

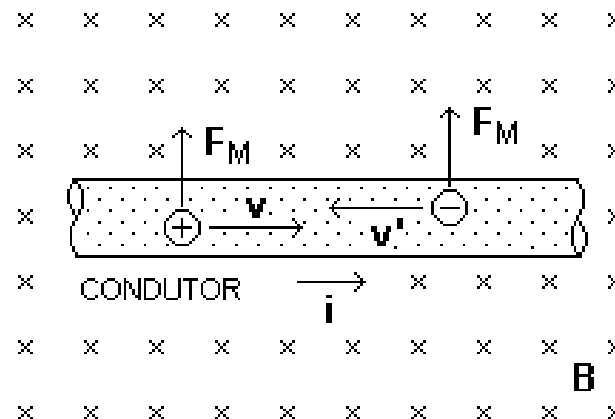
Aula 13

CAMPO MAGNÉTICO

PARTE 2

FORÇA MAGNÉTICA EM UM CONDUTOR TRANSPORTANDO UMA CORRENTE ELÉTRICA

As forças magnéticas que atuam sobre cada uma das cargas que se movem no interior de um condutor (corrente elétrica I) são transmitidas para o material do condutor, que como um todo, sofre a ação dessa **força distribuída** ao longo de seu comprimento.



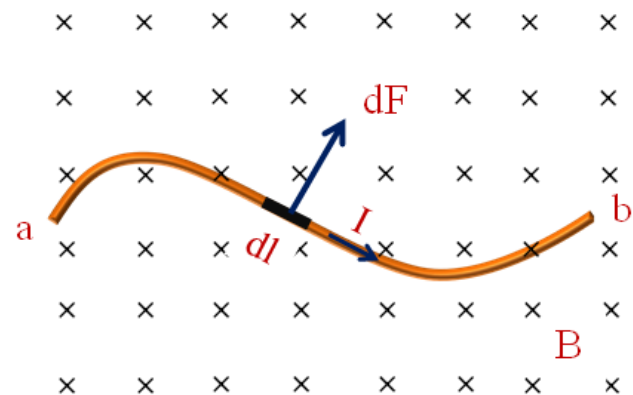
FORÇA MAGNÉTICA EM UM CONDUTOR

Se o elemento infinitesimal de comprimento $d\vec{l}$ do condutor pelo qual atravessa uma corrente I está numa região de campo magnético \vec{B} , a força magnética sobre o condutor é:

$$d\vec{F}_M = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

Então, a força magnética resultante sobre o condutor será:

$$\vec{F}_M = \int_a^b I d\vec{l} \times \vec{B}$$



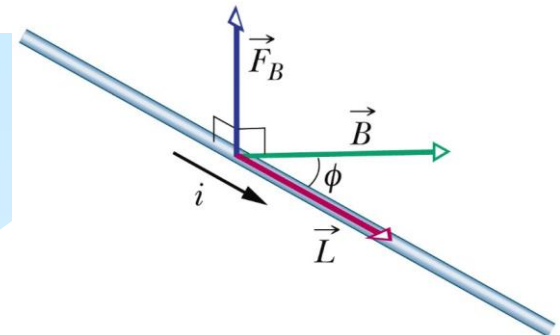
FORÇA MAGNÉTICA EM UM CONDUTOR

RESULTADOS IMPORTANTES

1. Para o campo \vec{B} e a corrente I constantes:

$$\vec{F}_M = I \vec{L} \times \vec{B} \rightarrow |\vec{F}_M| = I L B \sin(\phi)$$

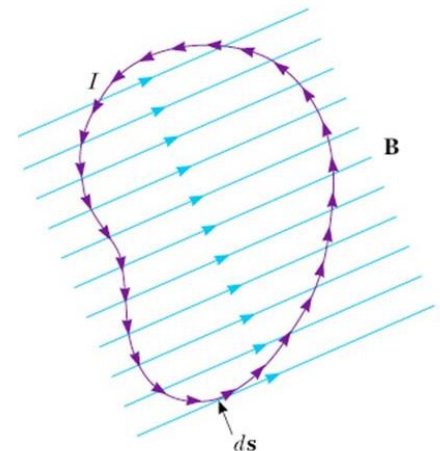
sendo L o comprimento do condutor.



2. Para um condutor fechado e para o campo \vec{B} e a corrente I constantes:

$$\vec{F}_M = \oint_C I d\vec{l} \times \vec{B} = I \left(\oint_C d\vec{l} \right) \times \vec{B} = \vec{0}$$

pois $\left(\oint_C d\vec{l} \right) = \vec{0}$.



EXERCÍCIO 1 Força magnética em um condutor retilíneo

Um fio retilíneo de 2,00 m e 150 g transporta uma corrente em uma região em que o campo magnético da Terra é horizontal com um módulo de 0,55 G.

(a) Qual é o valor mínimo da corrente nesse fio para que seu peso seja totalmente sustentado pela força magnética em função do campo magnético terrestre, supondo que nenhuma outra força, além da gravidade, atue sobre ele? É provável que um fio como esse seja capaz de suportar esse tamanho de corrente?

(b) Mostre como o fio teria de ser orientado em relação ao campo magnético da Terra para ser sustentado dessa forma.

Solução

Pela condição de equilíbrio:

$$F_m = P \rightarrow IBL = mg \rightarrow I = \frac{mg}{BL}$$

Substituindo os valores:

$$I = \frac{0,150 \times 9,81}{0,55 \times 10^{-4} \times 2,00} = 1,34 \times 10^4 \text{ A}$$

Tipicamente, os valores das correntes são (NBR-6148 – ABNT):

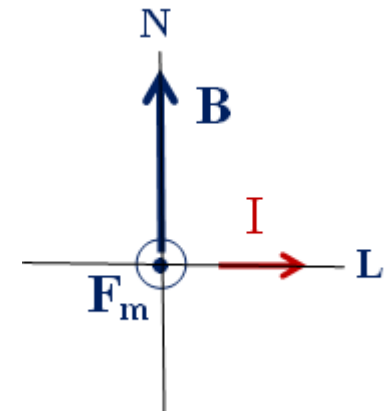
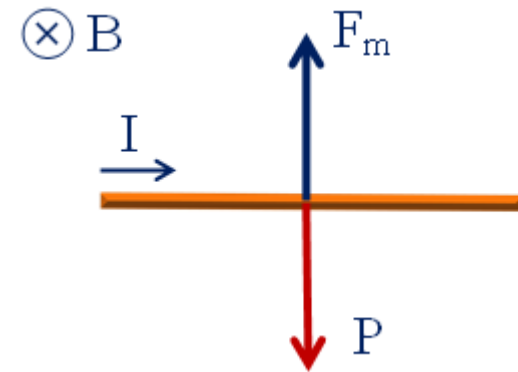
$$1,0 \text{ mm}^2 \rightarrow 12,5 \text{ A}$$

$$1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow 15,5 \text{ A}$$

$$2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow 21,0 \text{ A}$$

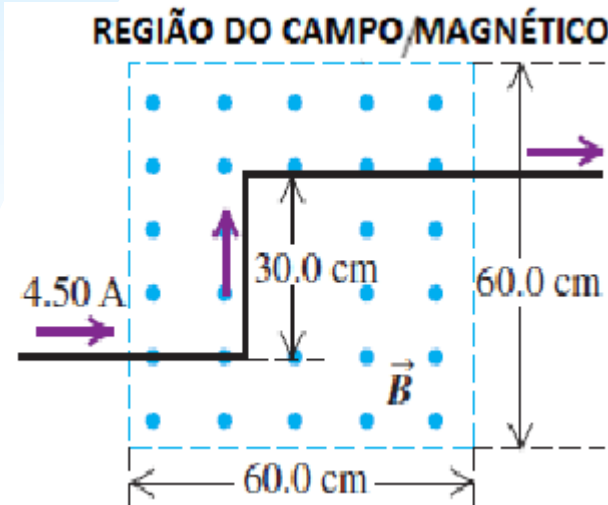
$$4,0 \text{ mm}^2 \rightarrow 28,0 \text{ A}$$

b) Considerando que o campo \vec{B} esteja dirigido para o NORTE, então o fluxo de carga deve direcionar-se para o LESTE, fazendo com que o sentido da força magnética se oponha a força peso.



EXERCÍCIO 2 Força magnética em um condutor

Um fio longo que transporta uma corrente de 4,50 A faz duas dobras de 90° como indica a figura. A parte dobrada do fio atravessa um campo magnético uniforme de 0,240 T, orientado como indicado na figura e confinado a uma região do espaço. Determine o módulo, a direção e o sentido da força que o campo magnético exerce sobre o fio.



Rascunho

The background features a large, light blue curved shape on the left side, which overlaps with a cream-colored curved shape on the right. A vertical line segment is positioned in the center, separating the two main color areas. The overall design is minimalist and modern.

Solução

Trecho 1:

$$F_1 = I B x \rightarrow F_1 = 4,50 \times 0,240 x = 1,08x$$

Trecho 3:

$$F_3 = I B (60 - x) \rightarrow F_1 = 4,50 \times 0,240 (0,60 - x) = 1,08(0,60 - x)$$

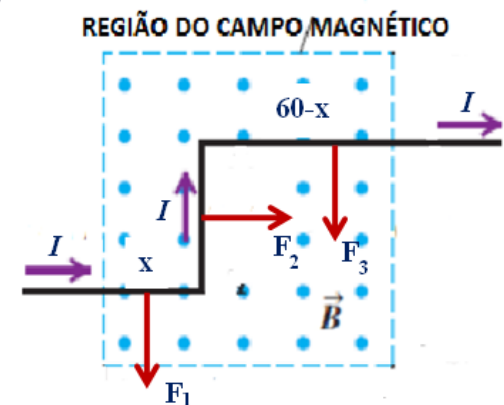
As forças F_1 e F_3 são paralelas ao eixo y. Somando, tem-se:

$$F_1 + F_3 = 1,08x + 1,08(0,60 - x) = 0,648 N$$

Trecho 2:

A força F_2 é paralela ao eixo x, então:

$$F_2 = I B y = 4,50 \times 0,240 \times 0,30 = 0,324 N$$



Continuação

A força resultante é:

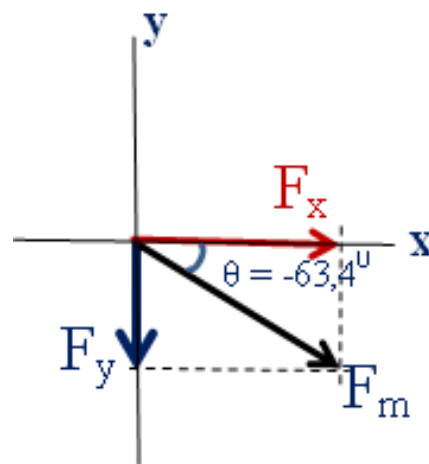
$$\vec{F}_m = 0,324 \vec{i} - 0,648 \vec{j}$$

Módulo:

$$F_m = \sqrt{0,324^2 + 0,648^2} = 0,724 \text{ N}$$

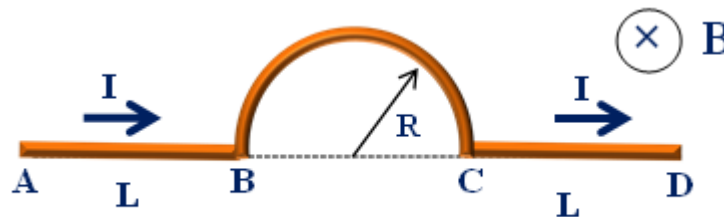
Direção:

$$\theta = \text{arctg} \left(-\frac{0,648}{0,324} \right) = -63,4^\circ$$



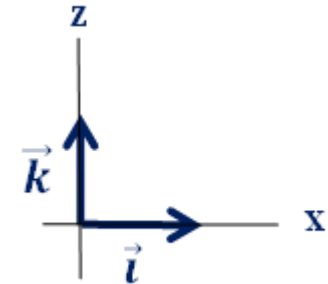
EXEMPLO 3 Força magnética em um condutor curvo

Calcule por integração direta a força magnética sobre o fio ABCD representado na figura e mostre a força obtida é a mesma que seria exercida sobre um fio retilíneo AD.



Solução

Fixando o sistema de coordenadas como indicado na figura, divide-se o condutor em trechos, calculando separadamente a força magnética.



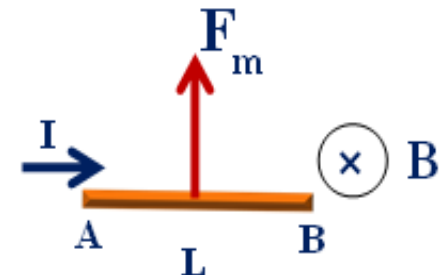
Trecho AB

$$d\vec{F}_1 = I d\vec{l} \times \vec{B} = I dx \vec{i} \times B \vec{j} = IB dx \vec{k}$$

Integrando: $\vec{F}_1 = IB \int_A^B dx \vec{k} = IBL \vec{k}$

Trecho CD: Análogo ao Trecho AB.

$$\vec{F}_3 = IB \int_C^D dx \vec{k} = IBL \vec{k}$$



Continuação

Trecho BC

Trata-se do segmento curvo do condutor, e portanto, é necessário decompor a força segundo o sistema de referência adotado. Assim:

$$d\vec{F}_2 = -dF_2 \cos\theta \vec{i} + dF_2 \sin\theta \vec{k}$$

Sendo:

$$dF_2 = IBdl = IBRd\theta$$

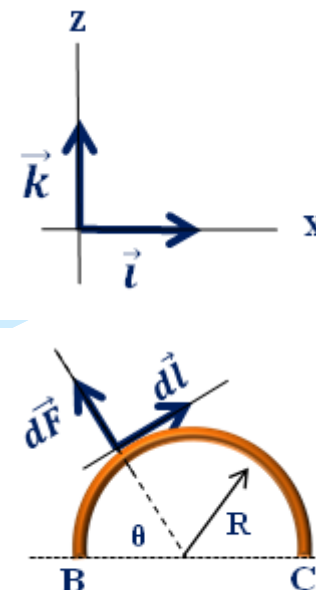
tem-se

$$\vec{F}_2 = -IBR \int_0^\pi \cos\theta d\theta \vec{i} + IBR \int_0^\pi \sin\theta d\theta \vec{k} = 2IBR \vec{k}$$

Então, a força total sobre o condutor é:

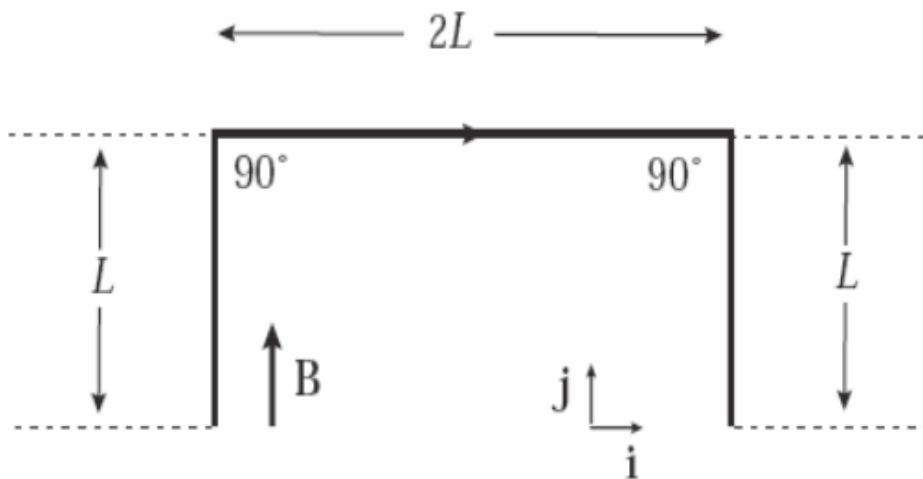
$$\vec{F}_m = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 2IBL \vec{k} + 2IBR \vec{k} = 2IB(L + R) \vec{k}$$

Esta força é igual a exercida sobre um condutor retilíneo de comprimento $d = 2(L+R)$



Exercício 4

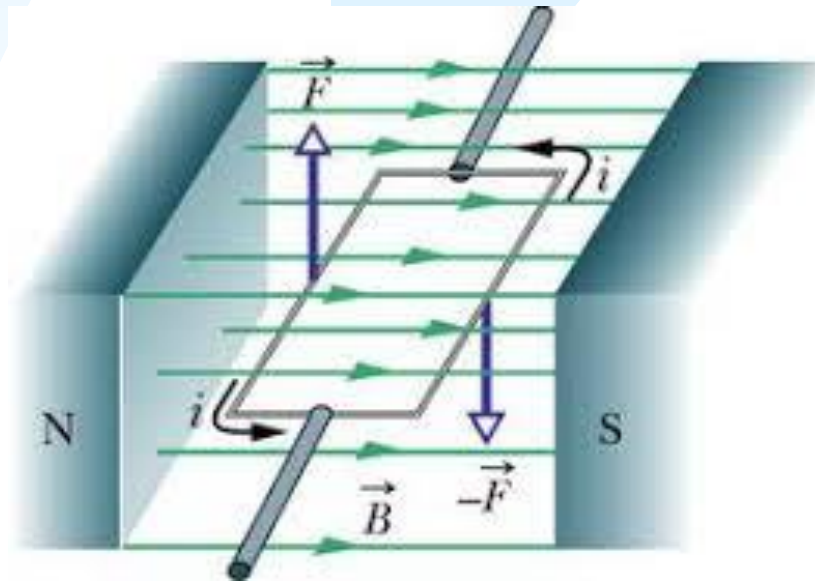
Um fio é dobrado conforme a figura. Determine a força magnética que atua sobre ele quando ele é percorrido por uma corrente I .



- A. $2IBL$ in the $-z$ direction
- B. $2IBL$ in the $+z$ direction
- C. $4IBL$ in the $+z$ direction
- D. $4IBL$ in the $-z$ direction
- E. zero

Força magnética e torque sobre uma espira de corrente

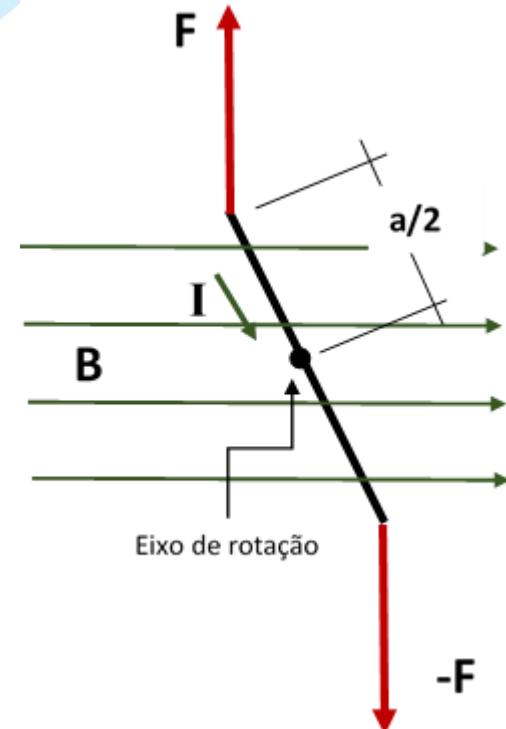
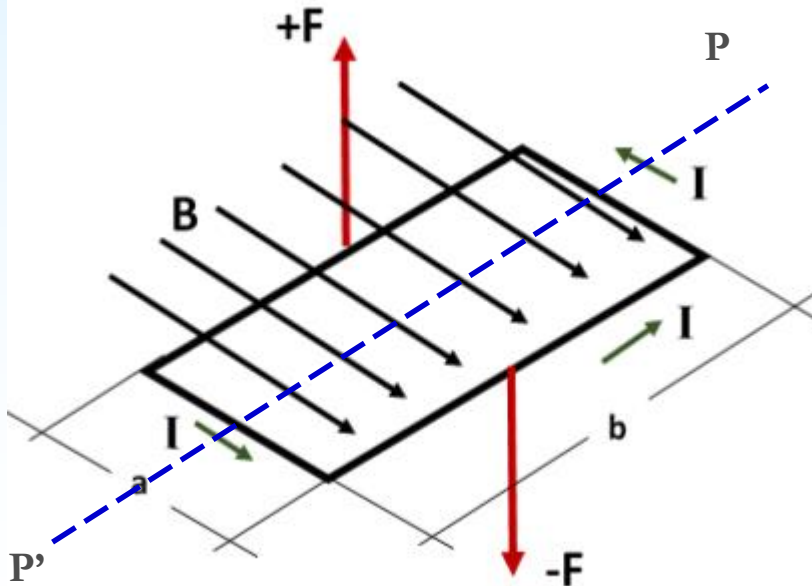
Considere uma espira retangular transportando uma corrente contínua e constante I , imersa numa região de campo magnético constante B , como ilustra a figura. Observe que a **força magnética total sobre a espira é igual a zero**, visto que trata-se de um circuito fechado. No entanto, é possível que exista um torque sobre a espira diferente de zero.



Torque sobre uma espira de corrente

Cada face da espira pode ser vista como um segmento que transporta corrente I . Nas faces de lado a , a força magnética é nula pois a direção da corrente é paralela a direção do campo. Nas faces de lado b , resultam:

$$F = IBb$$



Torque sobre uma espira de corrente

Considerando o eixo de rotação PP' que passa pelo centro da espira, tem-se que o torque total é devido ao binário

$$\vec{F} \text{ e } -\vec{F}, \text{ ou seja: } \tau = 2IBa\frac{b}{2} \sin\theta = IBA \sin\theta$$

A área $A = ab$ pode reescrita na forma de um vetor com versor \vec{n} normal: $\vec{A} = ab \vec{n}$. Então:

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$$

Torque e momento de dipolo magnético

Definição: Momento de dipolo magnético, ou momento magnético

$$\vec{\mu} = I\vec{A}$$

Definição: Torque sobre uma espira de área A:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$



EXERCÍCIO 5

Uma bobina circular com raio 0,0500 m possui 30 espiras e está situada sobre um plano horizontal. Ela conduz uma corrente de 5,0 A que foi no sentido anti-horário, quando observada de cima para baixo. A bobina está em um campo magnético uniforme orientado da esquerda para a direita, com módulo 1,20 T. Calcule o módulo do momento magnético e o módulo do torque sobre a bobina.

Solução

Momento de dipolo magnético: $\mu = NIA \rightarrow \mu = NI\pi r^2 \rightarrow \mu = 1,18 \text{ Am}^2$

Torque sobre uma espira de área A:

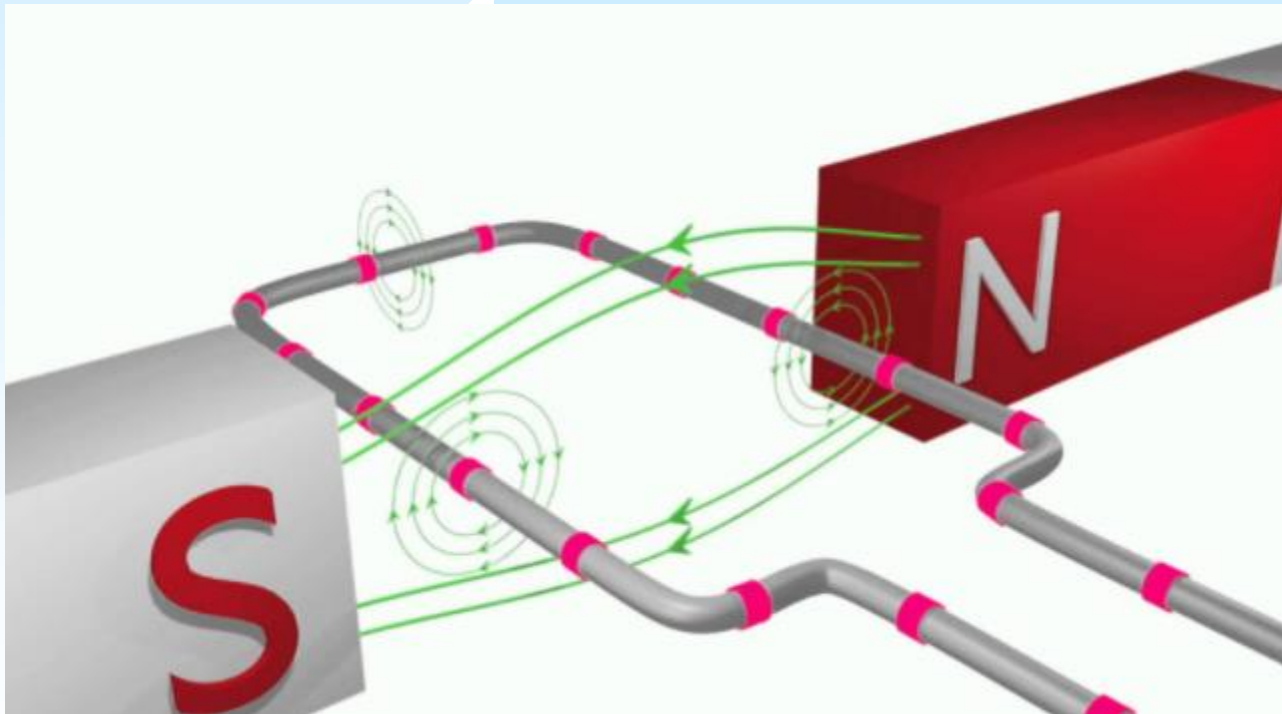
$$\tau = N\mu B \sin(\phi) \rightarrow \tau = 1,41 \text{ N.m}$$

sendo $\phi=90^\circ$.



Motor Eléctrico

<https://youtu.be/Cwe6swMCx6M>



EXERCÍCIO 6

Uma bobina retangular de fios de 22,0 cm por 35,0 cm e que transporta uma corrente de 1,40 A, está orientada de modo que o plano de sua espira é perpendicular a um campo magnético uniforme de 1,50 T.

- (a) Calcule a força resultante e o torque que o campo magnético exerce sobre a bobina.
- (b) Se a bobina é girada formando um ângulo de $30,0^\circ$ em relação ao eixo indicado, como o lado esquerdo saindo do plano da figura, calcule a força resultante e o torque que o campo exerce sobre a bobina.

Solução (a) Por se tratar de um circuito fechado, a força resultante é nula.

Também se considerarmos que o ângulo de rotação $\theta = 0$, não existe torque inicial, pois $\sin(\theta) = 0$. No entanto, o torque resultante é:

$$\tau = IAB\sin(\theta) = 01,40 \times (0,35 \times 0,22) \times 1,50 = 0,162 \text{ N.m}$$

(b) Para um ângulo de $30,0^\circ$, o torque resultante é:

$$\tau = IAB\sin(\theta) = 1,40 \times (0,35 \times 0,22) \times 1,50\sin(30) = 0,081 \text{ N.m}$$

e a força resultante continua a ser nula. O torque é devido ao binário atuante nas faces menores da espira.

Aula 13

CAMPO MAGNÉTICO

PARTE 2
