

**Material teórico – Módulo Eletrodinâmica I**

**Fundamentos da Eletrodinâmica**

**Terceiro Ano do Ensino Médio**

**Autor: Vinicius Henning**

**Revisor: Luna Lima**



**Portal  
da Física  
OBMEP**

## 1. Introdução

Essencialmente, em todos os tópicos discutidos até o momento, partimos da premissa de que as cargas estavam em repouso (estáticas). Vamos relaxar essa condição permitindo que as cargas se movam, ou seja, vamos estudar a dinâmica das cargas elétricas: a eletrodinâmica.

Neste texto introduziremos os conceitos básicos associados ao movimento de cargas e suas definições. Posteriormente seguiremos com as aplicações dos fundamentos discutidos aqui.

## 2. As cargas em movimento e os diferentes de portadores de cargas

Conforme já discutido em textos anteriores, os átomos são compostos por um núcleo, que por sua vez é composto por nêutrons (partículas sem carga) e prótons (partículas de carga positiva  $e$ ), e por uma nuvem eletrônica, composta por elétrons de carga  $-e$  orbitando ao redor do núcleo. Nós discutimos também que a transferência de carga dá-se pela transferência de elétrons e **não** pela transferência de prótons. Assim, se um corpo está **positivamente** carregado significa que **removemos elétrons** do mesmo. Isso ocorre por que para removermos prótons do núcleo custa muito mais energia do que para removermos elétrons da nuvem eletrônica. O núcleo, mesmo sendo formado por um conjunto de cargas positivas, que a princípio se repelem eletrostaticamente, consegue se manter coeso devido a um mecanismo chamado de *interação forte*.

Dito isto, suponha que tenhamos um fio condutor carregado com uma quantidade total de carga  $Q = -n \cdot e$ , onde  $n$  é o número total de elétrons livres no condutor.

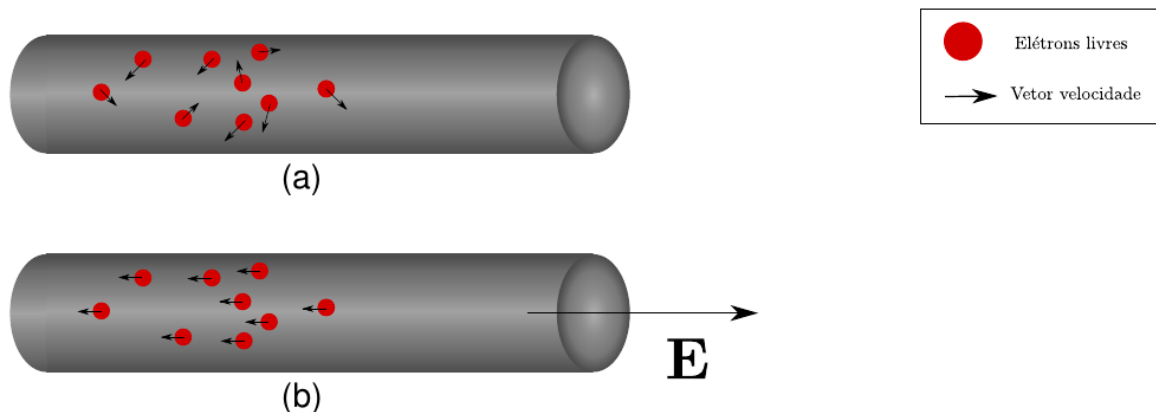


Figura 1: Fio condutor carregado, (1.a) condutor não polarizado e (1.b) condutor polarizado.

Na situação da figura (1.a) os elétrons movem-se de maneira aleatória no meio condutor. Dizemos que o condutor é um *condutor polarizado*. Todavia, imagine a situação da figura (1.b) quando aplicamos um campo elétrico ao longo do eixo do fio (cilindro) condutor. Ao fazermos isso, ocorre

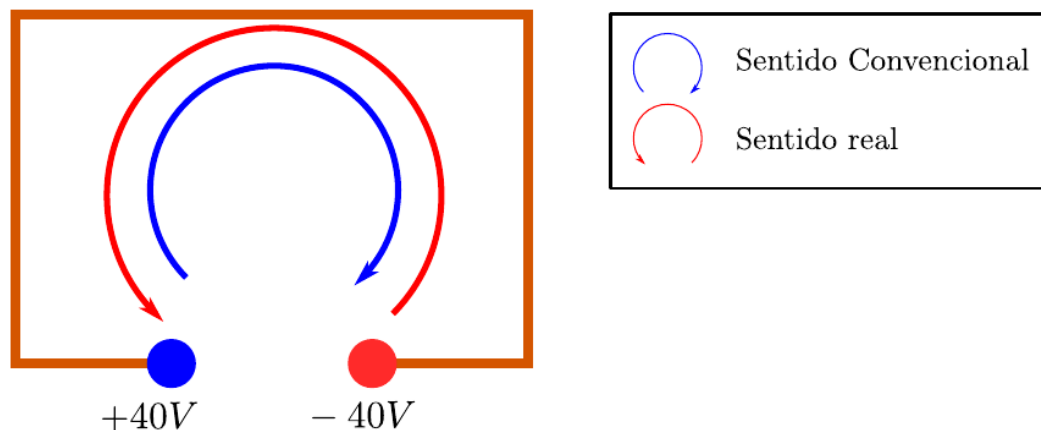
um fluxo de elétrons no sentido contrário ao do campo. Nesse caso, dizemos que o condutor está polarizado. Tal campo pode ser gerado de diferentes maneiras; por exemplo, podemos colocar cada ponto do fio sob um potencial elétrico diferente. Isso então, faria os elétrons se moverem para a configuração de menor energia potencial.

Essa “movimentação dos elétrons”, ou seja, o fluxo de elétrons, está associada ao que chamamos de corrente elétrica. Nós vamos formalizar essa definição a seguir, mas de agora em diante lembremos que: **correntes elétricas são caracterizadas por cargas elétricas em movimento.**

### 3. O sentido da corrente elétrica

Muitas vezes na ciência as coisas não são exatamente como pensamos e temos que redefinir conceitos que antes eram válidos, e esses agora adquirem um significado mais abrangente. Um dos exemplos mais surpreendentes e grandiosos é devido a Einstein, onde ele entendeu que o tempo não era algo imutável (como Newton pensava que era). Para sistemas que se movem a velocidades muito altas, próximas à velocidade da luz, o sistema é contraído e o tempo passa mais devagar. Ou seja, uma total redefinição do que é o tempo e como este funciona.

Com relação à movimentação de cargas, os cientistas da época achavam que a dinâmica era dada pelas cargas positivas. Todavia, hoje sabemos que isso não é verdade. Quando consideramos um fio de cobre, por exemplo, os núcleos dos átomos de cobre estão estáticos e toda a dinâmica de cargas é dada pelos elétrons (que convencionamos ter carga negativa). Todavia, toda a literatura foi construída em cima do fato de que o fluxo de cargas dá-se da região de potencial maior para a região de potencial menor (que seria o movimento realizado por cargas positivas). Vamos analisar a figura abaixo para entendermos melhor como isso funciona.



*Fig. (2): Circuito ilustrando o sentido real e convencional da corrente elétrica.*

Na Fig. (2) ilustramos um fio de cobre que foi dobrado na forma retangular. Uma das extremidades do fio está num potencial de  $40V$ , enquanto que a outra está num potencial de  $-40V$ , gerando assim

uma diferença de potencial de  $80V$ . Convencionou-se que a corrente teria o sentido mostrado pela seta em azul na Fig. (2) (do ponto de potencial elétrico maior, para o ponto de potencial elétrico menor). Todavia, como são os elétrons que se movimentam, o sentido no qual a carga se move é o oposto desse (representado pela seta vermelha). Note que do ponto de vista de cálculo, a única coisa que muda é o sentido, devido ao fato de os elétrons e prótons possuírem cargas de mesmo módulo.

Além disso, note também que a dinâmica de cargas ocorre para minimizar a energia potencial elétrica. Se considerarmos cargas positivas, a energia potencial elétrica é menor na extremidade do fio que tem potencial de  $-40V$ . Enquanto que se considerarmos cargas negativas, a energia potencial elétrica é menor na extremidade  $40V$ . Lembre-se que a diferença de energia potencial elétrica entre dois pontos  $A$  e  $B$  para uma carga puntiforme de valor  $q$  é dada por  $E_{PE} = qU_{AB}$ , onde  $U_{AB}$  é a diferença de potencial elétrica entre esses pontos.

#### 4. A intensidade da corrente elétrica

Como nós já motivamos extensivamente, a corrente elétrica está associada ao fato de termos cargas em movimento. *Mas qual a definição precisa?* A **corrente elétrica** é definida como sendo o **fluxo de carga por unidade de tempo** que atravessa uma superfície. Vamos considerar a ilustração a seguir:

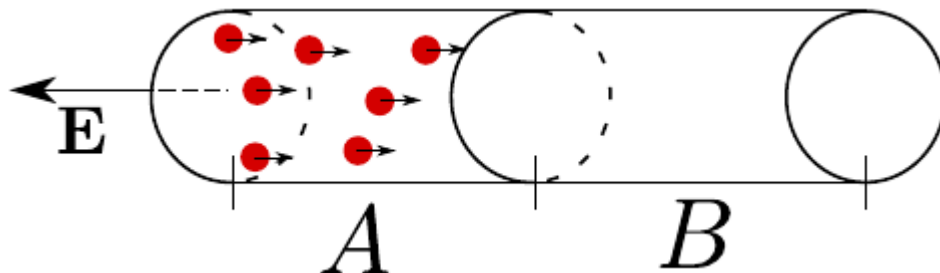


Fig. (3): Fio de cobre conduzindo uma corrente elétrica.

Similar ao exemplo anterior, na Fig. (3) consideramos um fio condutor, de cobre por exemplo, no qual é aplicado um campo elétrico ao longo do fio com sentido da direita para a esquerda. Como nós já sabemos, os elétrons vão se mover no sentido contrário, da esquerda para a direita. Na porção  $A$  do fio, existem (pictoricamente) sete elétrons, que devido à ação do campo agora se movem para a direita (porção  $B$ ). Esses elétrons levam um tempo  $\Delta t$  para ir da porção  $A$  para porção  $B$ . A intensidade da corrente ( $i$ ) é definida como a quantidade de carga que atravessa a superfície entre  $A$  e  $B$  ( $\Delta Q$ ) por unidade de tempo ( $\Delta t$ ). Isto é

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

A unidade da intensidade de corrente é Coulomb por segundo, que recebe um nome especial, *ampere*, em homenagem ao grande físico francês André-Maria Ampère. O ampere é representado pela letra *A*. Assim  $A = C/s$ .

### 5. Análise gráfica

Nós vimos, acima, que se soubermos a taxa de variação de carga por unidade de tempo  $\Delta Q/\Delta t$ , nós obtemos a intensidade da corrente. Todavia, podemos estar interessados na quantidade de carga  $\Delta Q$ . Por exemplo, imagine que temos uma corrente de intensidade  $i = 3A$  e queremos saber a quantidade de carga que passa num intervalo de tempo de  $t = 5s$ .

Logicamente, nós sabemos que a quantidade de carga  $\Delta Q = 15C$ , basta fazermos a multiplicação. Todavia, se fizermos um gráfico de  $i \times t$ , nós temos:

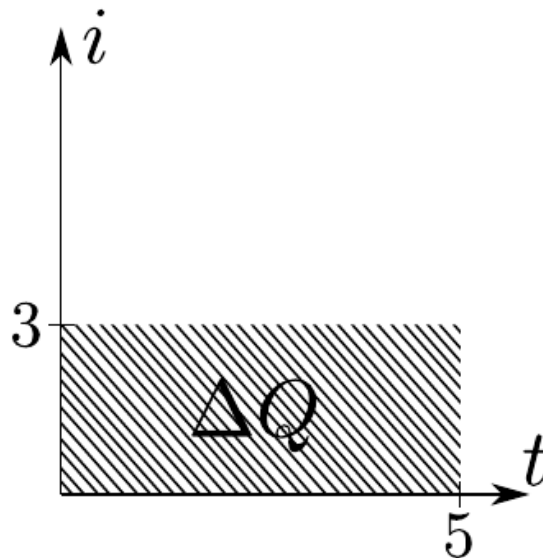


Fig. (4): Gráfico de  $i \times t$ .

Note que neste problema a intensidade da corrente e o tempo definem a área do retângulo acima. Assim, concluímos que a quantidade de carga  $\Delta Q$  corresponde à área sob a curva no gráfico  $i \times t$ . Apesar de termos usado um exemplo simples (de uma corrente constante), isso pode ser generalizado para qualquer perfil de corrente (a corrente poderia, por exemplo, ser descrita por um seno ou cosseno (que é o que chamamos de corrente alternada e tem consequências importantíssimas para a tecnologia)).