

ESCOLA BÁSICA E SECUNDÁRIA DA CALHETA

Física e Química A – 11.º Ano

Resumo F2.2

Domínio 2: Ondas e eletromagnetismo / 2.2: Eletromagnetismo

2.2.1. Carga elétrica e campo elétrico

2.2.2. Campo magnético

2.2.3. Indução eletromagnética e produção industrial de energia elétrica

2.2.1. Carga elétrica e campo elétrico

A **carga elétrica (Q)** é uma propriedade das partículas subatômicas (prótons, elétrons) que define a forma como essas partículas interagem eletricamente. A unidade do SI de carga elétrica é o coulomb (C).

Carga elementar (q_0) – é a carga mais pequena que já se encontrou fora do átomo e corresponde ao valor da carga de um próton.

Partícula	Carga (C)
Próton	$1,602 \times 10^{-19}$
Elétron	$-1,602 \times 10^{-19}$

Um corpo está carregado eletricamente quando há diferença entre o número de prótons e o número de elétrons que o constituem, devido à transferência de elétrons entre esse corpo e a sua vizinhança.

Num sistema isolado, apesar de os seus constituintes poderem estar eletrizados, a carga total permanece constante.

Campo elétrico ($\vec{E}$) – é uma grandeza vetorial que caracteriza a ação de uma carga elétrica numa determinada região do espaço onde se faz sentir a sua influência.

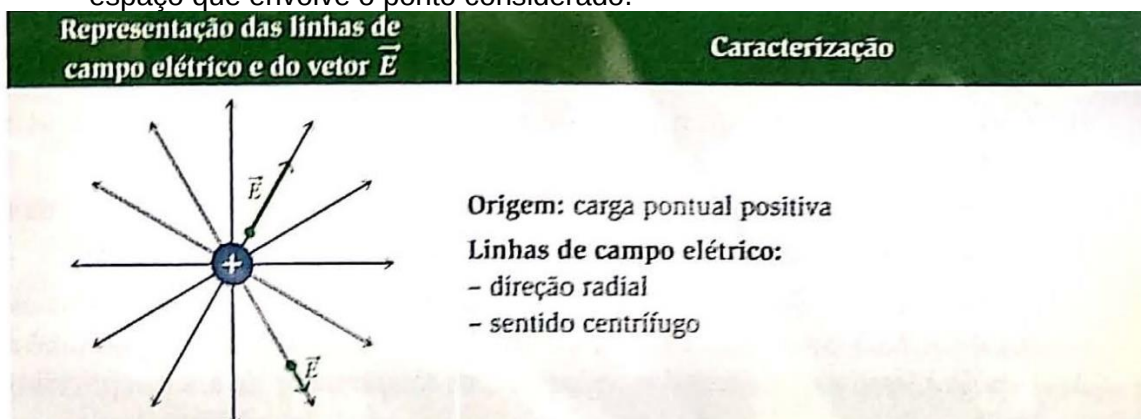
Unidade do SI: volt por metro ($V\ m^{-1}$) ou newton por coulomb ($N\ C^{-1}$)

O campo elétrico num ponto do espaço depende da carga elétrica que o produz e da distância entre o ponto e a carga. É tanto mais intenso quanto maior for a carga e diminui de intensidade com o aumento da distância à carga.

Linhas de campo elétrico – permitem representar a forma como o vetor campo elétrico se orienta numa região do espaço que rodeia uma ou várias cargas elétricas.

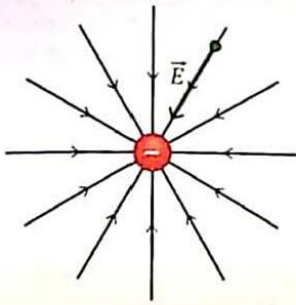
O vetor $\vec{E}$ caracteriza-se por apresentar:

- **Direção** tangente às linhas de campo no ponto considerado;
- **Sentido** da linha de campo;
- **Intensidade** tanto maior quanto maior for a densidade de linhas de campo na região do espaço que envolve o ponto considerado.



Representação das linhas de campo elétrico e do vetor $\vec{E}$

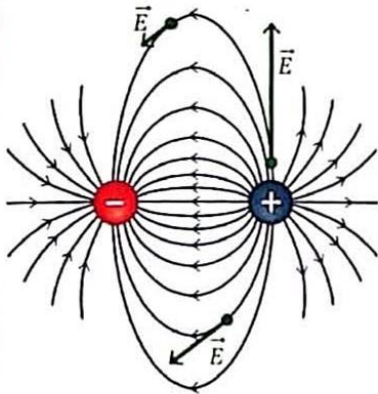
Caracterização



Origem: carga pontual negativa

Linhas de campo elétrico:

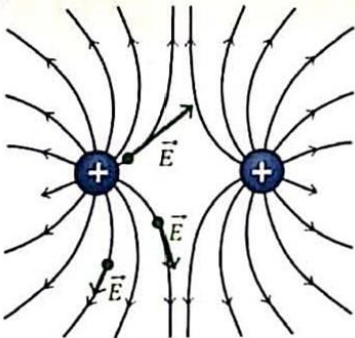
- direção radial
- sentido centrípeto



Origem: duas cargas pontuais simétricas

Linhas de campo elétrico:

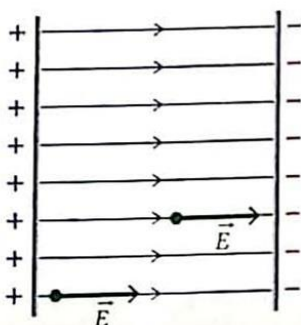
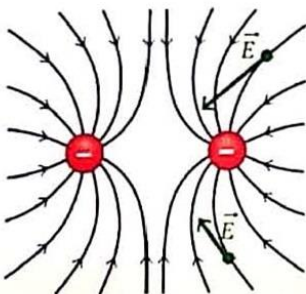
- sentido da carga positiva para a negativa
- igual número de linhas que saem da carga positiva e que chegam à carga negativa



Origem: duas cargas pontuais com o mesmo sinal

Linhas de campo elétrico:

- não há linhas de campo na região do espaço entre as duas cargas pontuais



Origem: condensador plano (placas planas e paralelas carregadas eletricamente com cargas de sinal contrário)

Linhas de campo elétrico:

- linhas paralelas e igualmente espaçadas entre si - **campo elétrico uniforme**
- orientam-se da placa carregada positivamente para a placa carregada negativamente

Ao colocar uma carga elétrica pontual numa região do espaço sujeita a um campo elétrico produzido por outra carga elétrica, sobre a carga pontual atua uma força denominada de **força elétrica** ($\vec{F}_e$).

As características do vetor $\vec{F}_e$ que atua sobre uma carga elétrica pontual relacionam-se com as características do vetor $\vec{E}$:

- $\vec{F}_e$ tem a direção de $\vec{E}$;
- $\vec{F}_e$ tem o sentido de $\vec{E}$ se a carga elétrica pontual é positiva e sentido contrário se a carga pontual é negativa;
- $\vec{F}_e$ tem uma intensidade tanto maior quanto maior a intensidade de $\vec{E}$.

Num campo elétrico uniforme, o vetor campo elétrico é sempre constante, pelo que tem, em qualquer região do espaço, a mesma direção, sentido e intensidade.

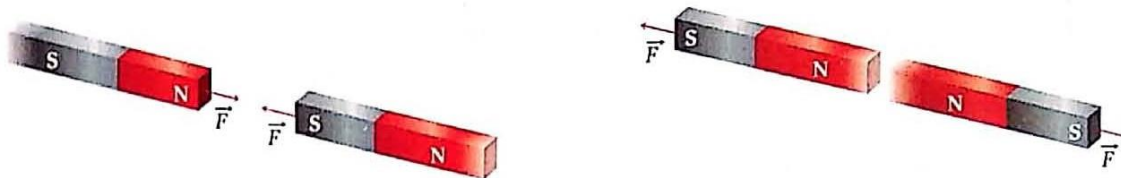
Nota

2 CAMPO MAGNÉTICO

Campo magnético ($\vec{B}$) – grandeza vetorial que caracteriza a influência de ímanes (ou magnetes) e correntes elétricas numa região do espaço. A unidade do SI de campo magnético é o **tesla** (T).

Os ímanes podem ter diferentes formas e tamanhos mas todos têm dois polos magnéticos – o **polo norte** (N) e o **polo sul** (S). Não existem polos magnéticos isolados (ao contrário das cargas elétricas, que podem isolar-se).

A influência do campo magnético produzido por um íman manifesta-se sob a forma de uma força magnética. Esta força magnética pode ser atrativa ou repulsiva, consoante interação polos contrários ou polos semelhantes de ímanes.



Representação de forças atrativas e repulsivas entre polos contrários e semelhantes de ímanes.

Se aproximarmos uma agulha de uma bússola de um íman, esta orienta-se de acordo com o campo magnético existente no local onde se encontra.

A **Terra** é um enorme íman e é devido a esta propriedade que é possível a utilização de bússolas para a orientação à superfície da Terra.

Mas não são só os ímanes que produzem campos magnéticos. **Hans Oersted** (1777-1851), físico e químico dinamarquês, verificou que a corrente elétrica também cria campos magnéticos. Durante uma experiência que realizava com um circuito elétrico, verificou que, ao fechar o circuito, uma agulha magnética que se encontrava nas proximidades do circuito se desviava da sua posição inicial.

Oersted explicou que a agulha magnética se movia porque a corrente elétrica que percorria o fio condutor originava um campo magnético no espaço envolvente. Esta foi a primeira prova experimental da ligação entre eletricidade e magnetismo.

Linhas de campo magnético – são linhas imaginárias que permitem representar a forma como o vetor campo magnético se orienta numa região do espaço que rodeia uma fonte deste campo. Estas linhas são sempre fechadas, ao contrário das linhas de campo elétrico, que podem ser abertas.

O vetor campo magnético ($\vec{B}$) apresenta:

- **direção** tangente às linhas de campo no ponto considerado;
- **sentido** da linha de campo;
- **intensidade** tanto maior quanto maior for a densidade de linhas de campo na região do espaço que envolve o ponto considerado.

Origem	Caracterização das linhas de campo magnético
Íman em barra	– orientam-se do polo norte para o polo sul do íman.
Íman em U	– orientam-se do polo norte para o polo sul; – no interior deste íman, próximo da extremidade das duas barras, pode considerar-se que o campo magnético é uniforme , pois as linhas de campo apresentam tendência para serem paralelas e equidistantes .
Corrente elétrica num fio condutor	– linhas circulares, com centro no fio e que assentam sobre um plano perpendicular ao fio condutor; – o sentido das linhas de campo depende do sentido da corrente. Utiliza-se a “regra da mão direita” para definir este sentido: o polegar indica o sentido da corrente, enquanto que os restantes dedos indicam o sentido das linhas de campo.
Corrente elétrica numa espira circular	– linhas circulares, com centro no fio e que assentam sobre um plano perpendicular ao fio condutor; – o sentido é também dado pela “regra da mão direita” mas, neste caso, permite saber o sentido de $\vec{B}$ no eixo da espira: o polegar indica o sentido do campo magnético e os restantes dedos o sentido da corrente que percorre a espira.
Corrente elétrica num solenoide (ou bobina)	– as linhas são idênticas às produzidas por um íman em barra; – no interior do solenoide as linhas são praticamente paralelas e equidistantes, criando um campo magnético uniforme; – o sentido é dado pela “regra da mão direita” e permite saber o sentido de $\vec{B}$ no eixo do solenoide. Neste caso, o polegar indica o sentido do campo magnético e os restantes dedos o sentido da corrente que percorre o solenoide.

Num **campo magnético uniforme**, o vetor campo magnético é sempre constante, pelo que tem, em qualquer região do espaço, a mesma direção, sentido e intensidade.

Nota

3 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ENERGIA ELÉTRICA

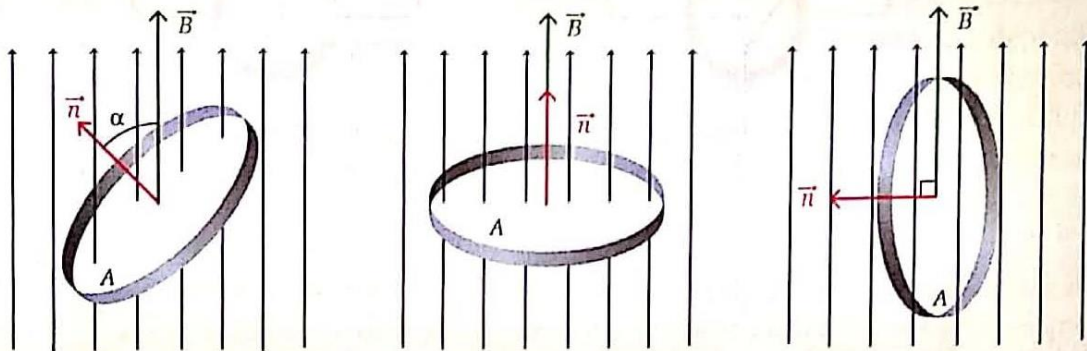
Fluxo do campo magnético (ϕ_m) – grandeza relacionada com o número de linhas de campo magnético que atravessam uma superfície. A unidade do SI é o **weber (Wb)**.

O fluxo do campo magnético é diretamente proporcional à intensidade do campo magnético (B), à área atravessada por esse campo (A) e ao cosseno do ângulo formado entre o vetor campo magnético ($\vec{B}$) e o vetor perpendicular à superfície de área A , ou seja, o vetor normal ($\vec{n}$).

$$\phi_m = B A \cos \alpha$$

$\swarrow$ $\swarrow$ $\swarrow$ $\swarrow$
 Wb T m^2 graus

Fluxo do campo magnético que atravessa uma espira



$$0 < \phi_m < 90^\circ$$

$$0 < \cos \alpha < 1$$

$$\phi_m = B A \cos \alpha$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\cos(0^\circ) = 1$$

ϕ_m tem o seu valor máximo

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\cos(90^\circ) = 0$$

ϕ_m é nulo

O fluxo do campo magnético que atravessa uma espira de área fixa e que é atravessada por um campo magnético cuja intensidade não varia depende da orientação da espira em relação às linhas de campo. Podem ser criadas condições, através da orientação da espira, para aumentar ou diminuir o fluxo do campo magnético que a atravessa.

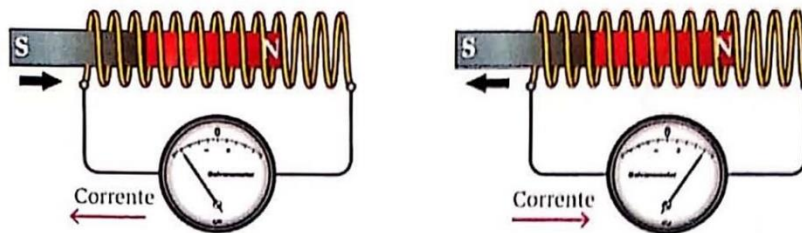
Se, em vez de uma espira, associarmos várias espiras paralelas umas às outras, num enrolamento de fio condutor (bobina ou solenoide), conseguimos aumentar o fluxo do campo magnético, pois este é obtido através da soma do fluxo magnético que atravessa cada uma das espiras que constituem a bobina.

$$\phi_m(\text{bobina}) = N \times \phi_m(\text{espira})$$

N – número de espiras

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA (LEI DE FARADAY)

Michael Faraday (1791-1867) concluiu que seria possível originar uma corrente elétrica através de campos magnéticos. Verificou que, ao mover um íman no interior de uma bobina ligada a um galvanómetro, o aparelho de medida é percorrido por corrente elétrica. Ao inverter o sentido de movimento do íman, verificou que o galvanómetro continuava a indicar a passagem de corrente elétrica, mas agora em sentido contrário. Faraday verificou ainda que, quando o íman se imobilizava em relação à bobina, deixava de existir corrente a passar no circuito da bobina e concluiu que seria a variação do fluxo magnético que atravessa cada uma das espiras da bobina durante o movimento do íman a responsável por uma força eletromotriz induzida nos terminais do circuito e, conseqüentemente, pelo aparecimento da corrente elétrica.



Experiência de Michael Faraday.

Um galvanómetro é um aparelho de medida utilizado para a deteção de correntes elétricas da ordem dos miliamperes e que fornece indicação sobre o sentido da corrente elétrica.



O mesmo efeito é possível se, em vez de um íman, for utilizada uma outra bobina percorrida por uma corrente elétrica alternada.

Faraday encontrou uma relação matemática entre a variação do fluxo do campo magnético ao longo do tempo e a tensão elétrica criada no circuito, a que chamou de **força eletromotriz induzida** ($\mathcal{E}$), que ficou conhecida como **lei de Faraday**.

$$\mathcal{E} = \frac{|\Delta\phi_m|}{\Delta t}$$

Segundo Faraday, qualquer alteração que provoque uma variação do fluxo do campo magnético que atravessa uma espira induz uma força no circuito, originando corrente elétrica.

Para provocar uma variação do fluxo do campo magnético é necessário variar uma das seguintes grandezas:

- **intensidade** do campo magnético;
- **área atravessada** pelo campo magnético;
- **orientação da espira** em relação às linhas de campo.

Produção industrial e transporte de energia elétrica

A **indução eletromagnética** é atualmente a principal forma de produção de energia elétrica na maioria das centrais elétricas.

Independentemente da fonte de energia (água, vento, calor), nas centrais elétricas existem dois elementos essenciais, a turbina e o gerador. A **turbina** é um conjunto de pás cujo movimento provoca a rotação de espiras ou de um íman no interior do gerador. O **gerador** é constituído por bobinas e ímanes que criam um campo magnético. O movimento relativo dos ímanes e da bobina provoca uma variação no fluxo do campo magnético que atravessa a bobina induzindo uma corrente elétrica alternada no circuito da bobina.

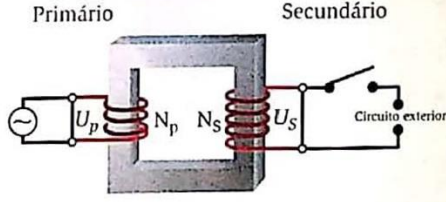
Após a produção de energia elétrica nas centrais elétricas é necessário fazê-la chegar ao consumidor final, o que implica o transporte de energia e a consequente perda de energia por efeito Joule. A energia dissipada por **efeito Joule** é dada por:

$$E_{\text{dissipada}} = R I^2 \Delta t$$

Se a espessura de um fio condutor se mantiver constante, a sua resistência depende do comprimento do fio. Por isso, quanto maior for a distância entre a central elétrica e o consumidor final, maiores são as perdas de energia. De forma a minimizá-las, recorre-se à diminuição da corrente elétrica através do aumento da diferença de potencial (tensão).

Sendo a potência fornecida à rede constante e dada por $P = UI$, ao aumentar-se a diferença de potencial diminui-se a corrente elétrica.

Contudo, a diferença de potencial que chega a nossas casas é menor do que a diferença de potencial à saída da central elétrica. Para reduzir novamente a diferença de potencial antes de chegar ao consumidor são utilizados **transformadores**, que baseiam o seu funcionamento na indução eletromagnética.

Transformador	Constituição	Relação matemática entre d.d.p. e n.º de espiras
Permite elevar ou baixar a diferença de potencial (U) de uma corrente elétrica. 	– Núcleo de ferro (aumenta o campo magnético) – Primário (bobina que é percorrida por corrente elétrica alternada e que cria o campo magnético variável) – Secundário (bobina que é percorrida por corrente elétrica induzida devido à variação do campo magnético criado pelo primário)	 Primário Secundário $\frac{U_p}{N_p} = \frac{U_s}{N_s}$ U_p – d.d.p. nos terminais do primário U_s – d.d.p. nos terminais do secundário N_p – n.º de espiras na bobina do primário N_s – n.º de espiras na bobina do secundário