

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

ELETROMAGNETISMO

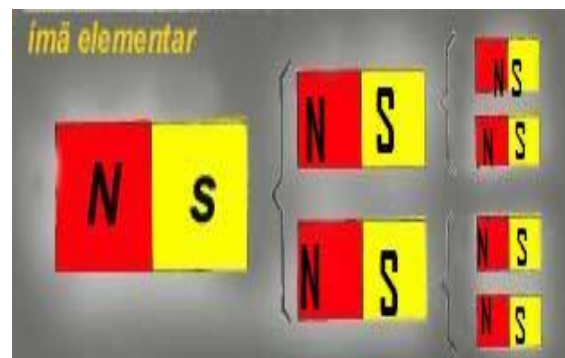
Campo magnético

Força magnética

Indução eletromagnética

PROPRIEDADES DOS ÍMÃS

O estudo dos ímãs remonta da China antiga, quando, por curiosidade, as pessoas utilizavam a hematita (óxido de ferro) para atrair alguns metais como o ferro. De uma maneira geral, os ímãs



possuem algumas propriedades:

- Os ímãs são fontes naturais de campo magnético.
- Possuem dois pólos, denominados *norte* e *sul*.
- Ao se partir um ímã ao meio, este criará dois novos ímãs, e assim sucessivamente. Portanto, é impossível separar os pólos de um ímã.

PROF: Ricardo Sutana de Mello

CREDITOS:Renan Schetino de Souza

- Os pólos de mesmo nome se repelem e os de nomes diferentes se atraem.
- Os pólos se orientam, aproximadamente, segundo a direção norte-sul terrestre quando o ímã pode girar livremente. O pólo do ímã que se orienta para o norte da Terra recebe o nome de pólo norte do ímã e o que se orienta para o sul de pólo sul. Esse é o princípio da bússola e nos faz concluir que a Terra funciona como um ímã, sendo que o pólo norte geográfico é o pólo sul magnético e vice-versa.

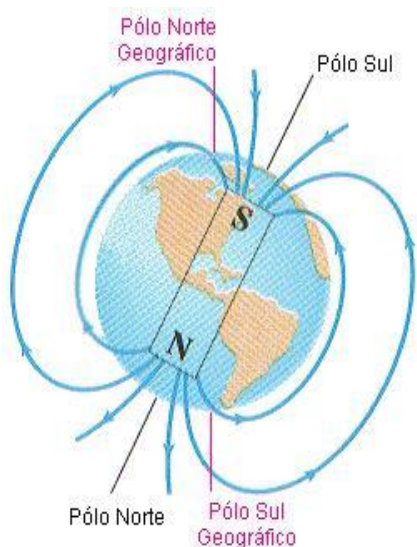
denominado *vetor indução magnética* ou, simplesmente, *vetor campo magnético*.

A unidade de campo magnético no sistema internacional é chamada Tesla:

$$B \text{ (Campo Magnético)} = 1 \text{ Tesla} = 1 \text{ T}$$

O campo magnético dos ímãs é determinado experimentalmente. Assim como utilizamos linhas de força para representarmos o campo elétrico, utilizaremos *linhas de indução* para representarmos o comportamento do campo magnético em certo local. Convenciona-se que:

As linhas de força saem no pólo norte e chegam



Os objetos podem ser imaginados como sendo constituídos em seu interior por vários “pequeninos ímãs elementares” (campos magnéticos gerados por correntes elétricas no seu interior). Estes ímãs estão alinhados aleatoriamente. Uma substância está imantada quando estes pequeninos ímãs se orientam em um determinado sentido. É por isso que algumas substâncias se imantam ao serem aproximadas por um ímã.



LINHAS DE INDUÇÃO

Em eletrostática, vimos que uma carga elétrica puntiforme fixa origina, no espaço que a envolve, um campo elétrico. A cada ponto P do campo associou-se um vetor campo elétrico \vec{E} . Analogamente, a cada ponto de um campo magnético, associaremos um vetor \vec{B} ,



ao pólo sul, externamente ao ímã.

Como os pólos norte e sul são inseparáveis, as linhas de indução de um dado campo magnético são sempre fechadas.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR CORRENTES ELÉTRICAS

Hans Cristian Oersted descobriu, ao longo de uma aula sobre eletricidade, que uma corrente elétrica pode gerar um campo magnético. O experimento utilizado era um circuito elétrico com uma fonte, uma lâmpada, uma chave e uma bússola ao lado deste circuito. Quando a chave estava desligada, a bússola se orientava na direção norte-sul da Terra. Quando a chave era ligada, a bússola sofria uma deflexão, o que

indicava a existência de um campo magnético na região. Assim ele uniu a eletricidade ao magnetismo, dando origem ao Eletromagnetismo.

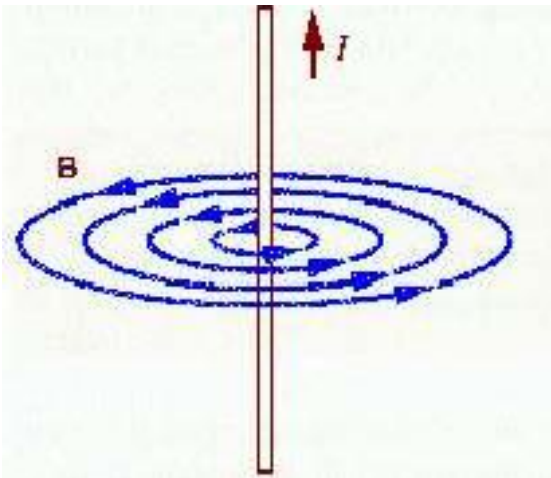
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

Cargas elétricas em movimentam geram campo magnético

Vamos estudar três situações em que o campo magnético é criado por uma corrente elétrica: fio reto e longo, espira circular e solenóide.

- **CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM FIO RETO E LONGO**

Imagine um fio reto e longo, percorrido por uma corrente elétrica de intensidade "i". Este fio gera ao seu redor, em toda a sua extensão, um campo magnético circular, de acordo com a figura abaixo:

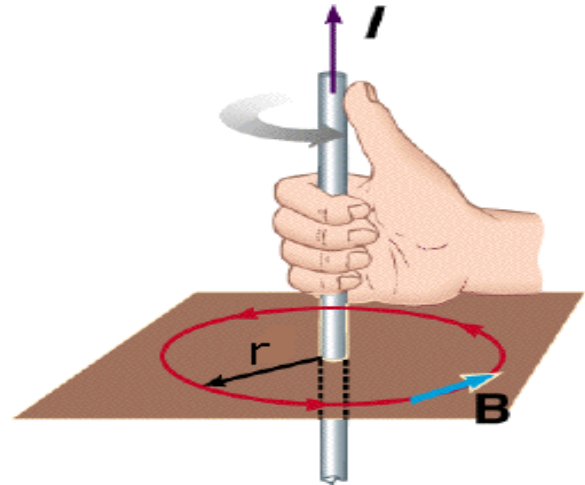


A uma distância r do fio, a intensidade do vetor indução magnética é dada por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

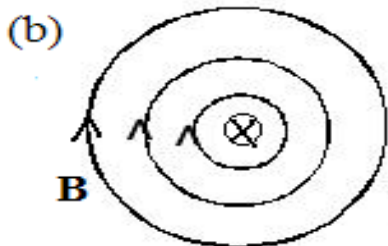
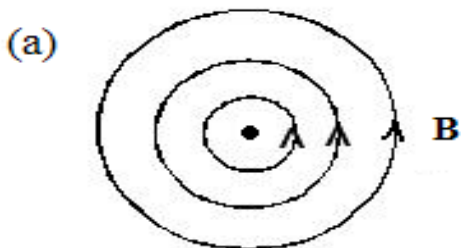
Onde: μ_0 é chamado de permissividade magnética do vácuo e é uma característica do meio

Percebe-se que as linhas de indução são circunferências concêntricas em relação ao fio. O sentido dessas linhas é dado pela regra da mão direita nº 1. Coloque o polegar direito no sentido da corrente elétrica. Com os outros dedos, tente pegar o fio. O movimento que você faz com os



dedos corresponde ao sentido das linhas de indução.

Podemos representar também o fio retilíneo visto de cima:



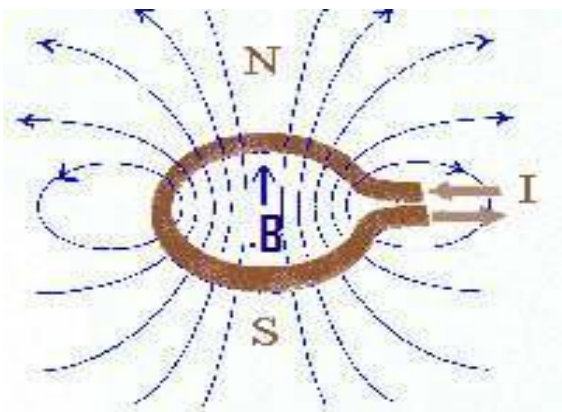
⊗ corrente "entrando na página"

⊙ corrente "saindo" da página

Em (a) temos uma situação onde a corrente elétrica está "saindo" do plano do campo magnético (onde representamos por um ponto). Em (b) a corrente está "entrando" no plano (onde representamos por "x").

• **CAMPO GERADO POR UMA ESPIRA CIRCULAR**

Imagine, agora, uma espira circular (condutor dobrado em forma de uma circunferência) de raio R . Uma corrente elétrica passa a circular na espira e, com isso, aparece um campo magnético.

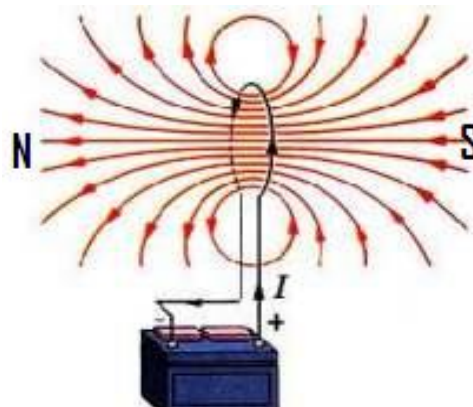


No centro da espira, a intensidade do vetor indução magnética é dada por:

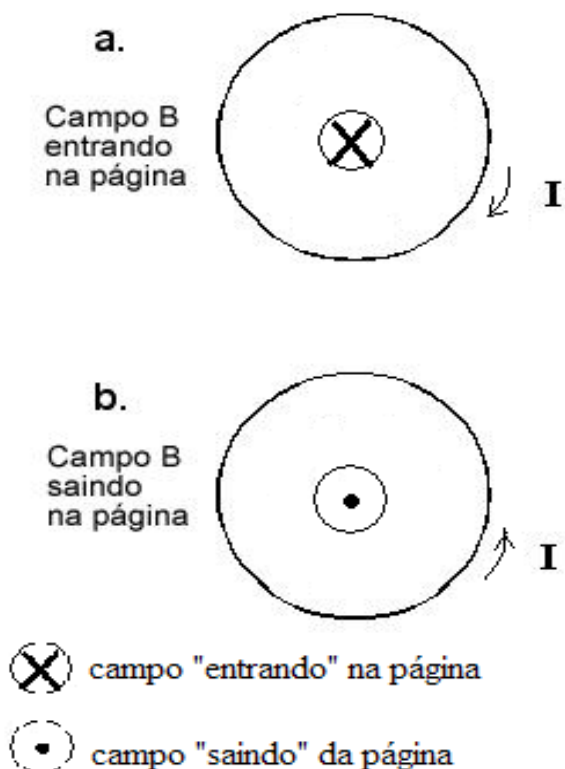
$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{R}$$

A direção do vetor indução (no interior da espira) é perpendicular ao plano da espira e o sentido é dado pela mesma regra utilizada no caso de um fio retilíneo, porém, inverte-se o campo pela corrente. Por exemplo: no caso da espira circular, o polegar determina o sentido do campo magnético e o movimento dos dedos agora determinam o sentido da corrente.

Uma espira circular percorrida por uma corrente origina um campo magnético análogo ao de um ímã em formato de barra. Conseqüentemente, atribui-se a ela um pólo norte, do qual as linhas saem, e um pólo sul, no qual elas chegam.



A espira pode também ser representada no plano da figura, quando então o vetor indução magnética no centro será perpendicular a esse plano.



Em (a) temos a situação da representação de uma espira percorrida por uma corrente elétrica no sentido horário, assim o vetor campo magnético tem a direção perpendicular ao plano da espira, como se estivesse entrando na página (onde representamos por um "x"). Em (b), a corrente tem o sentido anti-horário, com isso o vetor campo magnético também tem a direção perpendicular à espira, porém o sentido é como se ele estivesse saindo da folha (representado por um ponto).

Bobina Chata:

Justapondo-se N espiras iguais, de modo que a espessura seja muito menor que o diâmetro de cada espira, temos a denominada bobina chata, onde a intensidade do vetor indução magnética no centro vale:

$$B = N \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{R}$$

• CAMPO MAGNÉTICO FORMADO POR UM SOLENÓIDE

Agora, imagine que você pegou um fio e o enrolou, fazendo espiras iguais e igualmente espaçadas, formando uma espécie de mola. Damos o nome a esse objeto de solenóide ou bobina.



Quando ele é percorrido por uma corrente elétrica, forma-se um campo magnético uniforme em seu interior, que pode ser determinado por:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L}$$

Onde N é o número de espiras e L é o comprimento do solenóide.

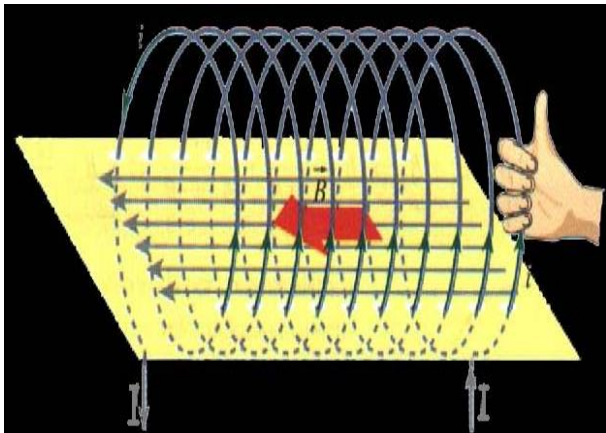
Ou também:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot i$$

Onde n é o número de espiras por unidade de comprimento do solenóide: $\frac{N}{L}$ (densidade linear de espiras).

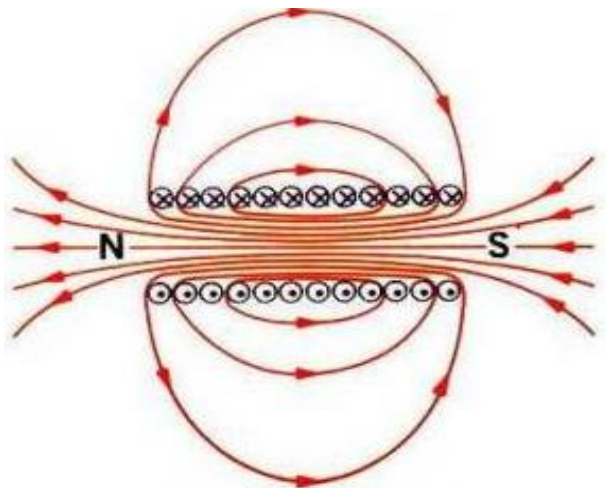
Para determinarmos o sentido do campo basta utilizar novamente a regra da mão direita nº 1.

Coloque o polegar direito no sentido da corrente elétrica. Com os outros dedos, tente pegar o fio. O movimento que você faz com os dedos corresponde ao sentido das linhas de indução.



Conforme mostra a figura acima, no interior do solenóide, o campo é praticamente uniforme e tem a direção de seu eixo geométrico; externamente, o campo é praticamente nulo.

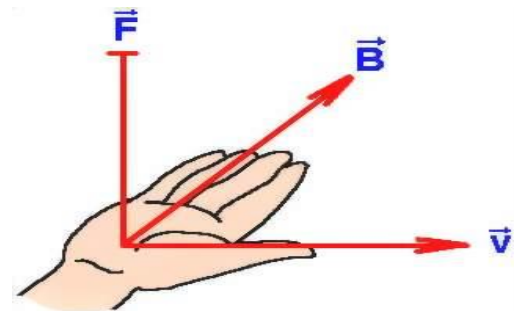
O solenóide também pode ser representado visto de cima:



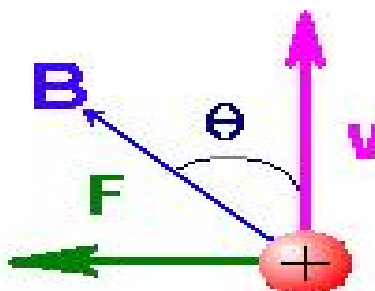
Na figura anterior, os (x) representam os pontos onde a corrente “entra” na página e os (.) são os pontos onde ela “sai”.

FORÇA MAGNÉTICA

Quando uma carga é lançada com uma certa velocidade \vec{v} em uma região em que haja campo magnético, pode haver nela a aplicação de uma força magnética. A figura a seguir mostra essa



situação:



Carga numa região de campo magnético onde o vetor velocidade (\vec{v}) forma um ângulo θ com o vetor indução magnética (\vec{B}). O vetor força (\vec{F}) que nela atua é perpendicular a \vec{v} e \vec{B} .

O módulo da força magnética que nela atua é dado por:

$$F = |q| v B \text{sen} \theta$$

Onde a carga q é tomada em módulo.

Veja que o ângulo θ é formado pela velocidade \vec{v} e o campo magnético \vec{B} . Há algumas situações que devem ser verificadas com muito cuidado:

- Uma carga em repouso não sofre a ação de força magnética ($v = 0$, logo, $F = 0$).

- Quando a carga for lançada na mesma direção do campo magnético, não haverá força. Neste caso o ângulo θ será 0° (se \vec{v} tiver mesmo sentido que \vec{B}) ou 180° (se \vec{v} tiver sentido oposto à \vec{B}). Como $\sin 0^\circ = 0$ e $\sin 180^\circ = 0$, logo, $F = 0$.
- O ângulo de lançamento que produz a força máxima é de 90° ($\sin 90^\circ = 1$).

Podemos determinar a orientação da força magnética por meio da regra da mão direita n° 2. De acordo com ela, devemos orientar o polegar direito no sentido da velocidade da carga, os outros dedos no sentido do campo magnético. Se a carga for positiva, a força corresponde a um tapa com a palma da mão. No caso de a carga ser negativa, o sentido da força é de um tapa com as costas da mão.

A carga que sofre a ação da força na figura acima é positiva (tapa com a palma da mão). Caso ela fosse negativa, o sentido da força seria o contrário (tapa com as costas da mão).

MOVIMENTO DE UMA CARGA EM UM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

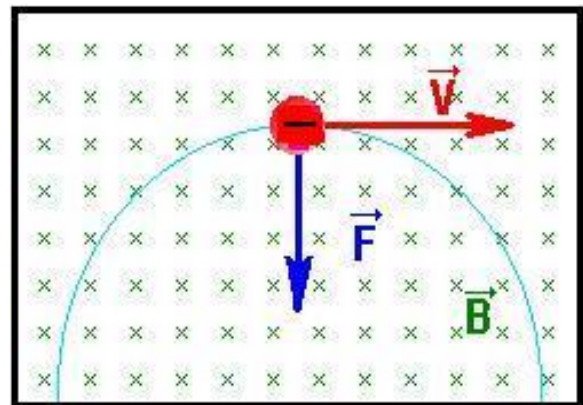
Considere uma carga puntiforme q lançada em um campo magnético uniforme \vec{B} . Essa carga poderá descrever diversos tipos de movimentos, conforme a direção de sua velocidade \vec{v} e, conseqüentemente, da força magnética que nela atua.

I) \vec{v} é paralela a \vec{B}

Quando a carga for lançada na mesma direção do campo magnético, não haverá força. Neste caso o ângulo θ será 0° (se \vec{v} tiver mesmo sentido que \vec{B}) ou 180° (se \vec{v} tiver sentido oposto à \vec{B}). Como $\sin 0^\circ = 0$ e $\sin 180^\circ = 0$, logo, $F = 0$.

II) \vec{v} é perpendicular a \vec{B}

Na figura abaixo, com $\theta = 90^\circ$ a força magnética não é nula. Sendo \vec{F} perpendicular a \vec{v} , decorre que a força magnética é a resultante centrípeta, alterando apenas a direção da velocidade. Assim, o módulo de \vec{v} permanece constante e o movimento é circular e uniforme (MCU). Esse movimento é descrito em um plano que contém \vec{v} e \vec{F} , sendo perpendicular a \vec{B} .



- Cálculo do raio da trajetória

Sendo m a massa da partícula e R o raio de sua trajetória, tem-se:

$$F_{\text{centrípeta}} = m \frac{v^2}{R}$$

$$F_{\text{Mag}} = |q| v B \sin \theta$$

$$F_{\text{Mag}} = F_{\text{Centrípeta}}$$

$$\rightarrow |q| v B \sin\theta = m \frac{v^2}{R}$$

$$\rightarrow |q| v B = m \frac{v^2}{R}$$

$$\rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| B}$$

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| B}$$

- Cálculo do período:

Sendo T o período, isto é, o intervalo de tempo que corresponde a uma volta completa, tem-se:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}; \text{ numa volta completa}$$

$\Delta t = T$ e $\Delta s = 2\pi R$ (no caso de uma circunferência), portanto:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{v} R \Rightarrow T = \frac{2\pi}{v} \cdot \frac{m \cdot v}{|q| B} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{|q| B}$$

$$T = \frac{2\pi m}{|q| B}$$

Neste caso, \vec{v} não é totalmente paralela ou perpendicular a \vec{B} , portanto, a velocidade pode ser decomposta segundo as direções de uma componente paralela e outra perpendicular a \vec{B} .

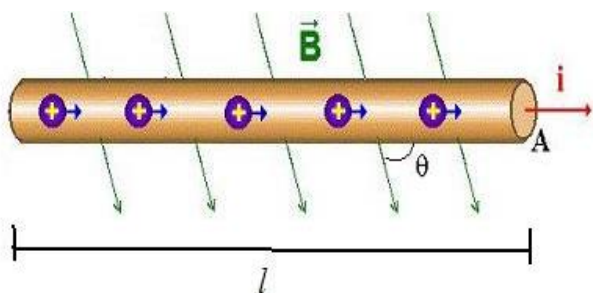
Segundo a componente paralela, a carga tende a executar MRU na direção de \vec{B} , e, segundo a componente perpendicular, tende a executar MCU em um plano perpendicular a \vec{B} . O resultado da composição desses dois movimentos uniformes é um *movimento helicoidal uniforme*. A trajetória descrita é uma *hélice cilíndrica*.

FORÇA SOBRE UM CONDUTOR RETO EM UM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

Se ao invés de uma carga isolada, tivermos um fio com uma corrente elétrica imerso em um campo magnético, teremos um procedimento semelhante para o cálculo da força magnética sobre ele.

Considere um condutor reto, de comprimento l , percorrido por um acorrente i em um campo magnético uniforme de indução \vec{B} , e seja θ o ângulo entre \vec{B} e a direção do condutor.

III) \vec{v} é oblíqua a \vec{B}



Se Δq é a carga transportada pela corrente i , no intervalo de tempo Δt , ao longo do condutor de comprimento l , temos $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, portanto, $q = i\Delta t$. Por outro lado, $v = \frac{l}{\Delta t}$ e jogando estes valores de q e v na fórmula $F_{Mag} = |q|vB\sin\theta$, teremos:

$$F_{mag} = Bil\sin\theta$$

Como o sentido convencional da corrente elétrica é o mesmo do movimento das cargas positivas, podem-se utilizar, para determinar o sentido de \vec{F} , a regra da mão direita n°2, trocando-se v por i no lugar do polegar. Observe que a força magnética tem direção perpendicular ao plano formado por \vec{B} e i .

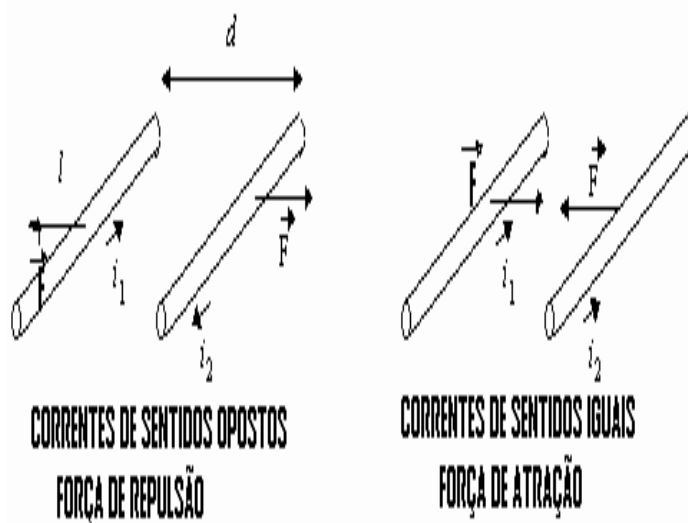
FORÇA ENTRE CONDUTORES PARALELOS

Quando colocamos dois fios longos e retos paralelamente um ao outro, separados por uma distância r e situados no vácuo, o campo magnético gerado por um irá aplicar uma força no outro, e vice-versa, ao longo de um comprimento l destes fios, cujo módulo é dado por:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{r} l$$

Onde i_1 é a corrente no fio 1 e i_2 a corrente no fio 2.

O sentido desta força dependerá também do sentido da corrente que percorre os fios:



CORRENTES DE SENTIDOS OPOSTOS
FORÇA DE REPULSÃO

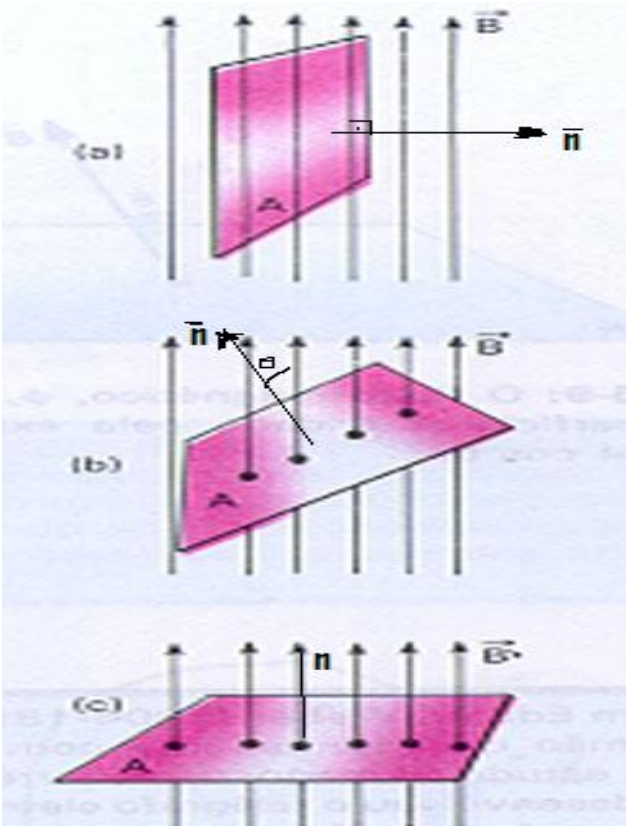
CORRENTES DE SENTIDOS IGUAIS
FORÇA DE ATRAÇÃO

Entre dois condutores retos e extensos, paralelos e percorridos por correntes, a força magnética será de atração quando as correntes nos fios tiverem o mesmo sentido e de repulsão se tiverem sentidos opostos.

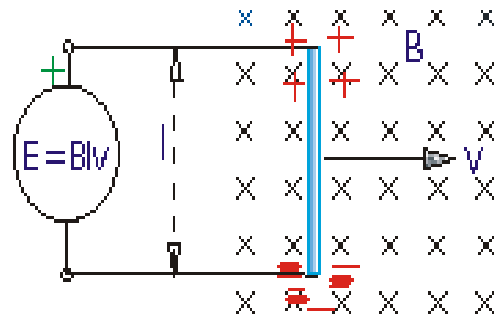
FLUXO MAGNÉTICO

Denomina-se fluxo magnético a grandeza escalar que mede o número de linhas de indução que atravessam a área A de uma determinada espira imersa num campo magnético de indução \vec{B} .

Abaixo representamos três possíveis posições de uma espira retangular numa região de campo magnético. Observe que o fluxo na espira depende da posição em que ela é colocada (perpendicular paralela ou oblíqua ao campo magnético); ou seja, do ângulo θ em que \vec{n} , vetor normal (perpendicular) a superfície, forma com \vec{B} .



Considere um condutor reto, de comprimento l , movendo-se com uma velocidade v , em um campo magnético uniforme \vec{B} . Como os elétrons acompanham o movimento do condutor, eles ficam sujeitos a uma força magnética, cujo sentido é determinado pela regra da mão direita nº2. Elétrons livres se deslocam para uma extremidade do condutor, ficando a outra extremidade eletrizada com cargas positivas. As cargas desses extremos originam um campo elétrico no interior do condutor e os elétrons ficam sujeitos, também, a uma força elétrica de sentido contrário ao da força magnética.



Logo, o fluxo magnético na espira pode ser calculado por:

$$\phi = BA \cos \theta$$

No sistema internacional a unidade de fluxo magnético (ϕ) é o Weber:

$$1\text{Weber} = 1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$$

Observe, na figura acima, que em (a) o ângulo θ formado pelo vetor \vec{n} e o vetor \vec{B} é 90° , conseqüentemente, o fluxo pela superfície é nulo ($\cos 90^\circ = 0$). Já em (c), este ângulo θ é de 0° , logo, o fluxo pela superfície tem seu valor máximo ($\cos 0^\circ = 1$).

A separação de cargas no condutor ocorrerá até que essas forças (magnética e elétrica) se equilibrem. Com isso aparecerá uma d.d.p nos terminais do condutor, cuja fem é dada por:

$$\varepsilon = Bvl$$

Demonstração:

$$V(\text{vtagem}) = Ed \rightarrow E = \frac{V}{d}$$

$$E = \frac{\varepsilon}{l} \quad \begin{matrix} \text{(fem)} \\ \text{(comprimento)} \end{matrix}$$

$$F_{\text{Magnética}} = F_{\text{Elétrica}} \rightarrow Bqv = qE \rightarrow Bv = E$$

CORRENTE INDUZIDA – FEM INDUZIDA

$$\mathbf{Bv} = \frac{\boldsymbol{\varepsilon}}{l} \rightarrow \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{Bvl}$$

Portanto, ligando-se fios condutores as extremidades dessa barra obtêm-se uma corrente elétrica no circuito assim formado. A intensidade i desta corrente será o quociente da fem induzida $\boldsymbol{\varepsilon}$ pela resistência R do circuito:

$$i = \frac{\boldsymbol{\varepsilon}}{R}$$

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Após estudar todos os casos de aparecimento de fem induzida, Faraday concluiu:

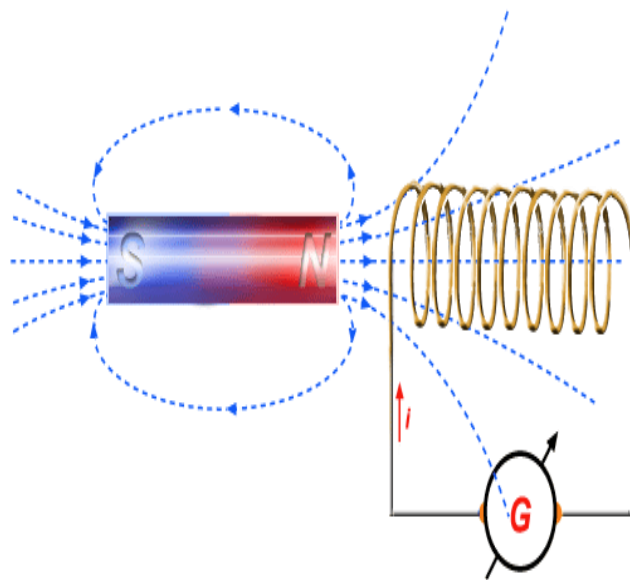
Toda vez que o fluxo magnético através de um circuito varia, surge, neste circuito, uma fem induzida.

Esse fenômeno é chamado *indução eletromagnética*, e o circuito onde ele ocorre é chamado *circuito induzido*.

Apresentamos abaixo, algumas formas de se induzir um circuito:

1º - Indução numa bobina com deslocamento de ímã

Suponhamos uma bobina cujos extremos sejam ligados a um galvanômetro (aparelho para medir correntes elétricas de pequenas intensidades). Aproximando-se desta bobina um ímã, esta ficará imersa a um campo magnético. Deslocando-se o ímã, para frente ou para trás, o fluxo magnético que atravessa as espiras da bobina varia. A variação do fluxo provoca o

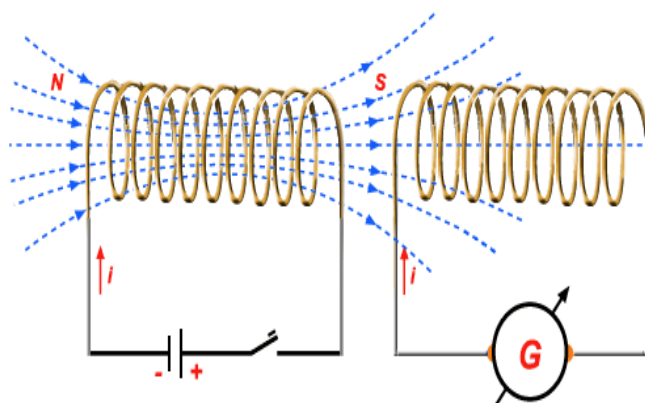


aparecimento de uma corrente elétrica, que o galvanômetro acusa.

A causa da indução é a variação do fluxo magnético. Por isso, o que interessa é um movimento relativo do ímã em relação à bobina: é indiferente manter-se a bobina fixa e deslocar-se o ímã, ou manter-se o ímã fixo e deslocar-se a bobina.

2º - Indução numa bobina produzida por outra bobina

Em vez de se produzir o campo magnético com um ímã, pode-se produzi-lo com uma bobina. Liga-se uma bobina a um gerador, que fornece corrente i . Essa corrente produz o campo magnético. Uma segunda bobina é ligada a um galvanômetro G. Deslocando-se qualquer das bobinas em relação à outra, haverá variação do fluxo magnético nessa segunda bobina, e conseqüentemente, indução eletromagnética: o



galvanômetro acusa a passagem de uma corrente i .

LEI DE LENZ

O sentido da corrente induzida no circuito é tal que ela origina um fluxo magnético induzido, que se opõe à variação do fluxo magnético, denominado indutor. Portanto:

O sentido da corrente induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se à causa que lhe deu origem.

Por exemplo: se o fluxo magnético em um circuito aumentar, surgirá neste mesmo circuito uma corrente induzida, cujo sentido seja tal que crie um campo magnético de sentido oposto ao campo que o induziu. Caso o fluxo neste circuito diminua, surgirá uma corrente de modo a criar um campo magnético de mesmo sentido ao campo indutor, para que se aumente este fluxo sobre ele.

A fem induzida média em um circuito é igual ao quociente da variação do fluxo magnético $\Delta\phi$ pelo intervalo de tempo Δt em que ocorre, com sinal trocado.

LEI DE FARADAY-NEUMANN

Suponha que no instante t , o fluxo magnético através de uma espira seja $\phi_{inicial}$ e, em um instante posterior $t + \Delta t$, seja ϕ_{final} . A lei de Faraday-Neumann afirma que a fem induzida média neste intervalo de tempo vale:

$$\varepsilon_m = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Onde $\Delta\phi = \phi_{final} - \phi_{inicial}$



A energia elétrica produzida nas usinas hidrelétricas é levada, mediante condutores de eletricidade, aos lugares mais adequados para o seu aproveitamento. Toda a rede de distribuição depende estreitamente dos *transformadores*, que elevam a tensão, ora a rebaixam.

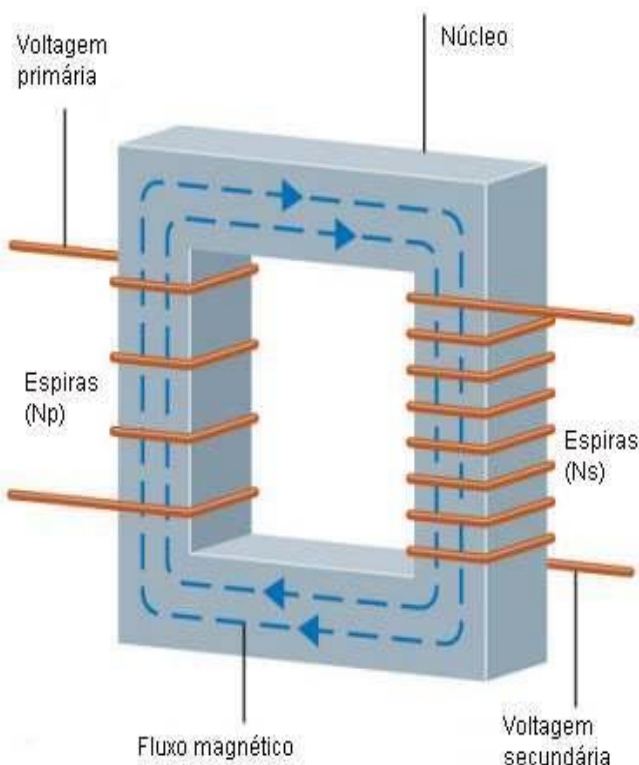
Nas linhas de transmissão a perda de potência por liberação de calor é proporcional à resistência dos condutores e ao quadrado da intensidade da corrente que os percorre ($P = R \cdot i^2$). Para diminuir a resistência dos condutores seria necessário usar fios mais grossos, o que os tornaria mais pesados e o transporte absurdamente caro. A

solução é o uso do transformador que aumenta a tensão, nas saídas das linhas da usina, até atingir um valor suficientemente alto para que o valor da corrente desça a níveis razoáveis ($P = U \cdot i$). Assim, a potência transportada não se altera e a perda de energia por aquecimento nos cabos de transmissão estará dentro dos limites aceitáveis.

Na transmissão de altas potências, tem sido necessário adotar tensões cada vez mais elevadas, alcançando em alguns casos a cifra de 400.000 volts. Quando a energia elétrica chega aos locais de consumo, outros transformadores abaixam a tensão até os limites requeridos pelos usuários, de acordo com suas necessidades.

O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenômeno conhecido como indução eletromagnética: quando um circuito é submetido a um campo magnético variável, aparece nele uma corrente elétrica cuja intensidade é proporcional às variações do fluxo magnético.

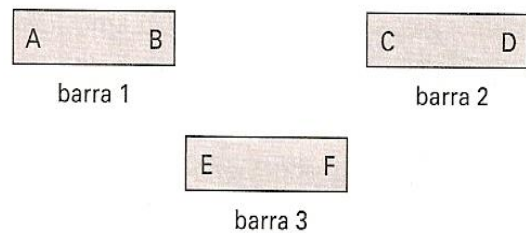
Os transformadores, na sua forma mais simples, consistem de dois enrolamentos de fio (o primário e o secundário), que geralmente envolvem os braços de um quadro metálico (o núcleo). Uma corrente alternada aplicada ao primário produz um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de espiras do enrolamento (número de voltas do fio em torno do braço metálico). Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência e, assim, concentra-se no núcleo, em grande parte, e chega ao enrolamento secundário com um mínimo de perdas. Ocorre, então, a indução eletromagnética: no secundário surge uma corrente elétrica, que varia de acordo com a corrente do primário e com a razão entre os números de espiras dos dois enrolamentos.



A relação entre as voltagens no primário e no secundário, bem como entre as correntes nesses enrolamentos, pode ser facilmente obtida: se o primário tem N_p espiras e o secundário, N_s espiras, a voltagem no primário (V_p) está relacionada à voltagem no secundário (V_s) por $V_p/V_s = N_p/N_s$, e as correntes por $I_p/I_s = N_s/N_p$. Desse modo um transformador ideal (que não dissipa energia), com cem espiras no primário e cinquenta no secundário, percorrido por uma corrente de 1 ampère, sob 110 volts, fornece no secundário, uma corrente de 2 ampères sob 55 volts.

EXERCÍCIOS

- Um menino encontrou três pequenas barras homogêneas e, brincando com elas, percebeu que, dependendo da maneira como aproximava uma da outra, elas se atraíam ou se repeliam. Marcou cada extremo das barras com uma letra e manteve as letras sempre voltadas para cima, conforme indicado na figura.



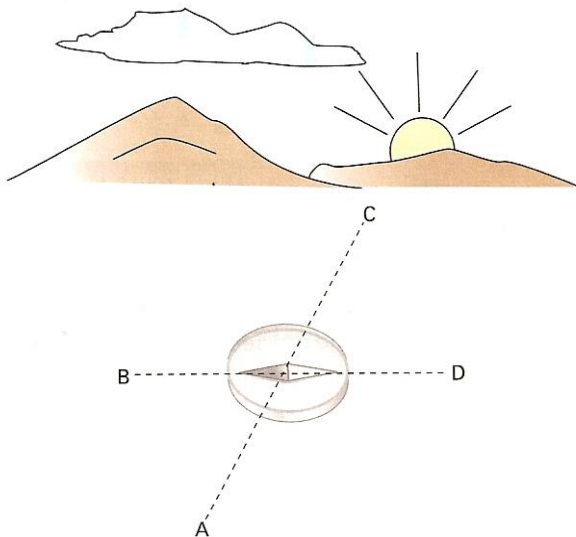
Passou, então, a fazer os seguintes testes:

- aproximou o extremo **B** da barra 1 com o extremo **C** da barra 2 e percebeu que ocorreu atração entre elas;
- aproximou o extremo **B** da barra 1 com o extremo **E** da barra 3 e percebeu que ocorreu repulsão entre elas;
- aproximou o extremo **D** da barra 2 com o extremo **E** da barra 3 e percebeu que ocorreu atração entre elas;

Verificou ainda que, nos casos em que ocorreu atração, as barras ficaram perfeitamente alinhadas. Considerando que, em cada extremo das barras representado por qualquer uma das letras, possa existir um único pólo magnético, o menino concluiu, corretamente, que:

- As barras 1 e 2 estavam magnetizadas e a barra 3 desmagnetizada.
- As barras 1 e 3 estavam magnetizadas e a barra 2 desmagnetizada.
- As barras 2 e 3 estavam magnetizadas e a barra 1 desmagnetizada.
- As barras 1, 2 e 3 estavam magnetizadas.
- Necessitaria de mais um único teste para concluir sobre a magnetização das três barras.

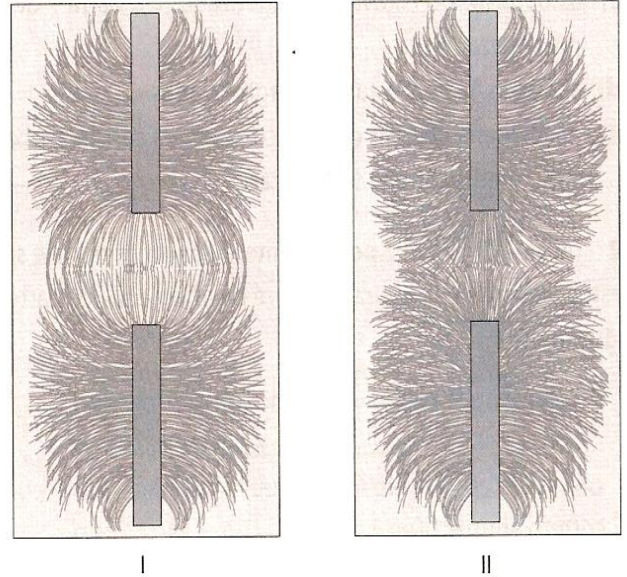
2. A figura a seguir mostra o nascer do sol. Dos pontos **A**, **B**, **C** e **D**, qual deles indica o sul geográfico?



- A
- B
- C
- D
- Nenhum

3. Fazendo uma experiência com dois ímãs em forma de barra, Júlia colocou-os sob uma folha de papel e espalhou limalha

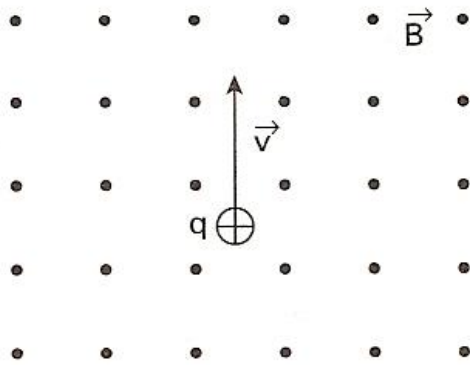
de ferro sobre essa folha. Ela colocou os ímãs em duas diferentes orientações e obteve os resultados mostrados nas figuras I e II:



Nessas figuras, os ímãs estão representados pelos retângulos. Com base nessas informações, é correto afirmar que as extremidades dos ímãs voltadas para região entre eles correspondem aos pólos:

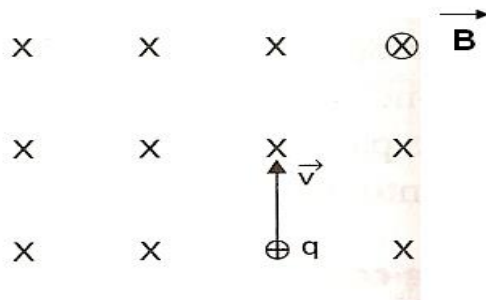
- Norte e norte na figura I e sul e norte na figura II.
- Norte e norte na figura I e sul e sul na figura II.
- Norte e sul na figura I e sul e norte na figura II.
- Norte e sul na figura I e sul e sul na figura II.

4. Uma carga $+q$, com velocidade \vec{v} , desloca-se dentro de um campo magnético \vec{B} . A carga sofre uma força magnética \vec{F} de módulo $F = qvB$; a direção e o sentido dessa força estão adequadamente representados em:



- a) b) c) d)

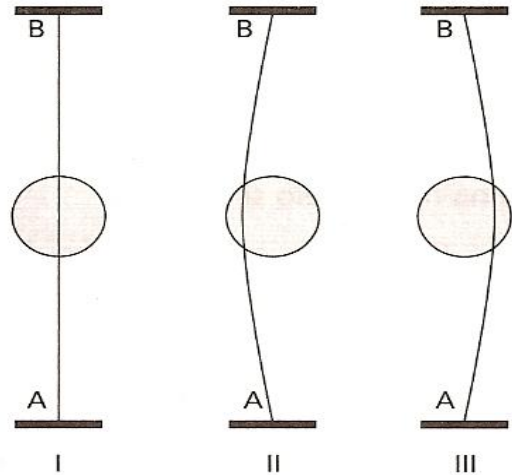
5. Uma partícula positivamente carregada com carga de $20\mu\text{C}$ penetra perpendicularmente em um campo magnético uniforme, de intensidade $4,0\text{ T}$, com velocidade de $1,0 \times 10^4\text{ m/s}$, conforme a figura. A intensidade da força magnética a que a partícula fica sujeita tem valor, em newtons, igual a:



- a) 0,1
b) 0,2
c) 0,3
d) 0,6
e) 0,8

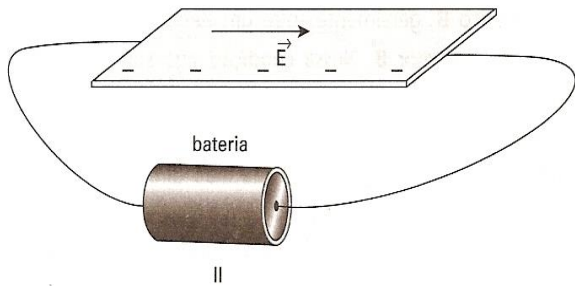
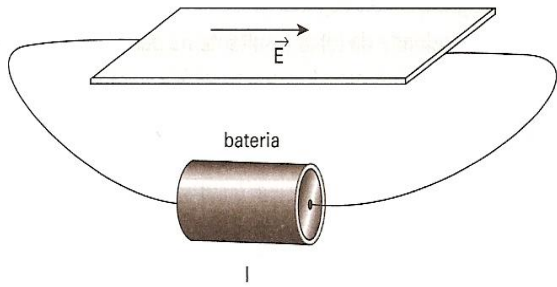
6. A figura a seguir representa um fio condutor flexível estendido entre as extremidades A e B, na horizontal, e uma

região circular onde existe um campo magnético uniforme e constante, perpendicular ao plano da folha. Na situação I, não flui corrente pelo fio. Assinale a afirmativa correta.



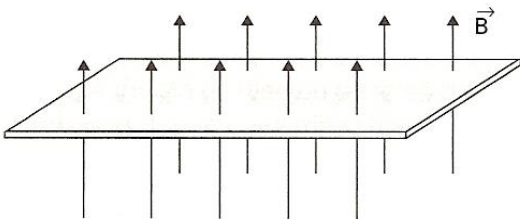
- a) Na situação II, flui corrente no sentido BA, e o campo está saindo da folha.
b) Na situação II, flui corrente no sentido BA, e o campo está entrando na folha.
c) Na situação III, flui corrente no sentido AB, e o campo está entrando na folha.
d) Na situação III, flui corrente no sentido BA, e o campo está saindo da folha.

7. Uma bateria ligada a uma placa metálica cria nesta um campo elétrico \mathbf{E} , como mostrado na figura I. Esse campo causa movimento de elétrons na placa. Se essa placa for colocada em uma região onde existe um campo magnético \mathbf{B} , observa-se que os elétrons se concentram em um dos lados dela, como mostrado na figura II.

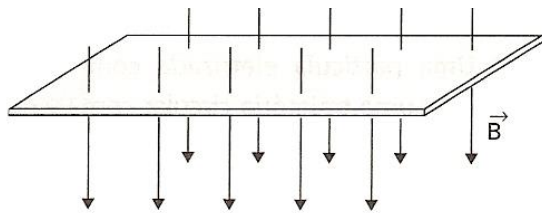


Com base nessas informações, assinale a alternativa em que melhor estão representadas a direção e o sentido do campo magnético existente nessa região.

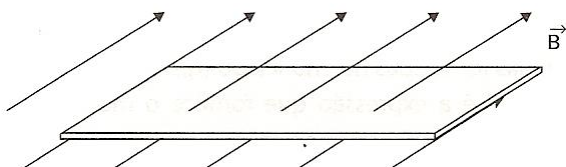
a)



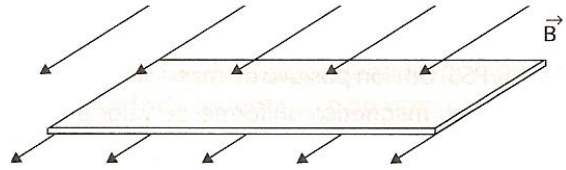
b)



c)



d)

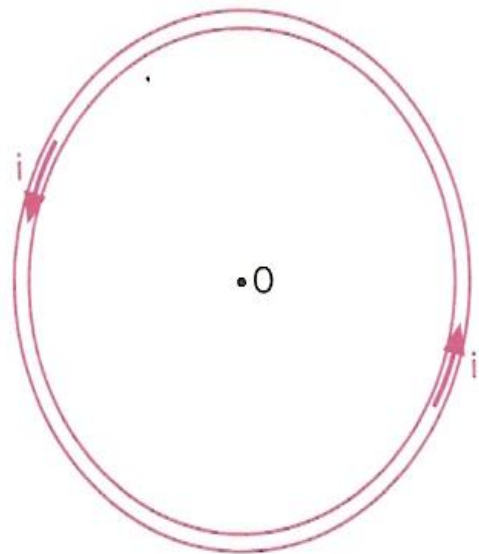


8. A figura a seguir representa uma espira circular de 5,0 cm de raio, de centro O, percorrida por uma corrente elétrica de intensidade $i = 2,0$ A, no plano da figura, no ar.

- a) Qual é a direção e o sentido do vetor campo magnético em O?
- b) Qual é o módulo desse vetor?

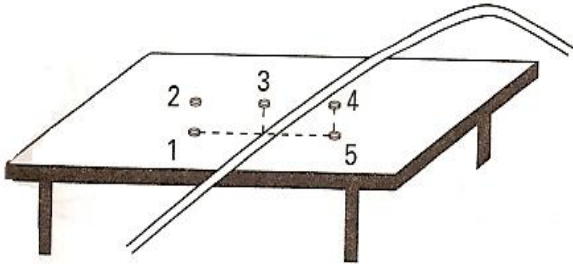
(Dado permeabilidade magnética do ar $\mu_0 =$

$4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A.).



9. Apoiado sobre uma mesa, observa-se o trecho de um fio longo, ligado a uma bateria. Cinco bússolas são colocadas próximas ao fio, na horizontal, nas seguintes posições: 1 e 5 sobre a mesa; 2,3 e 4 a alguns centímetros acima da

mesa. As agulhas das bússolas só podem mover-se no plano horizontal. Quando não há corrente no fio, todas as agulhas das bússolas permanecem paralelas ao fio. Se passar corrente no fio, será observada deflexão no plano horizontal das agulhas das bússolas colocadas somente:



- a) Na posição 3.
- b) Nas posições 1 e 5.
- c) Nas posições 2 e 4.
- d) Nas posições 1,3 e 5.
- e) Nas posições 2,3 e 4.

10. Na experiência de Oersted, o fio de um circuito passa sobre a agulha de uma bússola. Com a chave **C** aberta, a agulha alinha-se como mostra a figura 1. Fechando a chave **C**, a agulha da bússola assume nova posição (figura 2).

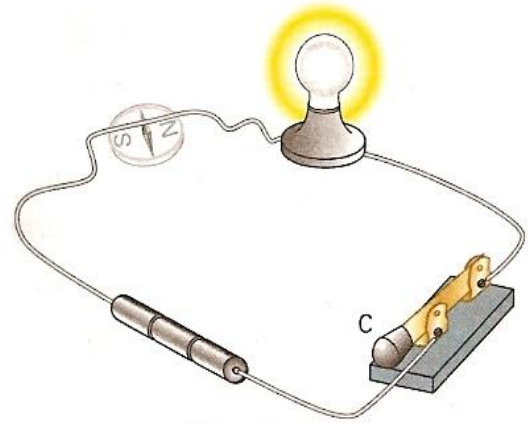
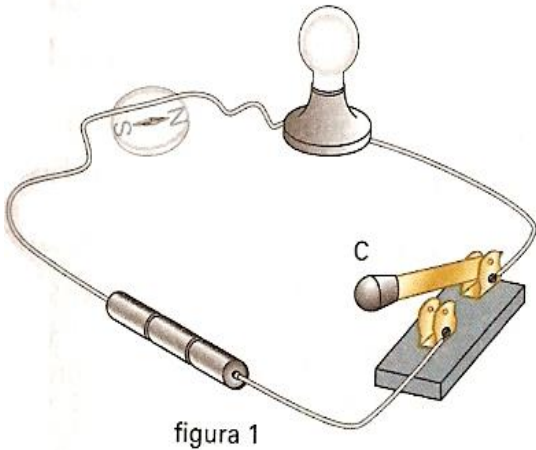


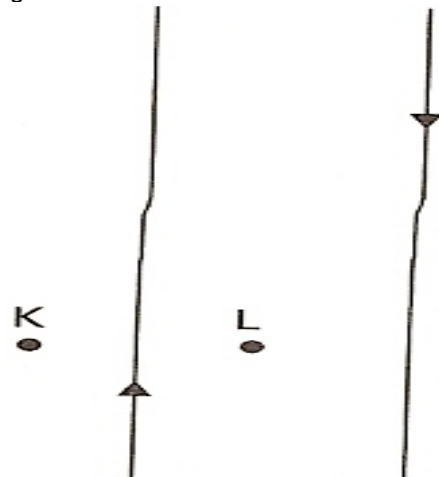
figura 2

A partir desse experimento, Oersted concluiu que a corrente elétrica estabelecida no circuito:

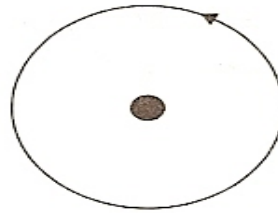
- a) Gerou um campo elétrico em uma direção perpendicular à da corrente.
- b) Gerou um campo magnético em uma direção perpendicular à da corrente.
- c) Gerou um campo elétrico em uma direção paralela à da corrente.
- d) Gerou um campo magnético em uma direção paralela à da corrente.
- e) Não interfere na nova posição assumida pela agulha da bússola, que foi causada pela energia térmica produzida pela lâmpada.

11. Nesta figura estão representados dois fios, percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade e de sentidos contrários, e dois pontos, **K** e **L**.

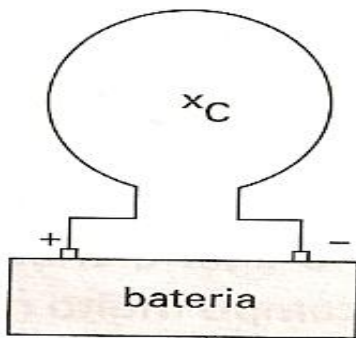
Os fios e os pontos estão no mesmo plano. O ponto **L** é equidistante dos dois fios e o ponto **K** está à esquerda deles. Considerando essas informações, é correto afirmar que o campo magnético:



- a) Em **K**, é nulo e, em **L**, está entrando no papel.
- b) Em **K**, está entrando no papel e, em **L**, está saindo dele.
- c) Em **K**, está saindo do papel e, em **L**, é nulo.
- d) Em **K**, está saindo do papel e, em **L**, está entrando nele.



12. Uma bússola colocada no ponto **C** localizado no interior de uma espira ligada a uma bateria, como mostra a figura.



- a) $4,0 \times 10^{-5}$ T, com sentido orientado para dentro do plano da figura.
- b) $4,0 \times 10^{-5}$ T, com sentido orientado para fora do plano.
- c) $4,0 \times 10^{-4}$ T, com sentido orientado para fora do plano.
- d) $4\pi \times 10^{-5}$ T, com sentido orientado para fora do plano.

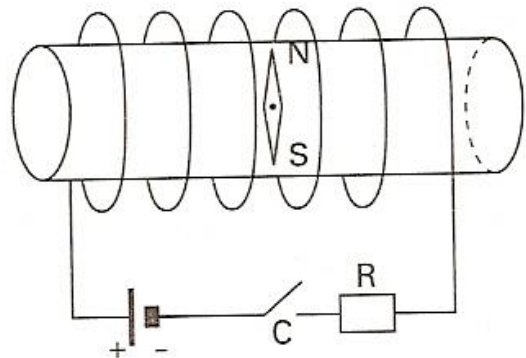
(Dado: $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A.}$)

Então, é correto afirmar que a agulha da bússola vai se orientar:

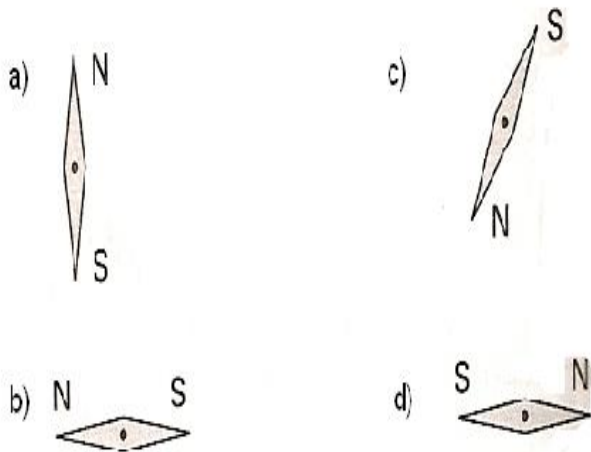
- a) Segundo a normal ao plano da espira, com o pólo norte dirigido da espira para o leitor.
- b) Segundo a reta vertical localizada no plano da espira, com o pólo norte dirigido para cima.
- c) Segundo a normal ao plano da espira, com o pólo norte dirigido do leitor para a espira.
- d) Segundo a reta vertical localizada no plano da espira, com o pólo norte dirigido para baixo.

13. Uma espira circular de raio π cm é percorrida por uma corrente de intensidade 2,0 A no sentido anti-horário, como ilustra a figura. O campo magnético no centro da espira é perpendicular ao plano da figura. Assinale a alternativa que apresenta corretamente sua intensidade e sentido.

14. A figura mostra uma pequena agulha magnética colocada no interior de um solenóide. Com a chave **C** desligada a agulha tem a orientação mostrada na figura. Ao ligar a chave **C** obtemos no interior do solenóide um campo muito maior que o campo magnético terrestre.



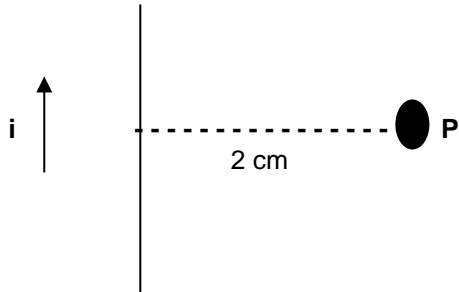
A alternativa que melhor representará a orientação final da agulha é:



valor inicial do campo magnético é 0,50 tesla. Se o campo magnético for reduzido a zero, o valor do fluxo magnético inicial, em weber, através da espira e o sentido da corrente induzida serão, respectivamente:

- a) $5,0 \cdot 10^{-3}$ Wb e horário.
- b) $5,0 \cdot 10^{-3}$ Wb e anti-horário.
- c) $2,5 \cdot 10^{-2}$ Wb e horário.
- d) $2,5 \cdot 10^{-2}$ Wb e anti-horário.
- e) $1,0 \cdot 10^{-2}$ Wb e horário.

15. Considere as informações, bem como a figura abaixo. Por um fio retilíneo muito extenso passa uma corrente $i = 2,0$ A. A permeabilidade magnética do meio é $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A.

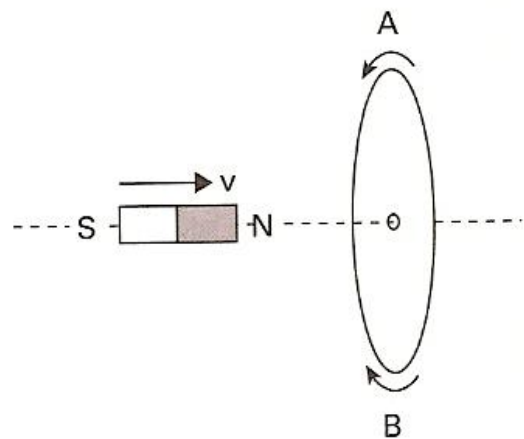


A intensidade do vetor indução magnética (campo magnético) no ponto **P**, distante 2 cm do fio, será:

- a) $2\pi \cdot 10^{-7}$ T, saindo da pagina no ponto **P**.
- b) $2\pi \cdot 10^{-5}$ T, saindo da pagina no ponto **P**.
- c) $2\pi \cdot 10^{-7}$ T, entrando na pagina no ponto **P**.
- d) $2\pi \cdot 10^{-5}$ T, entrando na pagina no ponto **P**.

16. Uma espira circular com área de $1,00 \cdot 10^{-2}$ m² se encontra totalmente dentro de um campo magnético uniforme, com suas linhas de indução perpendiculares ao plano da espira e saindo do plano. O

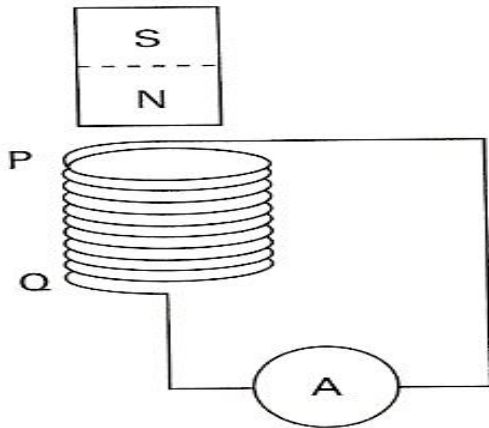
17. Um imã desloca-se da esquerda para a direita com velocidade constante, ao longo de uma linha que passa pelo centro de uma espira metálica fixa, perpendicularmente ao plano desta. **A** e **B** representam os sentidos anti-horário e horário, respectivamente, visto por um observador sobre o imã ao se aproximar da espira, como mostra a figura. Sobre a corrente elétrica na espira, podemos afirmar que:



- a) Tem o sentido **B** quando o imã se aproxima e **A** quando o imã se afasta da espira.
- b) Tem o sentido **A** quando o imã se aproxima ou se afasta da espira.

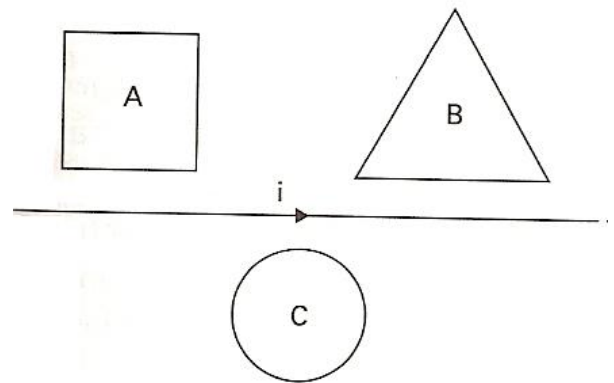
- c) Tem o sentido **A** quando o imã se aproxima e **B** quando o imã se afasta da espira.
- d) Tem o sentido **B** quando o imã se aproxima ou se afasta da espira.
- e) É sempre nula.

18. O experimento abaixo pode ser usado para produzir energia elétrica. Nesse experimento se deve aproximar e afastar, continuamente, o imã do conjunto de espiras. Quanto a esse experimento, é correto afirmar que:



- a) Ao se aproximar o pólo norte do imã das espiras, surge em **P** (na extremidade das espiras) um pólo sul que tende a acelerar o imã, aproximando-o da espira.
- b) Ao se posicionar o imã muito próximo das espiras, mantendo-o nessa posição, a corrente elétrica induzida será máxima.
- c) A velocidade com que o imã é aproximado ou afastado não altera o valor da corrente elétrica induzida.
- d) O processo de aproximação e afastamento do imã gera na espira um campo elétrico induzido variável.
- e) O processo de aproximação e afastamento do imã gera na espira um campo magnético induzido de intensidade variável.

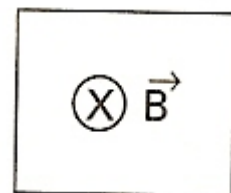
19. Próximo a um fio percorrido por uma corrente **i** são colocadas três espiras, **A**, **B** e **C**, como mostra a figura abaixo.



Se a corrente no fio aumenta com o tempo, pode se afirmar que os sentidos da corrente induzida nas espiras **A**, **B** e **C**, respectivamente, são:

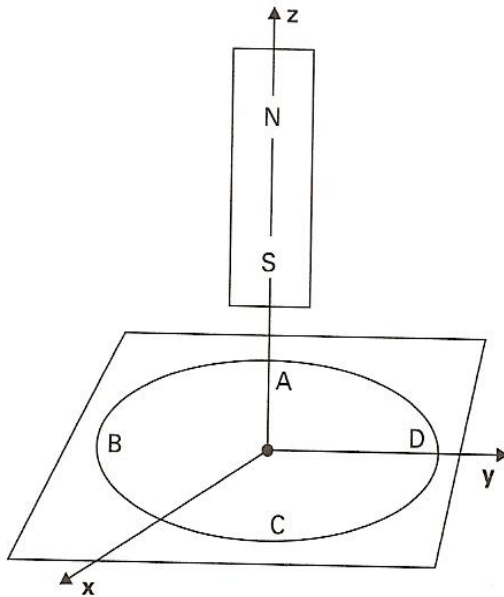
- a) Anti-horário, anti-horário e horário.
- b) Anti-horário, Anti-horário e Anti-horário.
- c) Horário, horário e Anti-horário.
- d) Anti-horário, horário e Anti-horário.
- e) Horário, horário e horário.

20. Se um campo magnético que passa através da espira aumenta uniformemente com o tempo, então a corrente induzida:



- a) É nula.
- b) Está no sentido horário e é constante com o tempo.
- c) Está no sentido anti-horário e é constante com o tempo.
- d) Está no sentido horário e é crescente com o tempo.
- e) Está no sentido anti-horário e é crescente com o tempo.

21. Considere uma espira condutora ABCD, posicionada sobre um plano xy. Um imã é colocado verticalmente acima da espira, podendo deslocar-se na direção do eixo z, conforme a figura a seguir. Assinale o que for correto.



RESPOSTAS

1. b
2. d
3. d
4. c
5. e
6. a
7. a
8. a) B é perpendicular ao plano da figura, com sentido orientado para fora; b) $B = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{T}$.
9. e
10. b
11. c
12. c
13. b
14. d
15. d
16. b
17. c
18. e
19. c
20. e
21. 35

BIBLIOGRAFIA:

- Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga – Curso de Física Básica. Vol 3- 3ª Edição. Editora Harba
- Ramalho, Nicolau, Toledo – Os Fundamentos de Física . Vol 3 - 8ª Edição. Editora Moderna

01. O campo magnético estabelecido pelo ímã em pontos do interior da espira está dirigido para cima (z positivo).
02. Se o ímã estiver se aproximando da espira, o fluxo magnético dentro desta está aumentando.
04. Se o ímã estiver parado, a corrente criada na espira é constante e não nula.
08. O campo magnético que a corrente cria no interior do anel deve estar dirigido para cima.
16. Se o ímã for afastado da espira, o campo magnético que a corrente cria no interior do anel deve estar dirigido para baixo.
32. Se o ímã estiver aproximando da espira, a corrente induzida nessa terá o sentido ABCD.

Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.