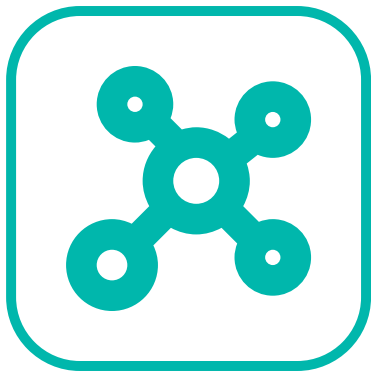


# GUIA DE SOBREVIVÊNCIA

⚡ Eletromagnetismo ⚡





# GUIA DE SOBREVIVÊNCIA

O **eletromagnetismo** é um ramo da física responsável por estudar diversos fenômenos relacionados à **eletricidade** e ao **magnetismo**. Esses fenômenos têm sua origem na **força eletromagnética**, uma das interações fundamentais da natureza (se lembra das outras três? Força gravitacional e as forças nucleares, forte e fraca).

A força eletromagnética é a interação por trás da maioria das coisas que acontecem em nosso dia a dia, desde efeitos atômicos até a geração de energia elétrica em usinas. Em nossa vida, utilizamos muitos recursos eletromagnéticos, e até mesmo dependemos deles para poder existir. A energia elétrica que utilizamos em casa, as sinapses em nosso sistema nervoso, a radiação proveniente do Sol, que possibilita boa parte da vida em nosso planeta, e os exames radiológicos que proporcionaram um grande avanço na medicina são alguns dos exemplos do quão importante o eletromagnetismo é para nós.

Para estudar esse ramo, nós os separamos em três subáreas: **eletrostática**, **eletrodinâmica** e **magnetismo**. Esse guia te ajudará a entender melhor os principais conceitos por trás do eletromagnetismo.

## ELESTROSTÁTICA

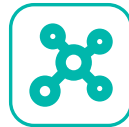
Essa subárea estuda cargas elétricas em repouso e as interações entre elas. Você terá uma introdução a noções fundamentais de eletromagnetismo, tais como carga elétrica, força elétrica, campo elétrico, potencial elétrico e diferença de potencial. Esses conceitos serão importantes ao longo de todo o eletromagnetismo!



**Carga elétrica:** é uma grandeza correspondente à propriedade das partículas que determina as suas interações. Existem dois tipos de cargas elétricas, que se comportam de maneiras diferentes entre si, de acordo com a **Lei de Coulomb** (que já veremos daqui a pouco): cargas **positivas** e cargas **negativas**. É interessante esclarecer que esses nomes são arbitrários. Ou seja, outros nomes poderiam ter sido escolhidos para representar os dois tipos diferentes de carga. Positivo e negativo não têm uma relação com a natureza das cargas, servem apenas para nomeá-las e diferenciá-las.

Unidade no Sistema Internacional: coulomb (C).

- **Elétron:** partícula que possui carga negativa. A carga do elétron vale  $-1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$  e é representada por **-e** (ou por  **$q_e$** ). O elétron é considerado uma partícula elementar. Isso significa que não conhecemos uma “subdivisão” para o elétron: até onde sabemos, ele não é composto por partes menores, ainda mais elementares do que ele mesmo.



- **Próton:** partícula que possui carga positiva. Seu valor é igual ao do elétron, mas convencionamos como positivo.



$$q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}C$$



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

O próton (+) e o elétron (-) possuem o mesmo valor de carga, mas com sinais opostos.

Essa quantidade de carga é conhecida como **carga elétrica fundamental** e é representada por **e**.

Existe outra partícula que é interessante citarmos: o **nêutron**. Ele se encontra no núcleo dos átomos (junto com os prótons), mas não possui carga elétrica.

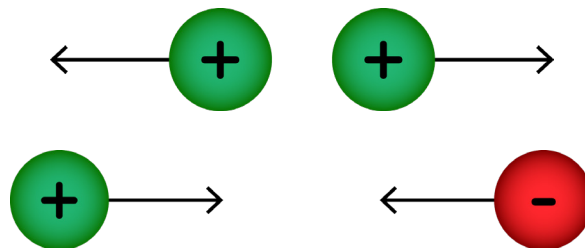
Podemos analisar a carga elétrica até mesmo para corpos maiores, macroscópicos. Como os corpos são feitos de átomos e, conseqüentemente, de prótons, elétrons e nêutrons, o valor total da carga de um corpo é um múltiplo inteiro de **e**. Calculamos a carga total de um corpo da seguinte forma:

$$Q = n \cdot e$$

em que n é um número inteiro qualquer.

**Conservação de carga:** é um princípio que nos diz que nenhuma carga elétrica pode ser criada ou destruída. Podemos transferir cargas de um corpo para outro, como veremos adiante. Mas a quantidade total de cargas se conserva: uma carga não pode simplesmente “sumir” ou surgir do nada.

**Força elétrica:** tipo de força exercida entre cargas elétricas. Dependendo do tipo das cargas, essa força pode ser atrativa ou repulsiva. Cargas elétricas de mesmo sinal (positiva com positiva, negativa com negativa) se repelem entre si, tendendo a se afastar e cargas elétricas de sinais opostos (positiva com negativa) se atraem entre si, tendendo a se aproximar.



Duas cargas de mesma natureza se repelem e duas cargas de naturezas diferentes se atraem.

**Lei de Coulomb:** lei da física que explica de que maneira a força elétrica atua entre duas cargas elétricas. A Lei de Faraday nos diz que o módulo dessa força é diretamente proporcional ao produto das duas cargas e é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Matematicamente:

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

esse **k** é uma constante de proporcionalidade, chamada de constante de Coulomb (ou constante eletrostática) e vale aproximadamente  $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ . As cargas **q<sub>1</sub>** e **q<sub>2</sub>** são os **módulos** das cargas que estamos analisando. Portanto, consideramos apenas o seu valor.

Como a força elétrica é um tipo de força, sua unidade no SI é o newton (N).

**Corpo neutro:** um corpo que possui o mesmo número de prótons e de elétrons é chamado de corpo neutro. Por haver esse equilíbrio, a carga total do corpo é nula. Mas tome cuidado: isso não significa que o corpo não possui carga elétrica! Significa apenas que as cargas que ele possui estão equilibradas entre si.

**Condutividade elétrica:** diversos materiais possuem uma maior ou menor facilidade em conduzir elétrons. Veremos na eletrodinâmica que quando um corpo conduz um fluxo ordenado de elétrons, dizemos que ele conduz corrente elétrica.

A facilidade que um material tem em conduzir corrente elétrica é dada por uma grandeza física chamada condutividade elétrica.





positivamente carregado e a seda se torna negativamente carregada.

Existe uma classificação dos materiais que determina qual deles irá ganhar ou perder elétrons ao sofrer atrito. Essa classificação é chamada de **série triboelétrica**. Veja alguns dos materiais da série triboelétrica:

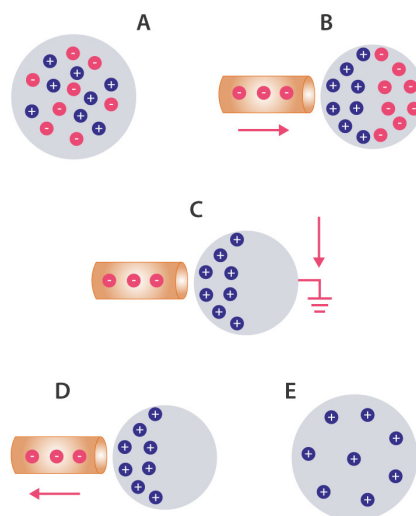
Materiais
(+) Extremidade positiva
Pele Humana Seca
Couro
Vidro
Lã
Seda
Alumínio
Papel
Madeira
Cobre
Poliéster
Isopor
Silicone
(-) Extremidade negativa

Ao atritarmos dois materiais, o que estiver mais próximo da extremidade positiva perde elétrons, tornando-se positivamente carregado. Consequentemente, o material mais próximo da extremidade negativa ganha esses elétrons, tornando-se negativamente carregado.

- **Eletrização por indução:** esse processo consiste em utilizar um corpo neutro, que queremos eletrizar, e um outro corpo, já eletrizado. Ao aproximar (mas sem encostar) os corpos, o corpo eletrizado **induz** uma separação de cargas no corpo neutro devido à repulsão de cargas. Se o corpo eletrizado estiver negativamente carregado, por exemplo, os elétrons do corpo neutro tendem a se afastar, concentrando-se em regiões distantes de onde o corpo carregado está próximo.

No esquema abaixo, um corpo negativamente eletrizado induziu um corpo neutro, que teve suas cargas separadas. Mantendo o corpo eletrizado

em sua posição, um aterramento permitiu transportar cargas negativas para a terra, eletrizando positivamente o corpo que antes era neutro.

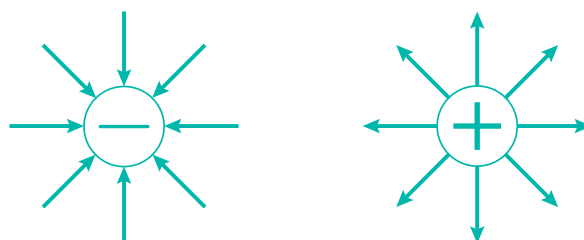


**Campo elétrico:** toda carga elétrica, simplesmente por existir, exerce uma influência sobre o espaço à sua volta. Essa influência, essa “aura” ao seu redor, é o que chamamos de campo elétrico.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial e cada ponto pertencente a ele possui sua representação vetorial, que corresponde ao **vetor campo elétrico** naquele ponto.

Como se trata de um vetor, é possível ilustrar seus três parâmetros (módulo, direção e sentido). Fazemos isso através de **linhas de campo**, que são linhas imaginárias responsáveis por indicar, ponto a ponto, o módulo e a orientação do campo elétrico. O vetor campo elétrico é tangente às linhas de campo em cada ponto e aponta no mesmo sentido que elas.

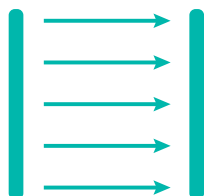
Consideramos, por convenção, que as linhas de campo apontam “para dentro” de cargas negativas e “para fora” de cargas positivas, como mostrado na imagem abaixo:





O campo elétrico é mais intenso nas regiões onde há maior concentração de linhas de campo. As linhas de um campo elétrico nunca se cruzam!

- **Campo elétrico uniforme:** campo elétrico que possui mesmo módulo e mesma orientação em cada região do espaço.



Campo elétrico uniforme entre duas placas

De acordo com a convenção que vimos, as linhas de campo estão saindo da placa positivamente carregada (à esquerda) e entrando na placa negativamente carregada (à direita). Essas linhas possuem mesmo tamanho e a mesma orientação, indicando um campo elétrico uniforme.

Veja duas formas de calcular o módulo do campo elétrico em um ponto:

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

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

Ambas as formas são equivalentes. Mas na primeira, consideramos o módulo da carga geradora do campo (**Q**) e a sua distância **d** ao ponto onde estamos calculando o campo. Nessa equação, **k** é a constante eletrostática, aquela mesma que vimos ainda há pouco na Lei de Coulomb.

No caso da segunda equação, utilizamos caso seja considerada uma outra carga, de módulo **q**, inserida no ponto onde queremos calcular o campo elétrico gerado por **Q**. Nessa equação, **F** é o módulo da força elétrica entre as cargas **Q** e **q**.

No Sistema Internacional, o campo elétrico é medido em newtons por coulomb (N/C), que é equivalente a volts por metro (V/m).

**Blindagem eletrostática:** se lembra, na parte de processos de eletrização, quando vimos que as cargas elétricas se distribuem pela superfície de um material condutor? Se considerarmos um objeto cuja superfície é feita de um material condutor, os elétrons sobre essa superfície tendem a se repelir de forma que o campo elétrico no interior do material seja nulo. É esse o fenômeno que chamamos de blindagem eletrostática. Um objeto ou um ambiente que possua blindagem eletrostática é chamado de **gaiola de Faraday**.

Uma consequência muito interessante disso é que em uma tempestade, um carro atua como uma gaiola de Faraday. Por isso, o interior de um veículo é um ambiente seguro para se proteger de raios.



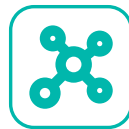
Em todos os pontos no interior de um carro, o campo elétrico é nulo.

**Potencial elétrico:** primeiramente, vamos falar de **energia potencial elétrica**, fazendo uma analogia com a gravitação.

Sabemos que se colocarmos um objeto sobre um local a uma certa altura, esse objeto possuirá uma energia potencial gravitacional relativa à sua localização no campo gravitacional da Terra. De maneira análoga, uma carga localizada em um campo elétrico possui energia potencial elétrica em virtude de sua localização no campo elétrico.

Ao falarmos da energia potencial elétrica de um corpo, essa energia depende do módulo da carga **q** do corpo. Podemos tratar da energia potencial **E<sub>p</sub>** por carga **q** de um corpo. Isso caracteriza o **potencial elétrico (V)**:

$$V = \frac{E_p}{q}$$



Para calcular o potencial elétrico em um ponto de um campo, podemos também considerar o módulo da carga geradora  $Q$  e de sua distância  $d$  ao ponto onde queremos calcular o potencial. Matematicamente, escrevemos:

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

onde o  $k$ , novamente, é a constante eletrostática.

Potencial elétrico é uma grandeza escalar dada em joules por coulomb (J/C), também conhecida como volt (V), no Sistema Internacional.

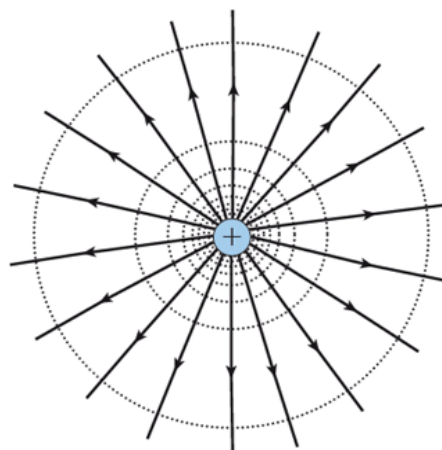
**Diferença de potencial:** quando falamos de potencial elétrico, ele costuma ser útil quando existe uma **diferença de potencial** (ddp) entre dois pontos. A diferença de potencial é, literalmente, a diferença entre os potenciais elétricos de dois pontos que estejamos analisando. Essa é uma grandeza muito importante, sobretudo para a eletrodinâmica. Também é conhecida como tensão, ou ainda, mais informalmente, como voltagem.

Nos casos em que o campo elétrico é uniforme, a diferença de potencial  $V$  entre dois pontos pode ser calculada de um jeito muito simples: pelo produto entre o módulo  $E$  do campo elétrico e a distância  $d$  entre esses dois pontos:

$$V = E \cdot d$$

Sua unidade no Sistema Internacional é a mesma de potencial elétrico: volt (V).

**Superfícies equipotenciais:** são superfícies imaginárias formadas por pontos que tenham o mesmo potencial elétrico. Ou seja, todos os pontos que formam uma superfície equipotencial têm o mesmo potencial elétrico. Ficou muito complicado de entender por essa definição? Não se preocupe, é uma ideia abstrata mesmo. Você pode compreender melhor com uma ajuda visual:



Cada circunferência ao redor da carga positiva representa uma superfície equipotencial. A imagem nos dá uma visão bidimensional, mas as superfícies equipotenciais são tridimensionais. Imagine que elas seriam “cascas” esféricas ao redor de uma carga.

É importante destacar que as linhas de campo são sempre normais (formam  $90^\circ$ ) às superfícies equipotenciais.

Além disso, nas cargas pontuais, o potencial elétrico decresce no sentido das linhas de campo. Por exemplo, se seguirmos o sentido “para fora” das linhas na imagem acima, o potencial elétrico está diminuindo, já que esse é o sentido das linhas de campo.

**Trabalho:** para mover uma carga por um campo elétrico (consequentemente, alterando sua energia potencial elétrica e seu potencial elétrico), é necessário realizar trabalho. E como calcular o trabalho necessário para mover essa partícula?

Através do teorema da energia potencial (que usamos também na mecânica!), que nos diz que o trabalho corresponde ao negativo da variação da energia potencial, podemos dizer que o trabalho realizado para mover uma carga contra um campo elétrico é dado por:

$$W = -q \cdot \Delta V$$

sendo que  $q$  é o valor dessa carga e  $\Delta V$  é a diferença de potencial entre os pontos final e inicial do movimento da carga.



**Capacitores:** são dispositivos utilizados para armazenar carga e energia elctrica. Essa energia pode ser armazenada para que seja utilizada em algum momento, e isso  $\acute{e}$  importante em circuitos elctricos, que veremos na parte de eletrodin $\acute{a}$ mica.

Normalmente, capacitores consistem em um par de placas paralelas feitas de um material condutor.

Calculamos a quantidade de carga  $q$  armazenada por um capacitor da seguinte forma:

$$q = C \cdot V$$

sendo  $V$  a diferen $\acute{c}$ a de potencial do capacitor e  $C$  a **capacit $\acute{a}$ ncia** do capacitor, uma caracter $\acute{i}$ stica relativa  $\grave{a}$  capacidade de armazenamento de energia.

Energia acumulada em capacitores:

$$E = \frac{q \cdot V}{2} = \frac{C \cdot V^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

as tr $\acute{e}$ s equa $\acute{c}$ o $\acute{e}$ s acima s $\grave{a}$ o equivalentes.

**Associa $\acute{c}$ o de capacitores:** capacitores podem ser associados de duas formas: em s $\acute{e}$ rie e em paralelo.

• **Associa $\acute{c}$ o em s $\acute{e}$ rie:**

- A diferen $\acute{c}$ a de potencial total corresponde  $\grave{a}$  soma das diferen $\acute{c}$ as de potencial dos capacitores associados:  $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ , para  $n$  capacitores.

- A carga total  $\acute{e}$  igual  $\grave{a}$  carga em cada um dos capacitores.

- Capacit $\acute{a}$ ncia equivalente ( $C_{eq}$ ):

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Para  $n$  capacitores iguais:  $C_{eq} = \frac{C}{n}$

Para 2 capacitores:  $C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$



Capacitores associados em s $\acute{e}$ rie

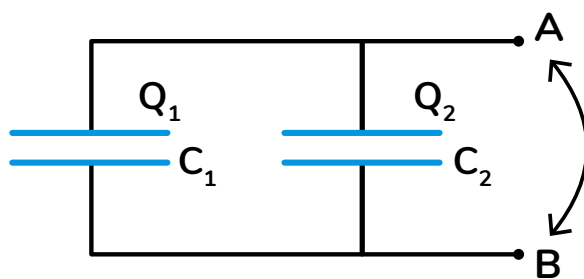
• **Associa $\acute{c}$ o em paralelo:**

- A diferen $\acute{c}$ a de potencial  $\acute{e}$  a mesma para todos os capacitores associados.

- A carga total corresponde  $\grave{a}$  soma das cargas:  $q_t = q_1 + q_2 + \dots + q_n$

- A capacit $\acute{a}$ ncia equivalente corresponde  $\grave{a}$  soma das capacit $\acute{a}$ ncias:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



Capacitores associados em paralelo.

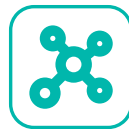
**ELETRODIN $\acute{A}$ MICA**

Quando estabelecemos um fluxo ordenado de elctrons, temos uma corrente elctrica. Esse elemento  $\acute{e}$  o protagonista da eletrodin $\acute{a}$ mica, onde voc $\acute{e}$  estudar $\acute{a}$  a eletricidade contextualizada em circuitos.



**Corrente elctrica:** fluxo ordenado de elctrons atrav $\acute{e}$ s de um condutor quando as extremidades desse condutor possuem uma diferen $\acute{c}$ a de potencial entre elas.



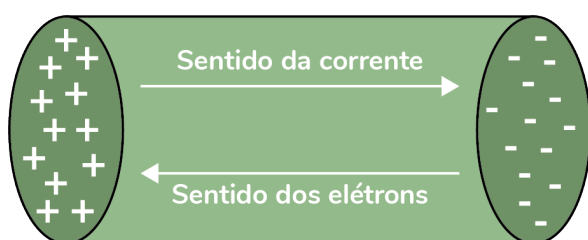


Matematicamente, definimos a corrente elétrica  $i$  como um fluxo de certa quantidade de carga  $q$  em um intervalo de tempo  $\Delta t$ :

$$i = \frac{q}{\Delta t}$$

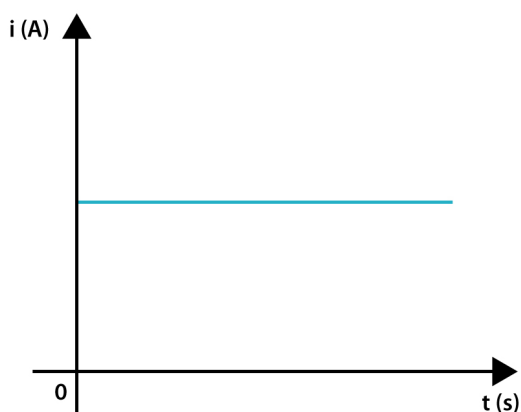
Unidade de corrente no Sistema Internacional: ampère (A).

O sentido de uma corrente, por motivações histórica, é o sentido contrário ao fluxo real dos elétrons. Esse sentido contrário acabou sendo o **sentido convencional** da corrente.



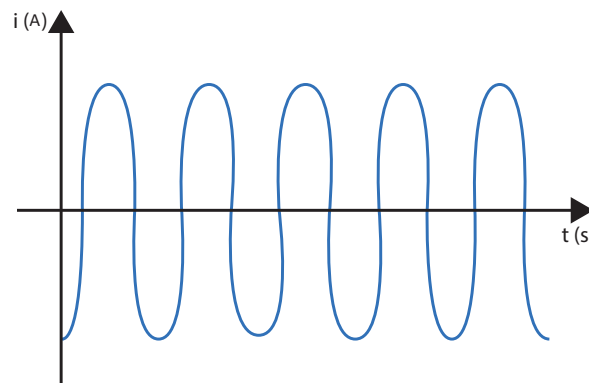
A corrente elétrica pode se manifestar de duas formas:

- **Corrente contínua:** o fluxo de elétrons se dá sempre no mesmo sentido.



O fluxo de elétrons se mantém constante ao longo do tempo.

- **Corrente alternada:** o fluxo de elétrons oscila periodicamente, alternando seu sentido.



O fluxo de elétrons oscila periodicamente ao longo do tempo.

**Tensão:** vimos o conceito de diferença de potencial (também chamada de tensão, voltagem ou força eletromotriz) quando estudamos eletrostática. Mas vale reforçar essa grandeza porque ela é muito importante na eletrodinâmica. Lembre-se: só há corrente elétrica passando por um condutor se houver uma diferença de potencial entre dois pontos desse condutor.

**Resistência elétrica:** grandeza associada à dificuldade que uma corrente enfrenta ao percorrer um condutor. No Sistema Internacional, é dada em ohms ( $\Omega$ ).

**Primeira Lei de Ohm:** importante lei da eletrodinâmica que estabelece a relação entre tensão, corrente e resistência para condutores cuja resistência é constante. Para esses condutores, a Primeira Lei de Ohm nos diz que a corrente  $i$  é diretamente proporcional à tensão  $V$ , tendo a resistência  $R$  como constante de proporcionalidade:

$$i = V \cdot R$$

**Segunda Lei de Ohm:** podemos determinar a resistência  $R$  de um material condutor através da Segunda Lei de Ohm:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

onde  $\rho$  é a resistividade elétrica (uma característica de cada material) do condutor,  $L$  é o seu comprimento e  $A$  é a sua área de seção transversal.



**Potência elétrica:** no geral, a potência corresponde à rapidez com que um trabalho é realizado, ou então à quantidade de energia transformada em outra forma por unidade de tempo:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

No caso da potência elétrica, nos referimos à taxa de transformação de energia elétrica. Além da fórmula geral de potência, podemos representar a potência elétrica de três formas, que são equivalentes:

$$P = V \cdot i = i^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Sua unidade no Sistema Internacional é o watt (W), que equivale a joule por segundo (J/s).

**Circuito elétrico:** chamamos de circuito elétrico todo caminho fechado por onde uma corrente pode passar. Circuitos costumam possuir diversos dispositivos, que veremos a seguir:

**Resistor:** dispositivo capaz de controlar a corrente através de sua alta resistência. Resistores de chuveiro (popularmente conhecidos como “resistências”) são exemplos desses dispositivos. Devido à sua resistência, eles transformam energia elétrica em energia térmica. Esse fenômeno é conhecido como **Efeito Joule**.



Símbolo de um resistor

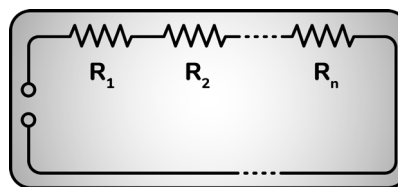
Os resistores são classificados em ôhmicos e não-ôhmicos:

- **Resistores ôhmicos:** sua resistência deve ser constante para uma dada temperatura. Esses resistores obedecem à Primeira Lei de Ohm.
- **Resistores não-ôhmicos:** não obedecem à Primeira Lei de Ohm. Nesse caso, a relação entre a corrente e a tensão não é diretamente proporcional.

**Associação de resistores:** assim como os capacitores, os resistores também podem ser dispostos em associações. Essas associações podem ser em série e em paralelo. Veja as características de cada um desses tipos:

• **Associação em série:**

- Todos os resistores são percorridos pela mesma corrente.
- A tensão fornecida corresponde à soma das tensões de cada resistor:  
 $V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$
- A resistência equivalente do circuito corresponde à soma das resistências de cada resistor:  $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$



Resistores associados em série

• **Associação em paralelo:**

- Todos os resistores estão submetidos a uma mesma tensão **V**.
- A corrente total corresponde à soma das correntes de todos os resistores:  
 $i_{total} = i_1 + i_2 + \dots + i_n$
- A resistência equivalente corresponde à soma dos inversos das resistências de cada

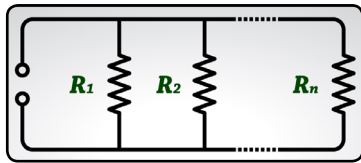
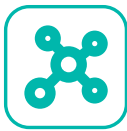
resistor:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Para **n** resistores com a mesma resistência:

$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

Para 2 resistores:  $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

OBS: para resistores associados em paralelo, a resistência equivalente é sempre menor do que a menor de todas as resistências da associação.



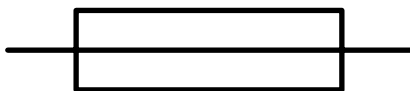
Resistores associados em paralelo

Podem existir também associações mistas de resistores (que misturam associações em série e em paralelo).

**Sobrecarga:** ocorre quando a corrente que percorre o circuito é maior do que a esperada, que poderia ser suportada pelo material do circuito. Dependendo da intensidade da corrente, ela pode causar danos no circuito ao sobrecarregar.

**Curto-circuito:** pode ocorrer de uma corrente encontrar um caminho alternativo (em que a resistência é menor) para percorrer em um circuito. Isso reduz o valor da resistência equivalente, e então a corrente que passará por esse caminho será maior do que o esperado. Caso o circuito não agente a intensidade dessa corrente, ele poderá ser danificado, o que, em alguns casos, pode até mesmo provocar incêndios.

**Fusível:** dispositivos que previnem sobrecargas em circuitos. Fusíveis são ligados aos circuitos e são feitos de maneira a se aquecer (por efeito Joule) e derreter para determinados valores de corrente, que poderiam vir a danificar o circuito. Dessa forma, o fusível interrompe essa corrente.



Símbolo de um fusível.

**Disjuntor:** possui a mesma função de um fusível, mas não derrete, podendo ser reutilizado. Se a corrente que percorre o circuito for maior do que a suportada pelo disjuntor, ele abre o circuito, interrompendo a passagem da corrente.



Símbolo de um disjuntor

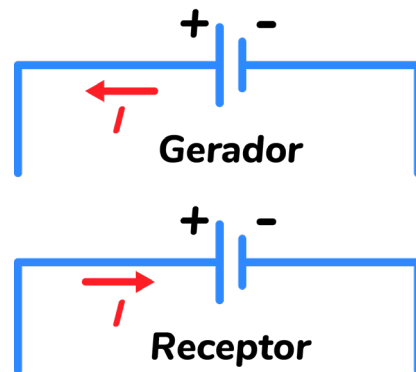
**Interruptor:** pode abrir e fechar um circuito, interrompendo a passagem da corrente.



Símbolo de um interruptor

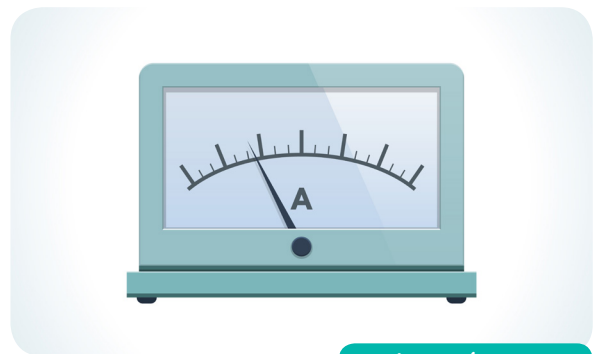
**Gerador:** dispositivo que transforma qualquer tipo de energia em energia elétrica, fornecendo-a a um circuito. Pilhas e baterias são exemplos de geradores.

**Receptor:** ao contrário dos geradores, os receptores transformam energia elétrica em outro tipo de energia. Motores elétricos, por exemplo, transformam energia elétrica em energia mecânica.



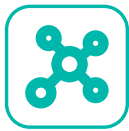
Esquema de um gerador e de um receptor em um circuito elétrico

**Amperímetro:** instrumento utilizado para medir a corrente elétrica que passa por um circuito. Deve ser ligado em série com um resistor.

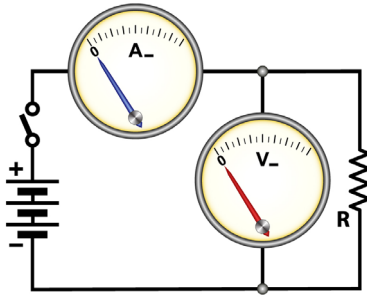


Amperímetro

**Voltímetro:** instrumento utilizado para medir a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito. Para isso, devem ser



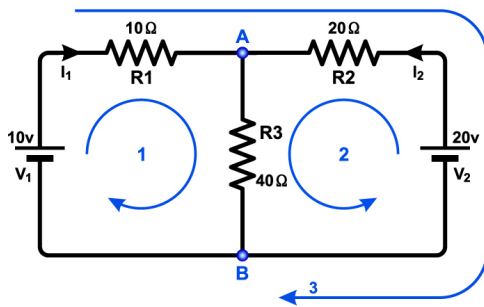
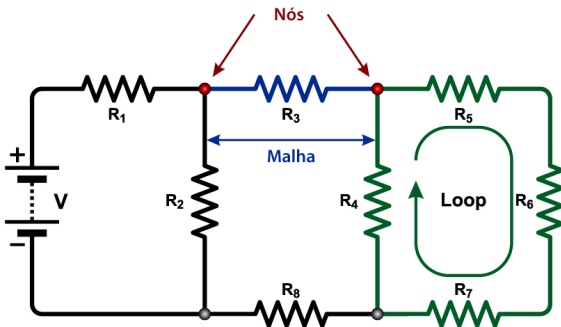
ligados em paralelo com os pontos onde queremos medir a tensão.



Um voltímetro e um amperímetro em um circuito

### Leis de Kirchhoff:

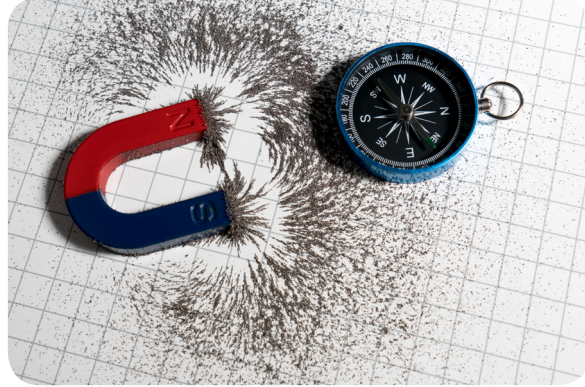
- 1. Lei dos nós:** a soma das correntes que chegam a um nó do circuito é igual à soma das correntes que saem do nó.
- 2. Lei das malhas:** a soma das diferenças de potencial de todos os elementos de uma malha fechada do circuito é igual a zero.



### MAGNETISMO

Os efeitos do magnetismo já são conhecidos pelo ser humano há mais de 2.000 anos. Visualizar e sentir nas mãos a interação entre um ímã e um pedaço de ferro é algo que provavelmente te fascinou quando criança. Séculos atrás, ímãs foram utilizados

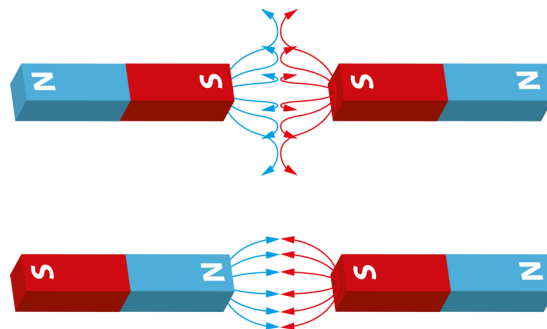
em bússolas para auxiliar nas navegações. No entanto, passou muito tempo até que percebêssemos que eletricidade e magnetismo estão intimamente ligados - são duas manifestações de um mesmo fenômeno.



**Polos magnéticos:** dois ímãs podem interagir entre si. Isso se deve às suas regiões chamadas de polos magnéticos. Um ímã possui dois polos, que interagem de maneiras diferentes com os polos de outro ímã.

Esses polos são denominados **polo norte** e **polo sul** do ímã. Assim como os nomes das cargas elétricas, os nomes dos polos magnéticos são arbitrários, escolhidos apenas para identificar cada polo de um ímã.

Polos de ímãs interagem da seguinte forma: polos iguais (norte com norte, sul com sul) se repelem e polos distintos (norte com sul) se atraem.



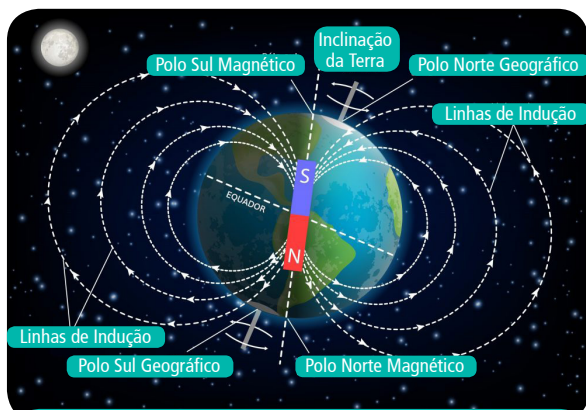
Ímãs de polos opostos se atraem, e de polos iguais se repelem.

Se você partir um ímã ao meio, você não conseguirá obter, separadamente, um polo norte e um polo sul. Na verdade, você obterá dois novos ímãs, cada um com seus polos norte e sul. Isso é conhecido como **inseparabilidade dos polos**.



**Polos da Terra:** uma bússola se alinha com o **campo magnético** (veremos logo em seguida o significado disso) da Terra. Ou seja, pelo que vimos, o polo norte de uma bússola aponta para o polo sul magnético da Terra e o polo sul dessa mesma bússola aponta para o polo norte magnético da Terra. No entanto, existem também os **polos geográficos** da Terra, que não correspondem aos seus polos magnéticos.

Confuso, né? Mas vamos lá: o polo sul magnético da Terra é o que chamamos de polo norte geográfico. E o polo norte magnético é o que chamamos de polo sul geográfico. Os polos magnéticos e geográficos não estão perfeitamente alinhados: eles têm um pequeno desvio.



O que chamamos de polo norte da Terra é o seu polo norte geográfico, mas devemos lembrar que se trata do seu polo sul magnético.

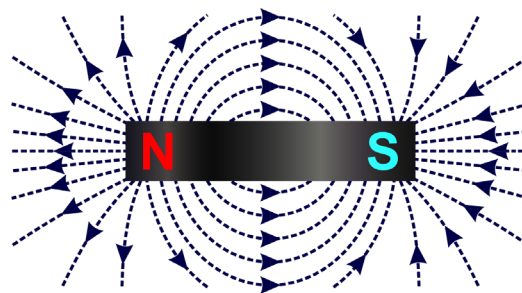
**Campo magnético:** assim como uma carga elétrica possui um campo elétrico ao seu redor, um ímã possui um campo magnético ao seu redor.

Também fazendo uma comparação com o campo elétrico, o campo magnético é uma grandeza vetorial e podemos analisá-lo através de **linhas de campo**. E o bacana é que podemos visualizar a orientação dessas linhas de campo! Se aproximarmos limalhas de ferro (que são minúsculos e finos pedacinhos de ferro) de um ímã, essas limalhas formam um padrão que corresponde às linhas de campo do ímã:

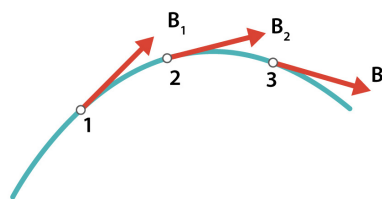


O sentido das linhas de campo é saindo do norte e entrando no sul de um ímã. Dentro do ímã, elas vão do polo sul para o norte. Onde há maior concentração de linhas de campo, o campo magnético é mais intenso. Em um ímã, o campo é mais intenso nos seus polos.

Como em um campo elétrico, as linhas de campo magnético nunca se cruzam.



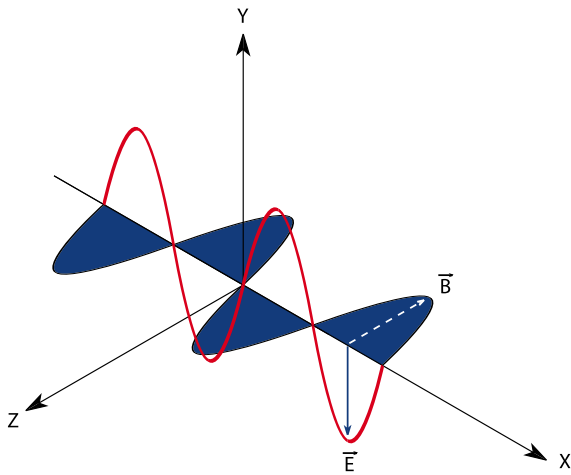
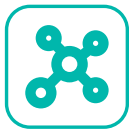
Comentamos que o campo magnético é uma grandeza vetorial, e é geralmente representado por  $\vec{B}$ . Em cada ponto das linhas de campo, o vetor campo magnético (também conhecido como **vetor indução magnética**) é tangente à linha.



O vetor campo magnético é tangente às linhas de campo a cada um de seus pontos.

No Sistema Internacional, a unidade de campo magnético é tesla (T).

Se lembra das ondas eletromagnéticas? Aquelas que estudamos em ondulatória. Elas não recebem esse nome à toa: ondas eletromagnéticas se propagam em **campos eletromagnéticos**, que são compostos por campos elétricos e magnéticos.



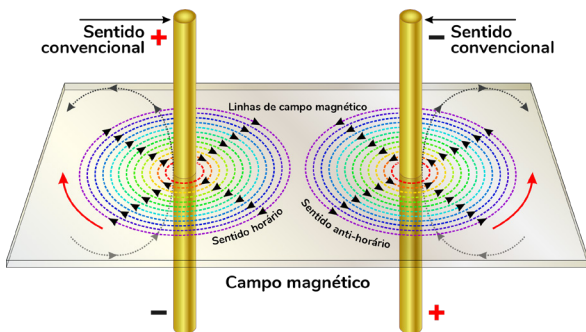
Representação tridimensional dos campos elétrico  $\vec{E}$  e magnético  $\vec{B}$  gerados por uma carga.

**Materiais ferromagnéticos:** podem ser imantados, ou seja, podem se tornar um ímã. Ex: ferro, níquel e cobalto (e algumas ligas que contenham esses elementos).

**Materiais paramagnéticos:** são substâncias, como o alumínio, a platina, o manganês e o ar, que se imantam muito fracamente sob a influência de um campo magnético.

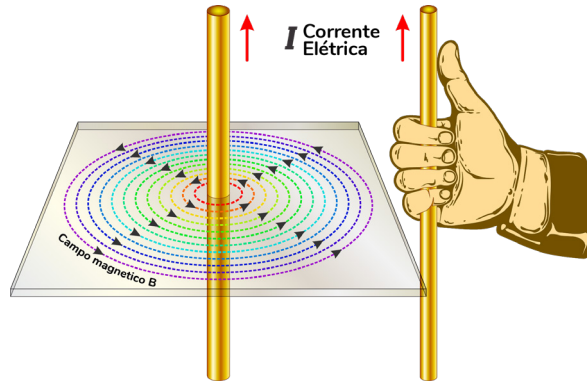
**Materiais diamagnéticos:** substâncias como a prata, o ouro, o chumbo, o zinco, a água e o bismuto, cuja interação com um campo magnético resulta em uma fraca repulsão.

**Campo magnético em um fio retilíneo:** um fio condutor, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, gera um campo magnético ao seu redor.



Uma corrente atravessa um fio condutor, gerando um campo magnético representado pelos padrões circulares em torno do fio.

O sentido do campo magnético se dá de acordo com o sentido da corrente. Ao inverter o sentido da corrente, o sentido do campo se inverte. Podemos determinar esse sentido através de uma regra mnemônica conhecida como **regra da mão direita**. Veja abaixo como utilizá-la:



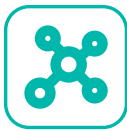
Ao fazer a posição da mão como na imagem acima, o polegar indica o sentido da corrente. Nessa disposição, o sentido dos outros dedos indica o sentido do campo magnético. Se você invertesse a posição da mão (com o polegar apontando para baixo), os outros dedos apontariam em sentido contrário e, portanto, o campo magnético também trocaria o sentido.

Outra forma de representar e visualizar a orientação de um campo magnético é através do uso de símbolos em um plano, como a folha de papel que você irá usar para fazer os exercícios de eletromagnetismo do Biologia Total. Se um vetor estiver “entrando” na folha, representamos através do símbolo  $\otimes$ . Se estiver “saindo” da folha, representamos por  $\odot$ .

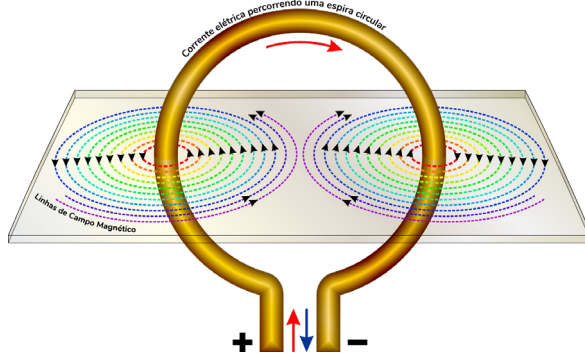
Para o caso do fio retilíneo, calculamos o módulo  $B$  do campo magnético da seguinte forma:

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

sendo  $\mu_0$  uma constante chamada constante de permeabilidade magnética, e vale,  $4\pi \cdot 10^{-7} Tm/A$ ,  $i$  a intensidade da corrente elétrica e  $r$  a distância do fio ao ponto onde queremos calcular o módulo do campo magnético.



**Campo magnético em uma espira circular:** uma espira circular seria, basicamente, encurvar um fio condutor, como esse que vimos no exemplo anterior. Uma corrente que percorre uma espira gera um campo magnético cujas linhas de campo se agrupam ao redor da espira.



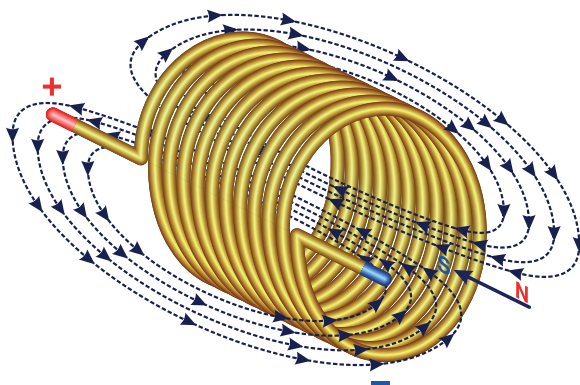
Campo magnético gerado por uma espira circular.

Para determinar a orientação do campo magnético, basta saber o sentido da corrente e usar a regra da mão direita.

O módulo **B** do campo magnético é calculado da seguinte forma:

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

**Campo magnético em um solenoide:** se pegarmos um fio (como o do primeiro exemplo) e o encurvarmos várias vezes, obteremos sucessivas espiras, obteremos uma estrutura conhecida como **solenóide**, ou **bobina**. Quanto maior for o número de espiras no solenoide, mais intenso será o seu campo magnético em seu interior.



Campo magnético gerado por um solenoide.

Novamente, utilizamos a regra da mão direita para encontrar a orientação do campo. Para calcular o seu módulo **B**, usamos a seguinte equação:

$$B = \frac{\mu_0 i n}{L}$$

nesse caso, **n** é o número de espiras e **L** é o comprimento do solenoide (da primeira até a última espira).

**Eletroímã:** ímã constituído por um núcleo de material ferromagnético circundado por uma bobina. Quando essa bobina é percorrida por uma corrente, o núcleo é magnetizado.

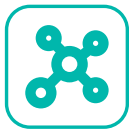


Representação de um eletroímã. Quando uma corrente percorre a bobina, a estrutura é magnetizada, atraindo as limalhas de ferro.

**Força magnética:** força atrativa ou repulsiva exercida sobre corpos carregados eletricamente que estejam em movimento em um campo magnético.

- **Força magnética sobre uma carga:** uma carga **q** que se move com uma certa velocidade **v** em um campo magnético **B** sofre a ação de uma força magnética, cujo módulo é calculado da seguinte forma:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}(\theta)$$



Sendo  $\theta$  o ângulo entre os vetores velocidade e campo magnético.

Alguns casos particulares para o módulo da força magnética:

- **Partícula se move perpendicularmente ao campo:** nesse caso, a força magnética possui seu valor máximo, pois o seno de  $90^\circ$  é igual a 1. A carga descreve um **movimento circular e uniforme**. O raio  $R$  dessa trajetória circular é calculado da seguinte forma:

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

e podemos calcular também o seu período  $T$ :

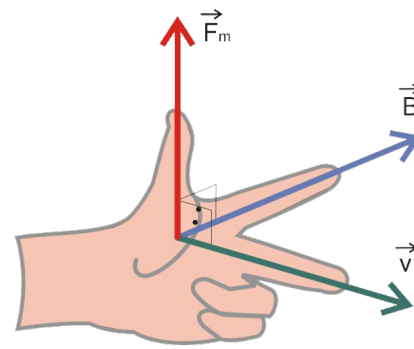
$$T = \frac{2 \pi m}{q \cdot B}$$

- **Partícula se move paralelamente ( $\theta = 0^\circ$ ) ou antiparalelamente ( $\theta = 180^\circ$ ) ao campo:** nesse caso, a força magnética é nula, pois o seno de ambos os ângulos é nulo. A carga descreve um **movimento retilíneo e uniforme** se for lançada em algum desses ângulos. Caso ela seja abandonada no campo, permanecerá em repouso.

- **Partícula se move obliquamente:** nessa situação, a velocidade pode ser decomposta em suas componentes. O movimento resultante é um **movimento helicoidal**.

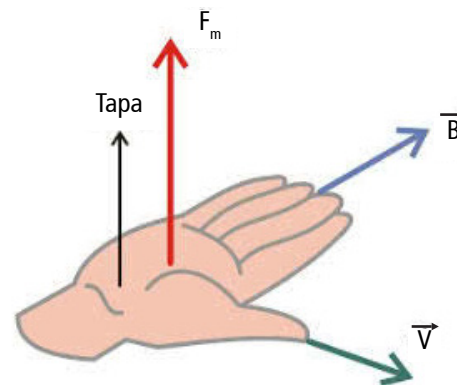
Para todos os casos, a força magnética é sempre perpendicular aos vetores campo magnético e velocidade da carga. Para descobriremos a orientação do vetor força magnética, utilizamos outras regrinhas: a regra da mão esquerda e uma nova versão da regra da mão direita, que também é conhecida como regra do “tapa”. Ambas as regras podem ser utilizada. Veja a seguir como utilizar cada uma delas:

### Regra da mão esquerda



A imagem acima ilustra a utilização da regra da mão esquerda. O indicador representa o campo magnético. O dedo médio representa a velocidade da carga e o polegar fornece a orientação do vetor força magnética.

### Regra da mão direita: versão regra do “tapa”



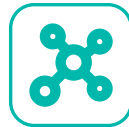
O polegar indica a velocidade da carga. Os outros dedos indicam o campo magnético. O “tapa” dado pela palma da mão (se a carga for positiva) indica a orientação do vetor força magnética. Se a carga for negativa, o tapa é dado com as costas da mão.

• **Força magnética sobre um condutor:** calculamos também a força magnética sobre um fio condutor ao ser percorrido por uma corrente. A equação para a força nesse caso é:

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \text{sen}(\theta)$$

em que  $i$  é a intensidade da corrente,  $L$  é o comprimento do fio e  $\theta$  é o ângulo entre a

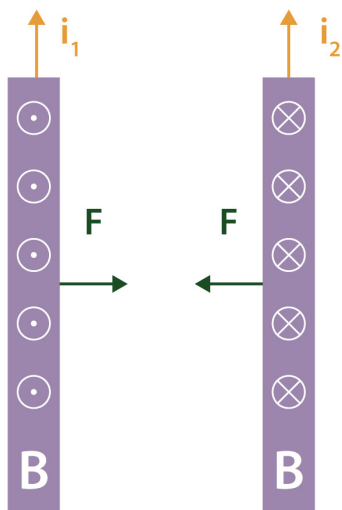




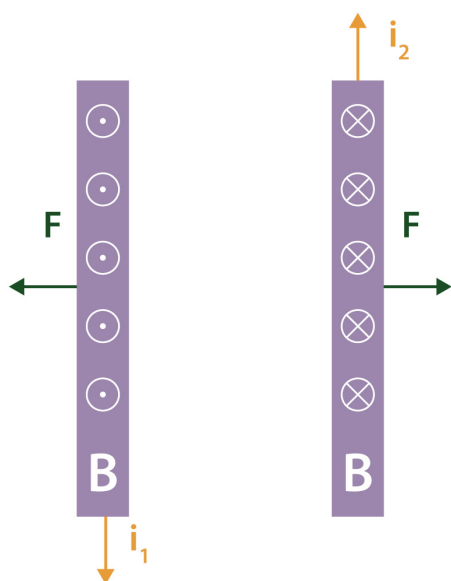
corrente e o campo.

A força é mais intensa quando a corrente é perpendicular às linhas do campo magnético. A direção da força não está ao longo das linhas de campo, nem ao longo da direção da corrente. A força é perpendicular tanto às linhas do campo quanto à corrente. Ela atua lateralmente.

• **Força magnética entre fios condutores:** ao considerarmos dois fios condutores, lado a lado, percorridos por corrente, as forças às quais eles são submetidos podem ser tanto atrativas quanto repulsivas.



Força de atração: correntes no mesmo sentido.



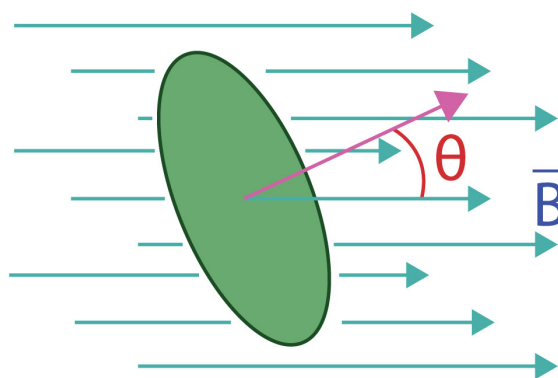
Força de repulsão: correntes em sentidos opostos.

Para calcular o módulo da força entre os fios, usamos a equação:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi R}$$

sendo  $i_1$  e  $i_2$  as intensidades nos fios 1 e 2, respectivamente,  $L$  o comprimento dos fios e  $r$  a distância entre eles.

**Fluxo magnético:** fluxo de linhas de campo que atravessam uma determinada área  $A$  em um certo tempo.

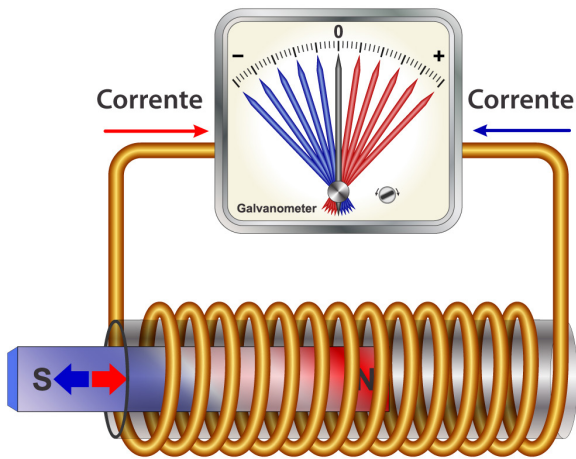
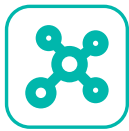


O fluxo  $\Phi$  é calculado por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos(\theta)$$

sendo  $\theta$  o ângulo entre o campo e um vetor normal (perpendicular) à área onde o campo flui.

**Indução eletromagnética:** assim como uma corrente elétrica pode gerar um campo magnético, a **variação de um campo magnético** pode gerar uma corrente elétrica. Isso pode ser feito, por exemplo, ao provocar um movimento relativo entre um ímã e uma bobina.



Quando o ímã é repentinamente empurrado para o interior da bobina, aparece nesta uma tensão induzida, e as cargas no seu fio são colocadas em movimento.

**Lei de Faraday:** importante lei que descreve o fenômeno de indução eletromagnética. Ela nos diz o seguinte:

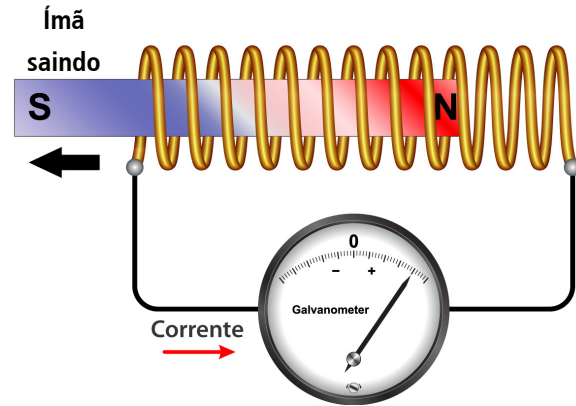
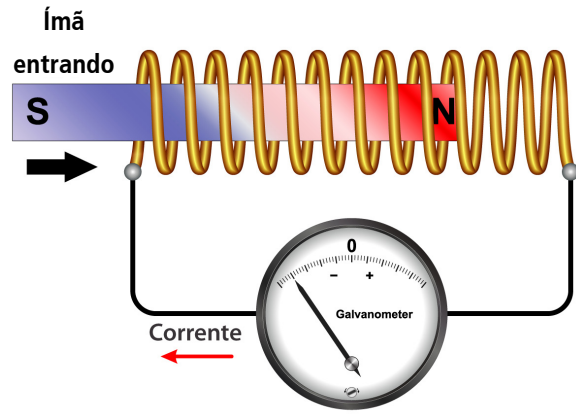
“A tensão induzida em uma bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior das espiras.”

Matematicamente:

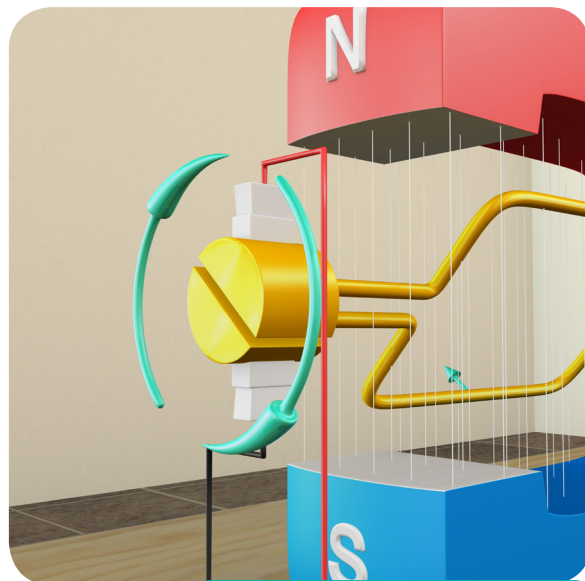
$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

sendo a força eletromotriz (tensão) induzida, **N** o número de espiras, e a expressão  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  a variação do fluxo magnético.

**Lei de Lenz:** não é propriamente a explicação fundamental de um fenômeno. Ela é, basicamente, uma explicação do sinal negativo que surge na Lei de Faraday. Esse sinal indica que a tensão induzida apresenta **sentido contrário à variação do fluxo magnético**, ou seja, se um ímã se mover em um sentido, a corrente é induzida no sentido oposto:



**Gerador de corrente alternada:** quase todas as usinas de energia se baseiam no princípio de indução eletromagnética para transformar alguma forma de energia em energia elétrica através de geradores. Esses geradores produzem corrente alternada, que é obtida ao rotacionar uma bobina dentro de um campo magnético. Ao girar a bobina, o fluxo magnético varia constantemente, produzindo uma corrente elétrica que alterna com frequência definida.



Gerador de corrente alternada





**Biologia**  
PROF. PAULO JUBILUT *total*

- ✉ [contato@biologiatotal.com.br](mailto:contato@biologiatotal.com.br)
- f [/biologiajubilit](#)
- ▶ [Biologia Total com Prof. Jubilit](#)
- 📷 [@paulojubilit](#)
- 🐦 [@Prof\\_jubilit](#)
- 📌 [biologiajubilit](#)
- 📍 [+biologiatotalbrjubilit](#)