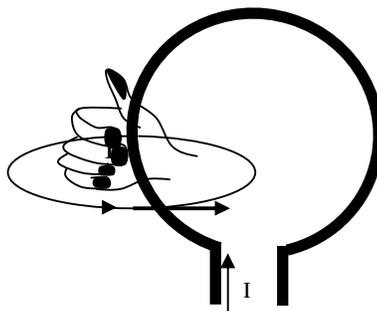
#### Campo Magnético de Uma Corrente Circular

O campo magnético originado por uma corrente circular ou que atravessa uma espira circular também tem a forma de circunferências concêntricas tendo o condutor como centro, veja a figura.



Como pode ver na figura, o vector do campo no centro do condutor circular é tangente às linhas de força que representam o campo magnético a volta do condutor.

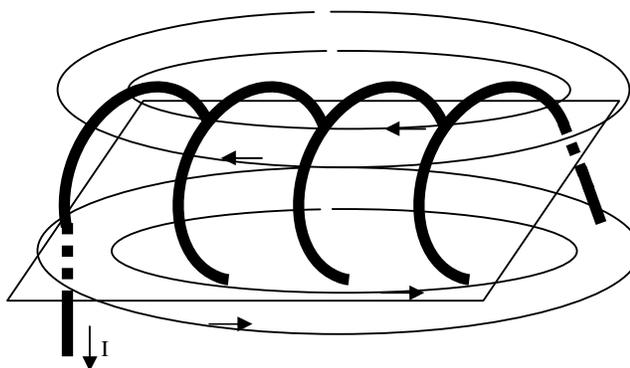
Para determinar o sentido e a direcção do campo magnético originado por uma corrente circular, também se pode usar a regra dos dedos curvos da mão direita, veja a figura.



Coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.

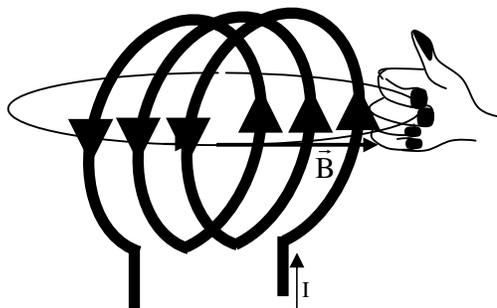
## Campo Magnético de Uma Corrente Helicoidal

O campo magnético originado por uma corrente helicoidal ou que atravessa uma bobina também tem a forma apresentada na figura.



Como pode ver na figura, o campo originado por uma bobina é semelhante ao originado por um magnete. No interior da bobina o campo magnético é uniforme, isto é, o valor do vector de indução magnética tem o mesmo valor.

Para determinar o sentido e a direcção do campo magnético originado por uma corrente helicoidal, também se pode usar a regra dos dedos curvos da mão direita, veja a figura.



Coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

Nesta lição você aprendeu que:

- O campo magnético originado por uma corrente circular tem a forma de circunferências concêntricas tendo o condutor como centro.
- Para determinar o sentido e a direção do campo magnético originado por uma corrente circular, pode-se usar a regra dos dedos curvos da mão direita,
- Para aplicar a regra dos dedos curvos da mão direita, coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.
- O campo magnético originado por uma corrente helicoidal tem a forma semelhante a de um ímã.
- Para determinar o sentido e a direção do campo magnético originado por uma corrente helicoidal, pode-se usar a regra dos dedos curvos da mão direita,
- Para aplicar a regra dos dedos curvos da mão direita, coloca-se o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente e os restantes dedos se curvam no sentido do campo magnético.

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.**

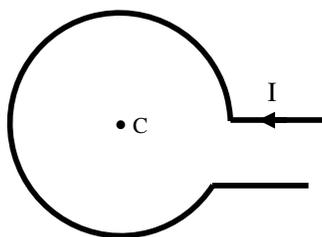
## Actividade de Fixação

**Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.**

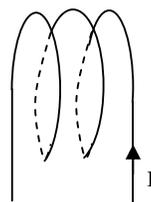
**Mãos a obra!**

Agora resolva no seu caderno as actividades que lhe propomos para que possa avaliar o seu progresso.

1. Determine o sentido e a direção do vector da indução magnética no centro da espira circular.



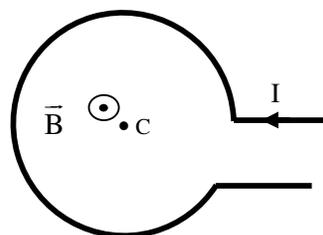
- Determine o sentido e a direcção do vector da indução magnética no interior de uma bobina.



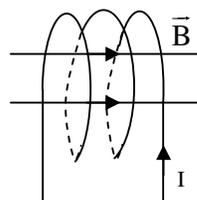
**Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.**

**Chave de Correcção**

- 



- 



**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Actividades de Avaliação

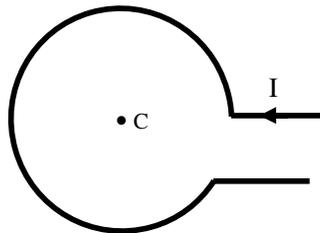


### Avaliação

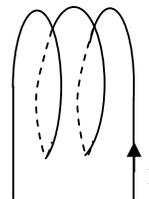
**Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.**

**Mãos à obra!**

1. Determine o sentido e a direcção do vector da indução magnética no centro da espira circular.



2. Determine o sentido e a direcção do vector da indução magnética no interior de uma bobina.



**Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.**

**Sucessos!**

## Lição 8

### Aplicações do Electroíman

#### Introdução

Já sabemos que o campo magnético originado tanto por uma bobina tem uma forma semelhante a de um íman. Por isso, o solenóide é usado no fabrico dos electroímanes.

Nesta lição vamos ver como é constituído um electroíman e a sua aplicação no fabrico de campainhas eléctricas.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

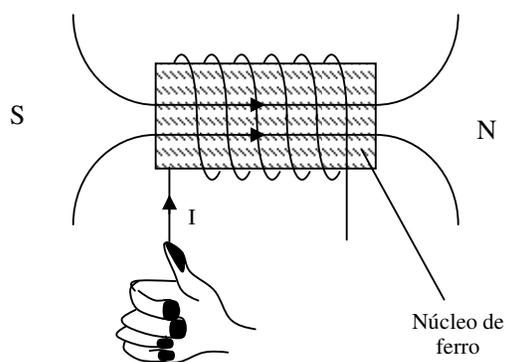
- *Explicar* o funcionamento do electroíman.
- *Explicar* o funcionamento da campainha eléctrica.



#### Objectivos

#### O Electroíman

A figura representa um electroíman.



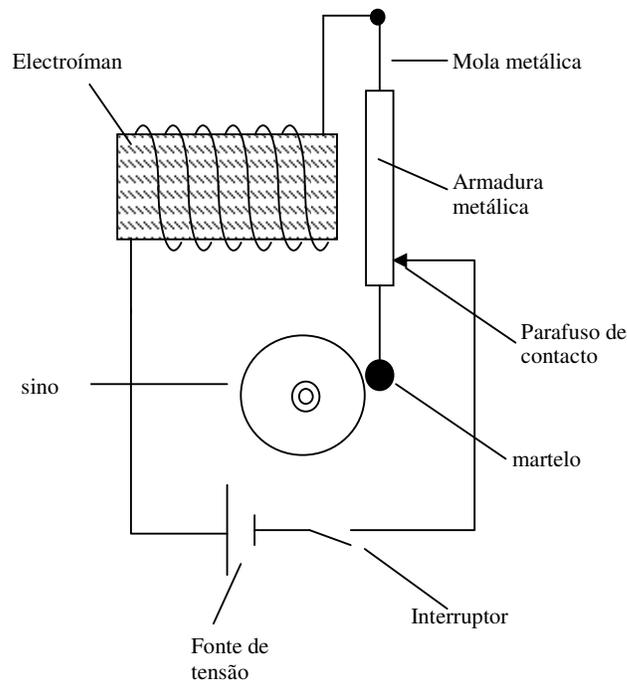
Como pode ver na figura, um electroíman é constituído por uma bobina e um núcleo de ferro.

Como sabe, uma corrente cria sempre a sua volta um campo magnético e que neste caso tem a forma de um campo originado por um magnete. Como as linhas entram do lado esquerdo e saem do lado direito, o electroímã, do lado esquerdo temos o pólo Sul e do lado direito o pólo Norte.

A mão direita foi colocada na figura para nos ajudar a determinar o sentido do campo magnético. Portanto, Colocou-se o dedo polegar no sentido da corrente e os restantes dedos curvam-se no sentido do campo magnético.

## A Campainha Eléctrica

A figura representa esquematicamente uma campainha eléctrica.



O funcionamento da campainha eléctrica pode ser resumido da seguinte forma:

- Quando se fecha o interruptor a corrente passa pela bobina e ela atrai a armadura metálica e o martelo bate no sino.
- Quando a armadura metálica é atraída pelo electroímã o circuito é interrompido porque deixa de haver contacto entre o parafuso e a armadura.
- Ao se interromper o circuito, não passa corrente pelo electroímã e este já não atrai a armadura metálica.

- Ao cessar a atracção da armadura metálica a mola metálica devolve a armadura para a sua posição restabelecendo o contacto com o parafuso e tudo começa de novo.

Como viu não é difícil explicar o funcionamento da campainha eléctrica, pois ele funciona através do processo de ligar e desligar constantemente o circuito eléctrico.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

- O electroíman é constituído por uma bobina e um núcleo de ferro.
- Num electroíman forma-se sempre um pólo Norte e outro Sul porque as linhas de força entram sempre de um dos lados do núcleo de ferro e saiem do outro lado.
- A campainha eléctrica funciona através do processo de ligar e desligar constantemente o circuito eléctrico.

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.**

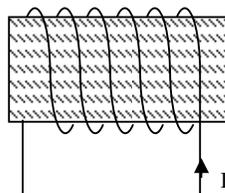
---

## Actividades de Fixação

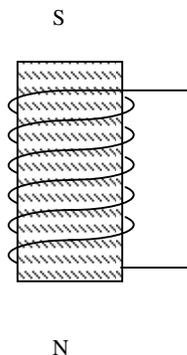
**Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.**

**Mãos a obra!**

1. A figura representa um electroíman. Nas condições da figura determine os pólos Norte e Sul.



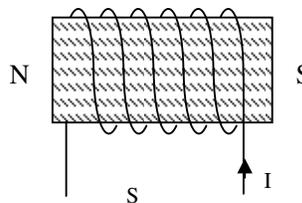
2. A figura representa um electroímã. Nas condições da figura determine o sentido da corrente eléctrica que atravessa a bobina.



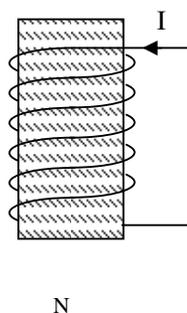
**Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.**

### Chave de Correcção

1.



2.



**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**



## Actividades de Avaliação

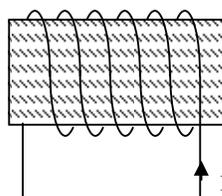


### Avaliação

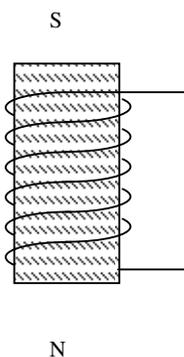
Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

3. A figura representa um electroímã. Nas condições da figura determine os pólos Norte e Sul.



4. A figura representa um electroímã. Nas condições da figura determine o sentido da corrente eléctrica que atravessa a bobina.



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

# Lição 9

## Força de Ampère

### Introdução

Após termos nos debruçado sobre o estudo da origem do magnetismo dos corpos e dos campos o magnético originados por correntes rectilíneas, circular e helicoidais, vamos agora estudar a interacção a que estão sujeitas as partículas eléctrica nos campo magnéticos.

Este estudo reveste-se de especial importância porque o seu conhecimento permite explicar o princípio de funcionamento dos motores eléctricos.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



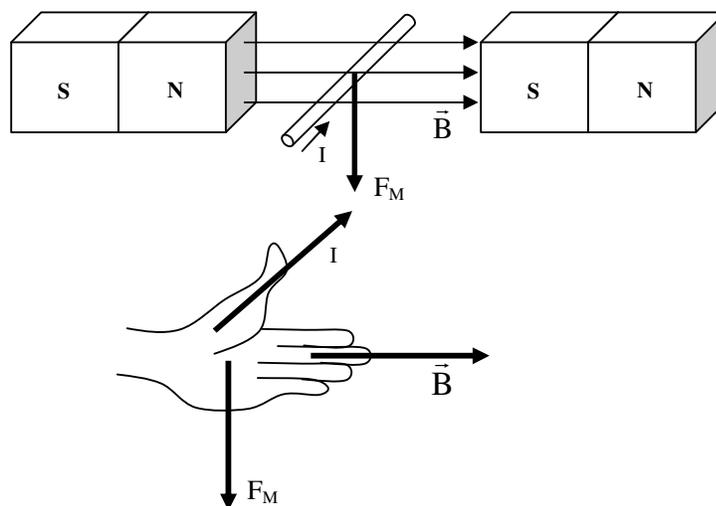
#### Objectivos

- *Determinar* a direcção, o sentido e o módulo da força de Ampère sobre um condutor rectilíneo atravessado por uma corrente em movimento no seio de um campo magnético.

### Força de Ampère

A força de Ampère, é a força de natureza magnética que actua sobre um condutor no seio de um campo magnético e atravessado por uma corrente eléctrica.

A sua direcção e o seu sentido podem ser determinados pela regra dos dedos esticados da mão direita, veja a figura.



Como pode ver na figura, para aplicar a regra dos dedos esticados da mão direita, coloca-se o polegar no sentido da corrente, os quatro dedos esticados no sentido do campo magnético e a palma da mão dá-nos o sentido da força de magnética de Ampère. Por isso, no caso da figura dada, a força magnética aponta para baixo.

Para determinar o valor da força de Ampère usa-se a relação:

$$F_M = B \cdot I \cdot L \cdot \text{sen}\alpha$$

Onde “ $F_M$ ” é a força magnética de Ampère, “ $B$ ” é o valor do vector da indução magnética, “ $I$ ” é a intensidade da corrente que atravessa o condutor, “ $L$ ” é o comprimento do condutor e “ $\alpha$ ” é o ângulo entre a intensidade da corrente e o sentido do campo magnético.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

- A força de Ampère, é a força de natureza magnética que actua sobre um condutor no seio de um campo magnético e atravessado por uma corrente eléctrica.
- Para aplicar a regra dos dedos esticados da mão direita, coloca-se o polegar no sentido da corrente, os quatro dedos esticados no sentido do campo magnético e a palma da mão dá-nos o sentido da força de magnética de Ampère.
- Para determinar o valor da força de Ampère usa-se a relação:

$$F_M = B \cdot I \cdot L \cdot \text{sen}\alpha$$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

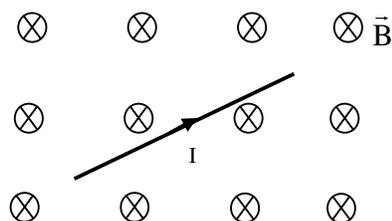


### Actividades

Caríssimos estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

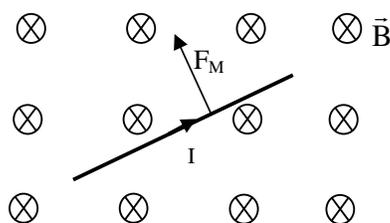
- Determine o sentido, a direcção e o módulo da força magnética sobre o condutor sabendo que ele possui um comprimento de 50 cm, é atravessado por uma corrente de 10 A e está mergulhado num campo magnético de 0,2 T.



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

### Chave de Correcção

- A direcção e o sentido determinamos através da regra dos dedos curvos da mão direita. Assim,



Para determinarmos o módulo da força magnética tiramos os dados e aplicamos a fórmula já conhecida.

Dados	Fórmula	Resolução
$L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ $I = 10 \text{ A}$ $B = 0,2 \text{ T}$	$F_M = B \cdot I \cdot L \cdot \text{sen}\alpha$	$\Rightarrow F_M = 0,2 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot \text{sen}90^\circ$ $\Rightarrow F_M = 1\text{N}$



$\alpha = 90^\circ$		
$F_M = ?$		

**Resposta:** A força magnética é de 1 N.

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Actividades de Avaliação

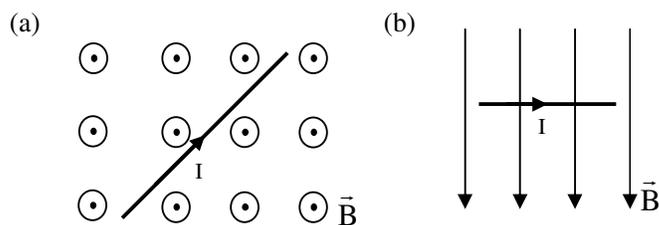


### Avaliação

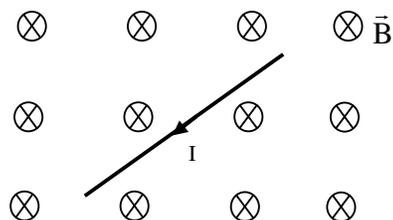
Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

- Determine a direcção e o sentido da força de Ampère sobre o condutor em cada um dos seguintes casos.



- Determine o sentido, a direcção e o módulo da força magnética sobre o condutor sabendo que ele possui um comprimento de 40 cm, é atravessado por uma corrente de 20 A e está mergulhado num campo magnético de 0,25 T.



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

# Lição 10

## Força de Lorentz

### Introdução

Na lição anterior estudamos a força magnética que actua sobre um condutor atravessado por uma corrente eléctrica e mergulhado num campo magnético.

Nesta lição vamos aprender a determinar a força magnética que actua sobre uma partícula carregada em movimento no seio de um campo magnético.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:



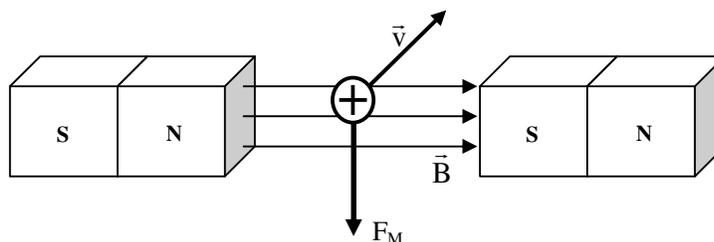
#### Objectivos

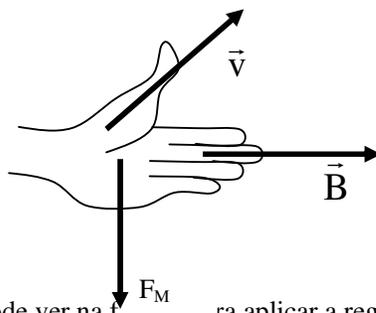
- *Determinar* a direcção, o sentido e o módulo da força sobre uma partícula carregada em movimento no seio de um campo magnético.

### Força de Lorentz

A força de Lorentz, é a força de natureza magnética que actua sobre uma partícula carregada em movimento no seio de um campo magnético.

A sua direcção e o seu sentido podem ser determinados pela regra dos dedos esticados da mão direita, veja a figura.





Como pode ver na figura para aplicar a regra dos dedos esticados da mão direita, coloca-se o polegar no sentido da velocidade, os quatro dedos esticados no sentido do campo magnético e a palma da mão dá-nos o sentido da força de magnética de Lorentz. Por isso, no caso da figura dada, a força magnética aponta para baixo.

**Nota:** Esta regra é para uma carga de sinal positivo. Por isso, no caso de uma carga negativa, inverte-se o sentido obtido.

Isto significa que no caso apresentado, se trata de uma carga positiva, a força magnética de Lorentz devia apontar para cima.

Para determinar o valor da força de Lorentz usa-se a relação:

$$F_M = B \cdot Q \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$$

Onde “ $F_M$ ” é a força magnética de Lorentz, “ $B$ ” é o valor do vector da indução magnética, “ $Q$ ” é a carga eléctrica, “ $v$ ” é a velocidade da carga e “ $\alpha$ ” é o ângulo entre o sentido da velocidade e o sentido do campo magnético.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

## Resumo da lição



### Resumo

- A força de Lorentz, é a força de natureza magnética que actua sobre uma partícula carregada em movimento no seio de um campo magnético.
- Para aplicar a regra dos dedos esticados da mão direita, coloca-se o polegar no sentido da velocidade, os quatro dedos esticados no sentido do campo magnético e a palma da mão dá-nos o sentido da força de magnética de Lorentz.
- Para determinar o valor da força de Lorentz usa-se a relação:

$$F_M = B \cdot Q \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$$

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.**

## Actividades de Fixação

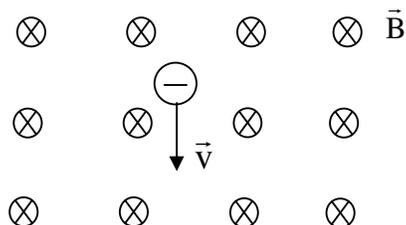


### Actividades

Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

Mãos a obra!

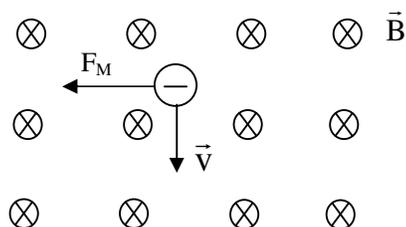
- Determine o sentido, a direcção e o módulo da força magnética sobre uma partícula sabendo que ela possui uma carga de  $3,2 \cdot 10^{-19}$  C, move-se a uma velocidade de  $2 \cdot 10^6$  m/s e atravessa um campo magnético de 0,2 T.



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

### Chave de Correção

- Para determinar o sentido e a direcção aplicamos a regra da mão direita. Porém não se esqueça que por se tratar de uma carga negativa é necessário inverter o sentido obtido pela mão direita. Assim,



Para determinarmos o módulo da força magnética tiramos os dados e aplicamos a fórmula já conhecida.

Dados	Fórmula	Resolução
-------	---------	-----------



$Q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $v = 2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ $B = 0,2 \text{ T}$ $\alpha = 90^\circ$ $F_M = ?$	$F_M = B \cdot Q \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$	$F_M = 0,2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot \text{sen}90^\circ$ $F_M = 1,28 \cdot 10^{-13} \text{ N}$
---	--	---

**Resposta:** A força magnética é de  $1,28 \cdot 10^{-13} \text{ N}$ .

**Estimado aluno, se acertou em todas as questões das actividades de fixação, então resolva os exercícios das actividades de avaliação. Caso não, reestude o texto, o resumo e refaça as actividades propostas nesta lição.**

**Sucessos!**

## Actividades de Avaliação

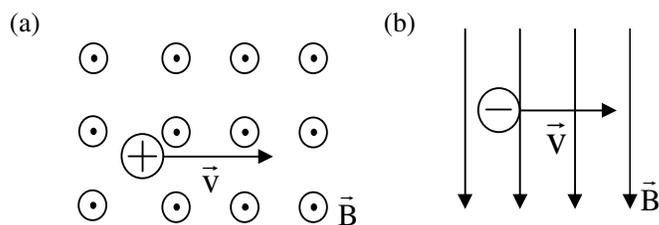


### Avaliação

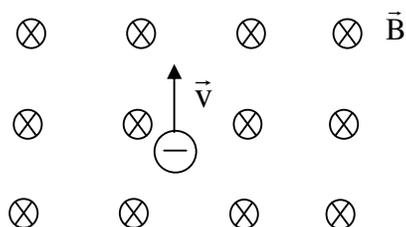
Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

- Determine a direcção e o sentido da força de Lorentz sobre as cargas em movimento em cada um dos seguintes casos.



- Determine o sentido, a direcção e o módulo da força magnética sobre uma partícula sabendo que ela possui uma carga de  $6,4 \cdot 10^{-19}$  C, move-se a uma velocidade de  $2 \cdot 10^7$  m/s e atravessa um campo magnético de 0,25 T.



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

# Lição 11

## Aplicação das Forças de Ampère e de Lorentz

### Introdução

Já sabemos que as forças de Lorentz e de Ampère têm larga aplicação na ciência e na tecnologia.

Nesta lição vamos ver como se aplicam estas força na explicação do funcionamento do motor eléctrico e dos aceleradores de partículas

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

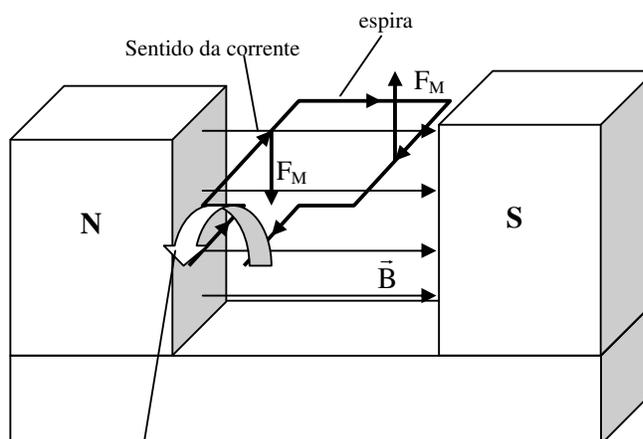


#### Objectivos

- *Explicar* o princípio de funcionamento de um motor eléctrico.
- *Explicar* o princípio de funcionamento de um acelerador de partículas.

### O Motor Eléctrico

A figura mostra uma espira atravessada por uma corrente eléctrica no seio de um campo magnético.



Como podemos ver, aplicando a regra dos dedos esticados da mão direita a força de Ampère tem sentidos contrários nos pontos

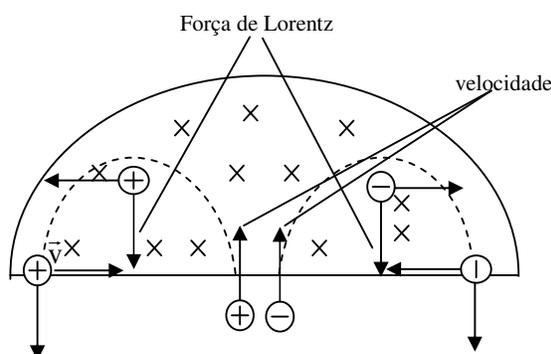
considerados na figura. Isto faz com que a espira gire no sentido também indicado na figura.

Este efeito é aplicado nos motores eléctricos. Portanto como vê, os motores eléctricos funcionam com base na força de Ampère.

Constituem exemplos de motores eléctricos, os motores de arranque dos automóveis, os motores das bombas de água, etc.

## Os Aceleradores de Partículas

A figura representa um acelerador de partículas chamado Ciclotrão.



O princípio de funcionamento do ciclotrão pode ser resumido da seguinte forma:

- A partícula entra num campo magnético que neste caso entra no plano desta folha de papel.
- Devido a acção da força de Ampère a partícula acaba realizando um movimento circular.
- Repare que a partícula positiva é desviada para a esquerda e a negativa é desviada para direita (não se esqueça de aplicar a regra dos dedos esticados da mão direita para determinar o sentido da força de Ampère). Assim, se separam as partículas.

Os aceleradores de partículas têm larga aplicação na separação de certas substâncias químicas através da sua diferença de carga e de massa, os chamados elementos isótopos.

Outra aplicação muito importante da força de Lorentz na ciência e na tecnologia é na obtenção de imagens nos televisores e nos chamados microscópios electrónicos.

Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.

## Resumo da lição



### Resumo

- Os motores eléctricos funcionam com base na força de Ampère.
- Os aceleradores de partícula funcionam com base na força de Lorentz.

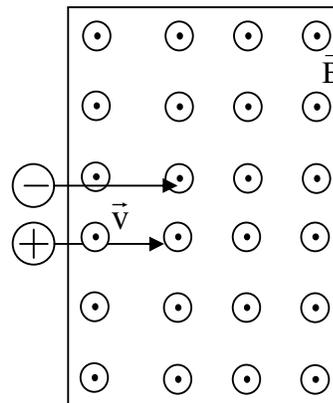
Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação.

## Actividades de Fixação

Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.

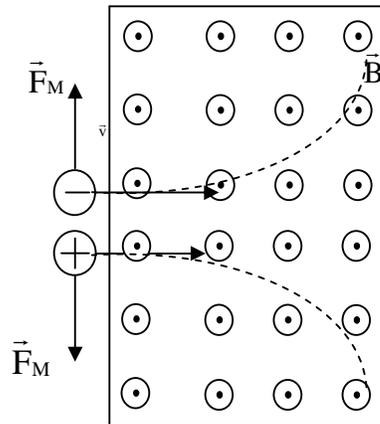
### Mãos a obra!

1. A figura representa uma placa de um acelerador de partículas. Represente a trajetória das partículas dentro do ciclotrão.



Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

### Chave de Correção



## Actividades de Avaliação

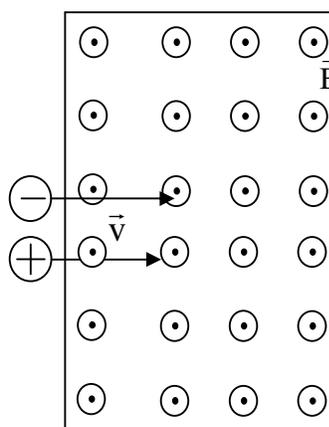


### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

A figura representa uma placa de um acelerador de partículas. Represente a trajectória das partículas dentro do ciclotrão.



Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe ao estudo da lição seguinte se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

Sucessos!

## Lição 12

### A Indução Electromagnética – Leis de Faraday

#### Introdução

Já sabemos que uma corrente eléctrica cria sempre a sua volta um campo magnético. Mas será que um campo magnético pode originar uma corrente eléctrica?

Só a 29 de Agosto de 1831, após 6 anos consecutivos de investigação é que o cientista Michael Faraday conseguiu produzir uma corrente eléctrica a partir de um campo magnético.

Nesta lição vamos aprender em que condições este fenómeno acontece.

Ao concluir esta unidade você será capaz de:

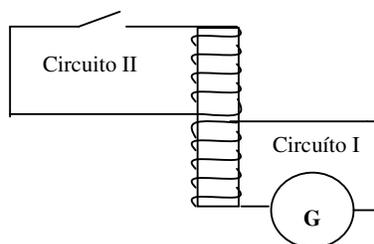


#### Objectivos

- *Explicar* o fenómeno da indução electromagnética com base nas Leis de Faraday.
- *Aplicar* as leis de Faraday para prever o surgimento de uma corrente induzida.

#### Indução Electromagnética

Foi com base num circuito semelhante ao apresentado na figura.



Faraday verificou que o galvanómetro “G” do circuito “I” acusava a passagem de uma corrente eléctrica ao abrir ou ao fechar o interruptor do outro circuito “II”, apesar de estes não estarem em contacto entre si. Porém com o interruptor ligado, Faraday verificou que o galvanómetro não acusava a passagem de uma corrente eléctrica.

Assim Faraday chegou-se a conclusão que só quando a intensidade da corrente variava é que surgia uma corrente no galvanómetro. Mas como o valor do vector da indução magnética depende da intensidade da corrente eléctrica, foi fácil chegar finalmente a conclusão que só na presença de uma variação do campo magnético é surge uma corrente.

A corrente assim produzida, Faraday deu o nome de corrente induzida e ao fenómeno designou por indução electromagnética.

Faraday também verificou que quanto mais rápido se der a variação da intensidade da corrente maior é a intensidade da corrente indicada pelo galvanómetro. Assim estabeleceram-se as Leis de Faraday sobre a indução electromagnética:

1ª Lei – Só variado o fluxo magnético é surge uma corrente induzida.

2ª lei – A intensidade da corrente induzida é directamente proporcional a variação do fluxo na unidade de tempo.

## Lei de Lenz

Já sabe que na natureza a energia não se cria nem se destrói, ela só se transforma e que nenhum processo natural pode lesar o Princípio de Conservação de Energia. Por isso, o fenómeno da indução electromagnética também não pode ferir este nobre princípio. Assim, o surgimento da corrente eléctrica induzida deve ser resultado de uma transformação de energia.

A Lei de Lenz é consequência da Lei de Conservação de Energia e ela estabelece que, a corrente induzida teve ter um sentido tal que pelos seus efeitos deve se opor a causa que a produz. Por isso para produzir uma corrente induzida deve-se despende determinada energia porque a própria corrente induzida se opõem a sua produção.

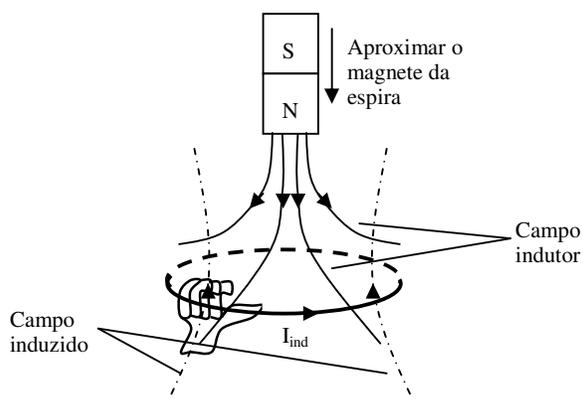
## Determinação do Sentido da Corrente Induzida

O sentido da corrente induzida pode ser determinada aplicando a corrente induzida.

Como a corrente induzida se opõem a causa que a produz é importante fixar que:

- Se a causa que origina a corrente induzida é o aumento do fluxo magnético, então a corrente deve se opor ao aumento do fluxo.
- Se a causa que origina a corrente induzida é a diminuição do fluxo magnético, então a corrente deve se opor a diminuição do fluxo.

A figura representa um magnete a ser aproximado de uma espira.



- Quando se aproxima o ímã da espira o fluxo aumenta (porque aumenta o número de linhas do campo que atravessam a espira).
- Então a corrente induzida deve ter um sentido tal que contraria o aumento do fluxo. Por isso tem sentido contrário, veja a figura.
- Então aplicando a regra dos dedos curvos da mão direita temos que o sentido da corrente induzida é da esquerda para a direita.

**Caríssimo aluno, terminado o estudo do texto desta lição, faça um pequeno resumo da matéria nele tratada e compare-o ao que se apresenta nesta secção.**

---

## Resumo da lição



### Resumo

As leis de Faraday estabelecem Que:

- 1ª Lei – Só variado o fluxo magnético é surge uma corrente induzida.
- 2ª lei – A intensidade da corrente induzida é directamente proporcional a variação do fluxo na unidade de tempo.
- A Lei de Lenz é consequência da Lei de Conservação de Energia e estabelece que, a corrente induzida teve ter um sentido tal que pelos seus efeitos deve-se opor a causa que a produz.
- Se a causa que origina a corrente induzida é o aumento do fluxo magnético, então a corrente induzida deve se opor ao aumento do fluxo.
- Se a causa que origina a corrente induzida é a diminuição do fluxo magnético, então a corrente induzida deve se opor a diminuição do fluxo.

**Caríssimo aluno, certamente o seu resumo condiz com o que se apresenta nesta secção, assim; passe à resolução das actividades de fixação**

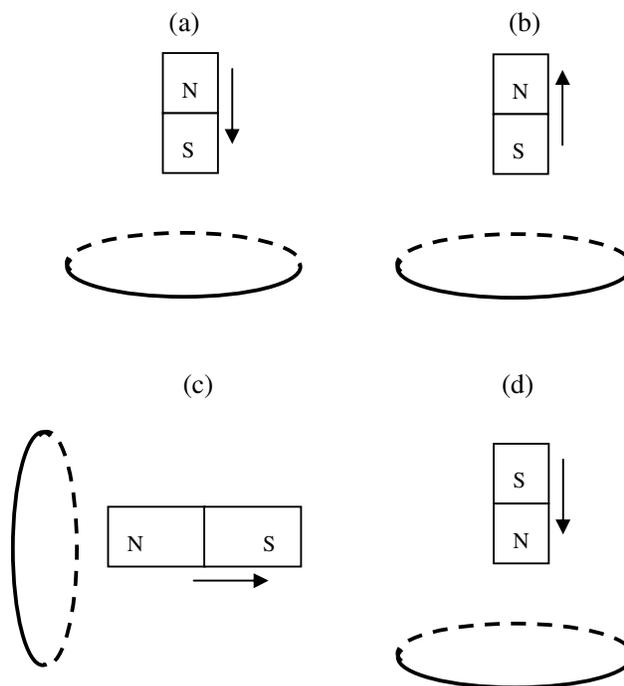
---

## Actividades de Fixação

**Caríssimo estudantes, resolva as questões das actividades de fixação e garanta a compreensão tratada nesta lição.**

**Mãos a obra!**

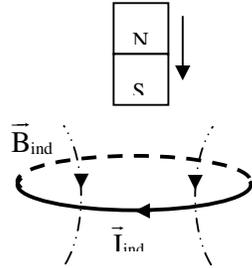
1. Determine o sentido da corrente induzida em cada um dos seguintes casos.



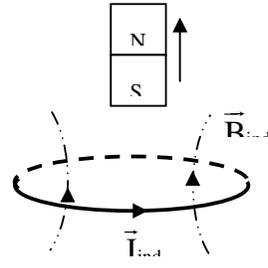
Ótimo querido aluno. Terminada a resolução das actividades de fixação, confira as suas respostas na chave de correcção que se apresenta a seguir.

Chave de Correção

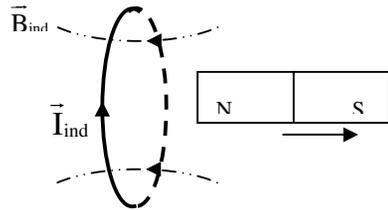
(a)



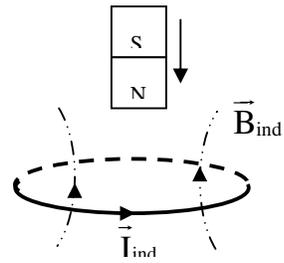
(b)



(c)



(d)



## Actividades de Avaliação

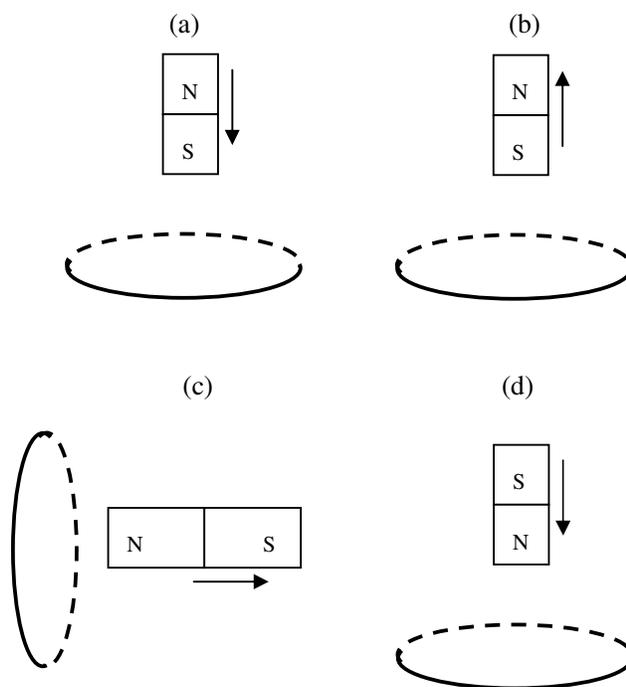


### Avaliação

Amigo estudante, realize no seu caderno de exercícios as actividades de avaliação e verifique o seu desempenho no estudo desta lição.

Mãos à obra!

Determine o sentido da corrente induzida em cada um dos seguintes casos.

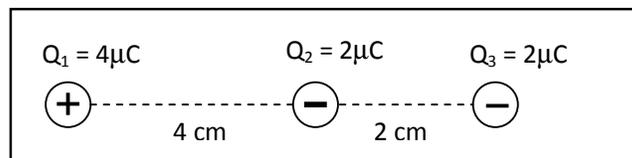


Ótimo bom estudantes, agora compare os seus resultados com os apresentados no fim deste módulo e passe do teste de preparação se tiver acertado em todas as questões das actividades de avaliação.

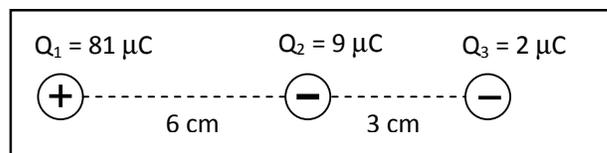
Sucessos!

## Teste de preparação

1. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.
  - a) Represente as forças que actuam sobre a carga  $Q_2$ .
  - b) Calcule a resultante das forças que actuam sobre a carga  $Q_2$ .

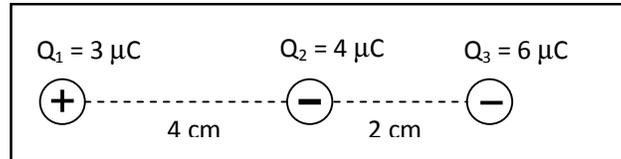


2. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.
  - a) Represente o campo eléctrico no ponto onde se encontra a carga  $Q_3$ .
  - b) Calcule o campo eléctrico resultante sobre a carga  $Q_3$ .

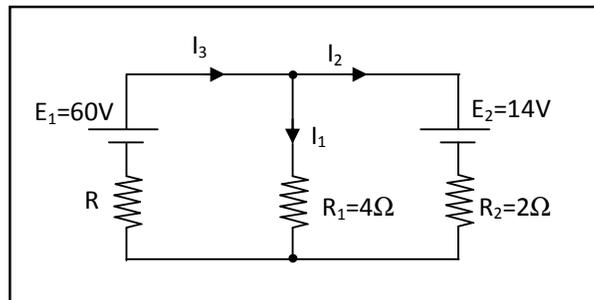


3. A figura representa um sistema de três cargas eléctricas pontuais.
  - a) Calcule o potencial resultante no ponto do espaço onde se encontra a carga  $Q_1$ .

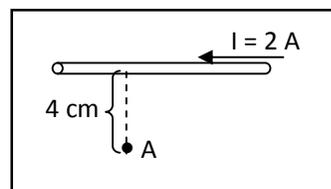
- b) Calcule o trabalho realizado a transportar uma carga de  $2 \mu\text{C}$  do lugar onde se encontra a carga  $Q_1$  para um outro ponto onde o potencial resultante vale  $18 \cdot 10^5 \text{ V}$ .



4. No circuito dado, se a intensidade da corrente  $i_1$  é  $5 \text{ A}$ , então calcule o valor da resistência da resistência  $R$  e das correntes  $I_2$  e  $I_3$ .



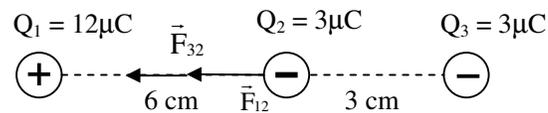
5. Determine o sentido, a direcção e o módulo do vector da indução magnética no ponto "A" pelo condutor rectilíneo.



## Chaves de Correção das Actividades de Avaliação

### Lição 1

1. a) V                      b) V                      c) F                      d) F
2. a)



b)

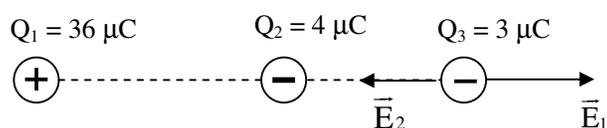
Dados	Fórmula	Resolução
$Q_1 = 12\mu\text{C}$ $Q_2 = 3\mu\text{C}$ $Q_3 = 3\mu\text{C}$	$F_{12} = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}^2}$	$F_{12} = 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2}$
$r_{12} = 6 \text{ cm}$	$F_{32} = k \frac{Q_2 \cdot Q_3}{r_{32}^2}$	$F_{12} = 90 \text{ N}$
$r_{32} = 3 \text{ cm}$	$F_R = F_{12} + F_{32}$	$F_{32} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2}$
$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{m}^2$		$F_{32} = 90 \text{ N}$
$F_{R2} = ?$		$F_{R2} = 90 + 90$
		$F_{R2} = 180 \text{ N}$

**Resposta:** A resultante das forças sobre a carga  $Q_2$  é de 180 N.

## Lição 2

1. a) V b) V c) F d) V e) F

2.a)



b)

Dados	Fórmula	Resolução
$Q_1 = 36 \mu\text{C}$ $Q_2 = 4 \mu\text{C}$ $r_{13} = 6 \text{ cm}$ $r_{23} = 3 \text{ cm}$ $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{C}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ $E_{R3} = ?$	$E_1 = k \frac{Q_1}{r_{13}^2}$ $E_2 = k \frac{Q_2}{r_{23}^2}$ $E_{R3} = E_1 + E_2$	$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{36 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2}$ $\Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ $E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-2})^2}$ $\Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ $E_{R3} = 9 \cdot 10^7 + 9 \cdot 10^7$ $\Rightarrow E_{R3} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ N/C}$

**Resposta:** O campo eléctrico resultante sobre a carga  $Q_3$ , é de  $1,8 \cdot 10^7 \text{ N/C}$ .

## Lição 3

1. a)  $U_X = 90 \text{ V}$

b)

Dados	Fórmula	Resolução
$U = 30 \text{ V}$ $r = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $E = ?$	$E = \frac{U}{r}$	$E = \frac{30}{3 \cdot 10^{-2}}$ $\Rightarrow E = 1000 \text{ N/C}$

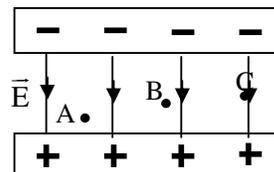
**Resposta:** A intensidade do campo eléctrico é de 1000 N/C.

c)

Dados	Fórmula	Resolução
$q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $U_Y = 30 \text{ V}$ $U_Z = 120 \text{ V}$ $W_{YZ} = ?$	$W_{YZ} = q \cdot (U_Y - U_Z)$	$W_{YZ} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 120)$ $W_{YZ} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (-90)$ $W_{YZ} = -1,8 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

**Resposta:** O trabalho realizado sobre a carga é de  $-1,8 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ .

2. a)

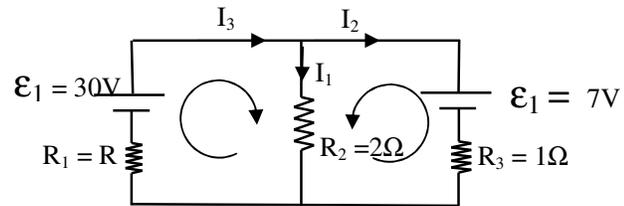


b)

Dados	Fórmula	Resolução
$r = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $U = 500 \text{ V}$ $E = ?$	$E = \frac{U}{r}$	$E = \frac{500}{2 \cdot 10^{-2}}$ $E = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$

**Resposta:** A intensidade do campo eléctrico entre as placas é de  $2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ .

## Lição 4



$$\Rightarrow \begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_1 \cdot R_2 + I_3 \cdot R = \varepsilon_1 \\ I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_3 = \varepsilon_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5 + I_2 - I_3 = 0 \\ 5 \cdot 2 + I_3 \cdot R = 30 \\ 5 \cdot 2 - I_2 \cdot 1 = 7 \end{cases}$$

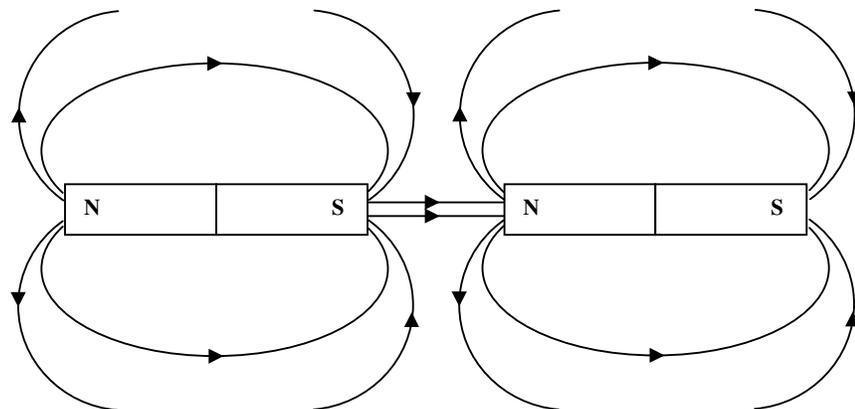
$$\Rightarrow \begin{cases} - & \begin{cases} 5 + I_2 - I_3 = 0 \\ - & \Rightarrow \begin{cases} 5 + 3 - I_3 = 0 \\ - \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases} \end{cases} \\ 10 - I_2 = 7 & \begin{cases} I_2 = 3 \text{ A} \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8 \text{ A} \\ 5 \cdot 2 + I_3 \cdot R = 30 \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8 \text{ A} \\ 10 + 8 \cdot R = 30 \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases}$$

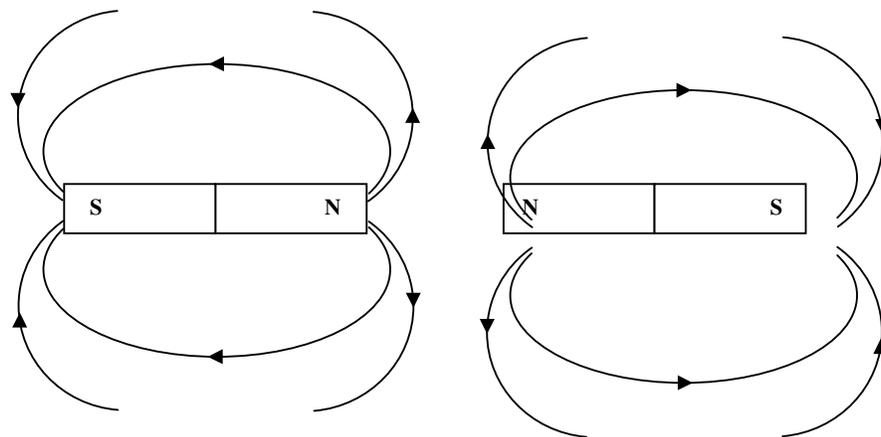
$$\Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8 \text{ A} \\ 8 \cdot R = 30 - 10 \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8 \text{ A} \\ R = 2,5 \Omega \\ I_2 = 3 \text{ A} \end{cases}$$

# Lição 5

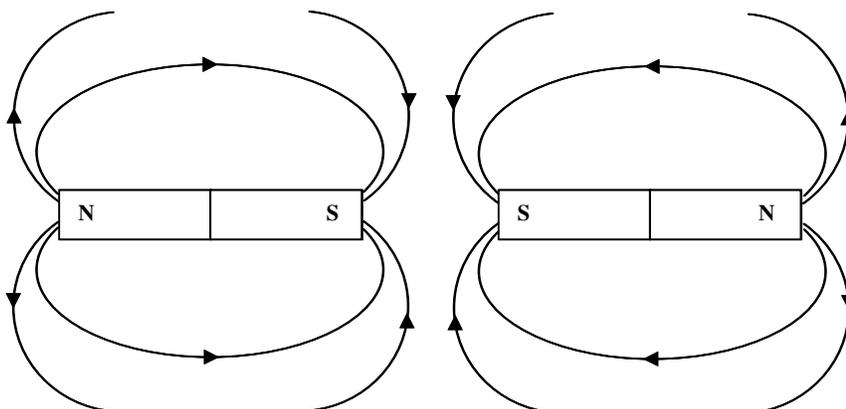
(a)



(b)

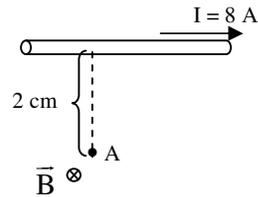


(c)



## Lição 6

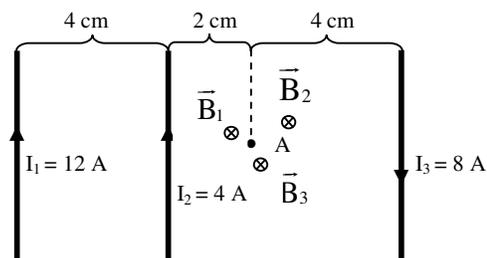
1.



Dados	Fórmula	Resolução
$I = 8 \text{ A}$ $r = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ $B = ?$	$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}}$ $B = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

**Resposta:** A intensidade do campo magnético é de  $8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

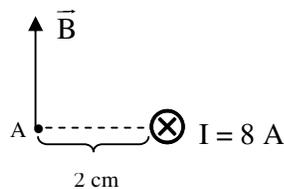
2.



Dados	Fórmula	Resolução
$I_1 = 12 \text{ A}$	$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1}$	$B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 12}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-2}}$
$I_2 = 4 \text{ A}$		$B_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
$I_3 = 8 \text{ A}$	$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi \cdot r_2}$	$B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}}$
$r_1 = 6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$		$B_2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
$r_2 = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	$B_3 = \frac{\mu_0 \cdot I_3}{2\pi \cdot r_3}$	$B_3 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}}$
$r_3 = 4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$		$B_3 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$	$B_R = B_1 + B_2 + B_3$	$B_R = 4 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-5}$
$B_R = ?$		$B_R = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$

**Resposta:** A intensidade do campo magnético resultante é de  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ .

3.



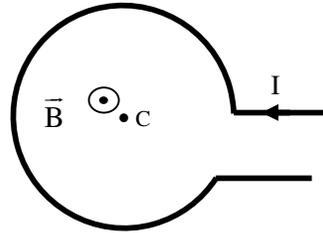
Dados	Fórmula	Resolução
$I = 8 \text{ A}$	$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$	$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}}$
$r = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$		$B = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$		
$B = ?$		

**Resposta:** A intensidade do campo magnético é de  $8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

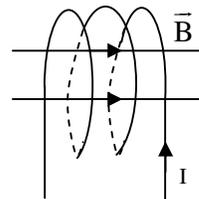
---

## Lição 7

3.



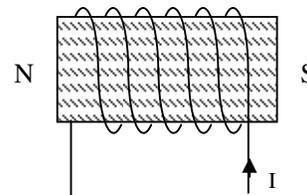
4.



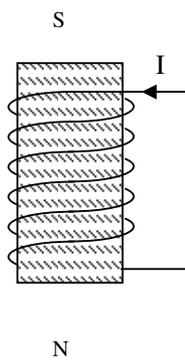
---

## Lição 8

3.

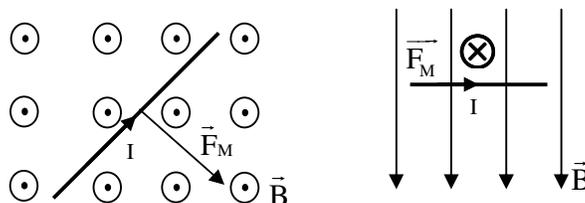


4.

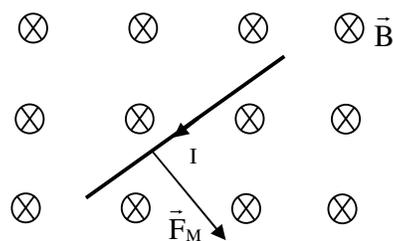


## Lição 9

1.



2.

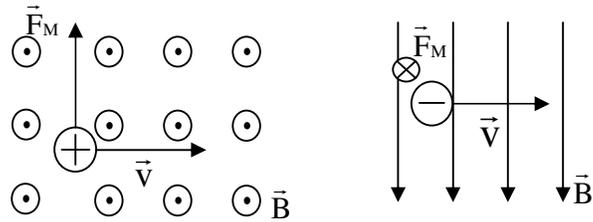


Dados	Fórmula	Resolução
$L = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$ $I = 8 \text{ A}$ $B = 0,25 \text{ T}$ $\alpha = 90^\circ$ $F_M = ?$	$F_M = B \cdot I \cdot L \cdot \text{sen}\alpha$	$F_M = 0,25 \cdot 8 \cdot 0,4 \cdot \text{sen}90^\circ$ $F_M = 0,32 \text{ N}$

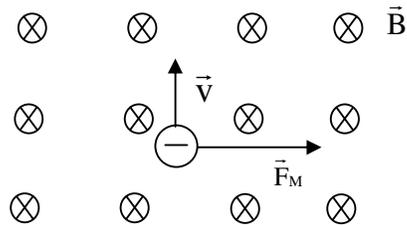
**Resposta:** A força magnética é de 0,32 N.

## Lição 10

1.



2.

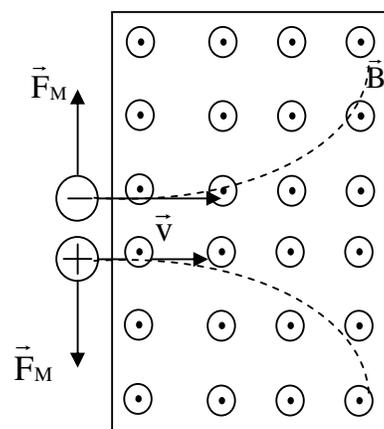


Dados	Fórmula	Resolução
$q = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $v = 2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ $B = 0,25 \text{ T}$ $\alpha = 90^\circ$ $F_M = ?$	$F_M = B \cdot q \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$	$F_M = 0,25 \cdot 6,4 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot \text{sen}90^\circ$ $F_M = 3,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$

**Resposta:** A força magnética é de  $3,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ .

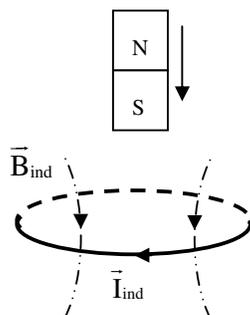
---

## Lição 11

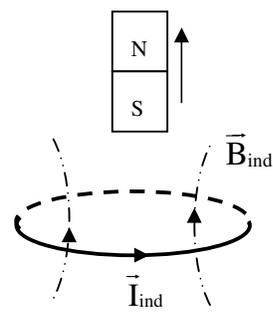


# Lição 12

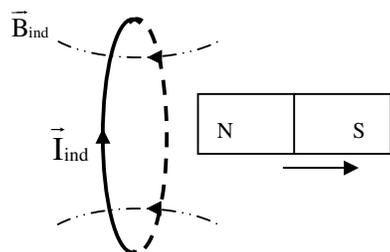
(b)



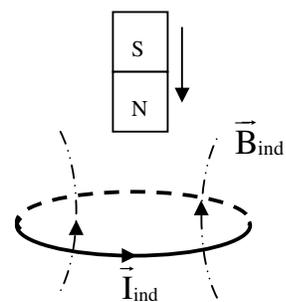
(b)



(c)

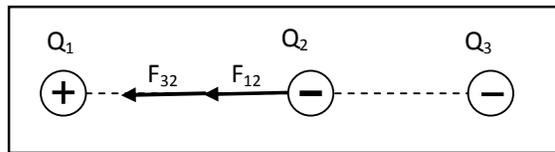


(d)



## Chave de Correção teste de preparação

- Para resolver este tipo de exercícios convém obedecer aos seguintes passos:
  - Representar as forças que actuam sobre a carga em causa.
  - Calcular o valor de cada uma das forças que actuam sobre a carga em causa.
  - Calcular a resultante das forças que actuam sobre a carga em causa.



$$F_{12} = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F_{12} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow F_{12} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-12}}{16 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{12} = \frac{72 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{12} = 45 \text{ N}$$

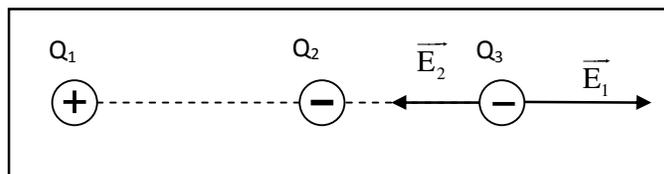
$$F_{32} = k \frac{Q_3 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F_{32} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow F_{32} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{32} = \frac{36 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_{32} = 90 \text{ N}$$

$$F_R = 45 + 90 \Rightarrow F_R = 135 \text{ N}$$

2.

a)



b)



$$E_1 = k \frac{Q_1}{r^2}$$

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{81 \cdot 10^{-6}}{(9 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{81 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_1 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{Q_2}{r^2}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-4}}$$
$$\Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_2 = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_R = 9 \cdot 10^7 - 9 \cdot 10^7 \Rightarrow E_R = 0 \text{ N/C}$$

3.

a)

$$U_2 = k \frac{Q_2}{r_2} \Rightarrow U_2 = -9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow U_2 = -9 \cdot 10^5 \text{ V}$$

$$U_3 = k \frac{Q_3}{r_3} \Rightarrow U_3 = -9 \cdot 10^9 \frac{6 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow U_3 = -9 \cdot 10^5 \text{ V}$$

$$U_R = U_2 + U_3 \Rightarrow U_R = -9 \cdot 10^5 + (-9 \cdot 10^5) \Rightarrow U_R = -18 \cdot 10^5 \text{ V}$$

b)

$$W = q \cdot (U_A - U_B) \Rightarrow W = 2 \cdot 10^{-6} \cdot [-18 \cdot 10^5 - (18 \cdot 10^5)]$$
$$\Rightarrow W = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (-36 \cdot 10^5) \Rightarrow W = -7,2 \text{ J}$$

4.

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = R \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1 \\ E_2 = -R_2 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} - \\ 60 = R \cdot I_3 + 4.5 \\ 14 = -2 \cdot I_2 + 4.5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} - \\ 14 = -2 \cdot I_2 + 20 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} - \\ I_2 = 3A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5 + 3 - I_3 = 0 \\ - \\ I_2 = 3A \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8A \\ 60 = R \cdot 8 + 20 \\ I_2 = 3A \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = 8A \\ R = 5\Omega \\ I_2 = 3A \end{cases}$$

$$5. \quad B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r} \Rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B = 1 \cdot 10^{-5} \text{T}$$