

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UFAM/IFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CURSO DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

O FUNCIONAMENTO BÁSICO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA, BASEADO NA
ABORDAGEM CTS, COMO INTERVENÇÃO AO ENSINO DE FÍSICA NA EJA

Ulisses dos Santos Carneiro

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação Polo4 IFAM/UFAM no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Minos Martins Adão Neto

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

1. Energia: realidade abstrata

A energia está presente em todos os lugares do Universo: no sistema solar, nas residências, na indústria, no meio ambiente. Na natureza, os fenômenos ocorrem devido à existência de alguma fonte energética, pois não há fenômeno natural se não houver alguma energia associada, seja na forma de energia térmica, química, mecânica, entre outras.

Neste texto, nos limitaremos à análise do aspecto elétrico da energia. Tal escolha¹ se deu pelo constante contato com este tipo de energia em nosso cotidiano, e também por não nos darmos conta, de quão complexo é a viagem feita por ela, desde o momento de sua geração até o funcionamento do seu aparelho de TV, das lâmpadas, do aparelho micro-ondas, da geladeira e dos muitos outros aparelhos que dependem da energia elétrica para funcionarem.

2. A descoberta do fenômeno no contexto histórico

Agora, estamos diante da descoberta científica que proporcionou a invenção do mecanismo para geração de energia elétrica em grande escala, a partir de uma fonte natural. A descoberta do fenômeno da indução eletromagnética, além de causar um grande avanço no estudo do eletromagnetismo, pois, confirmava o que já se especulava na época² (início do século XIX), também representou um marco na história em função de sua influência direta para a sociedade que se modernizava com a expansão da indústria, devido o advento da Revolução Industrial (fim do século XVIII). A partir desta descoberta, as cidades puderam oferecer as pessoas, energia elétrica necessária para iluminar suas casas, operar máquinas na indústria, bem como, desenvolver eletrodomésticos também baseados no princípio da indução eletromagnética, enfim, foi um acontecimento para facilitar a vida de todos. Desta forma, descreveremos neste texto,

¹ A escolha também foi resultado de uma pesquisa realizada *in loco* com alunos de uma escola do município de Manaus, onde foi questionado qual tipo de energia era mais conhecida pelos alunos. (ver quadro 2.1, no Capítulo 2).

² Já se especulava obter campo elétrico a partir de campo magnético.

quais os princípios físicos por trás do funcionamento de um gerador de uma usina de energia, que se utiliza deste fenômeno. Então, cabe inicialmente, um questionamento inicial: qual é a primeira impressão que temos, quando pensamos, que energia está associada a uma queda d'água, ou a queda de outro corpo qualquer?

A conversa entre os dois personagens da Figura 1A retrata muito bem as consequências da gravidade ao fazer os corpos caírem. Bem como, retrata como a energia associada à altura (energia potencial gravitacional) da queda-d'água está relacionada ao funcionamento das turbinas de uma usina hidrelétrica.



Figura 1A – Energia Potencial Gravitacional - A altura da cachoeira está diretamente relacionada à sensação sentida pelo garoto ao permanecer em contato com a água. [19]

Leitura sugerida:

Para saber mais sobre energia potencial gravitacional acesse o site:
<http://www.infoescola.com/fisica/energia-potencial-gravitacional/>

Atividade 1: Questões Preliminares

- 01) Pesquise e dê exemplos de outros tipos de energia além dos que foram citados no texto.
- 02) Baseado em seus conhecimentos prévios, dê exemplos de onde há energia química, térmica, elétrica e mecânica.
- 03) Explique a causa do garoto da Figura 1A dizer a frase: “essa água tá me machucando!”.
- 04) Demonstre através de um desenho, como a água pode ser utilizada para mover algo.
- 05) Faça uma pesquisa sobre a “roda d’água” e descreva o seu funcionamento.

Você sabia?

Que é a natureza a fonte responsável pela energia elétrica em nossas casas.

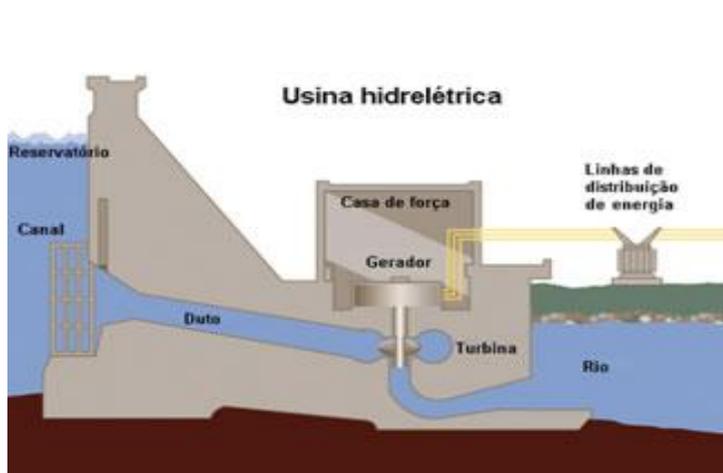
POR ISSO QUANDO VOCÊ DESPERDIÇA ENERGIA, NÃO PREJUDICA APENAS SEU BOLSO, MAS PRINCIPALMENTE A NATUREZA.

3. Usina hidrelétrica: a água como fonte de energia

Em uma usina hidrelétrica (Figura 2A), no momento em que a água desce pelos dutos de canalização da barragem e logo em seguida choca-se com as palhetas das turbinas (Figura 3A), fazendo-as entrar em movimento, surge em seus mecanismos o fenômeno chamado de indução eletromagnética. Para entendê-lo devemos antes definir algumas grandezas, bem como, outros fenômenos associados.



Figura 2A - Hidrelétrica de Itaipu, gera em torno de 12600 MW. [20]



A água ao descer pelo duto ganha velocidade na queda e faz as turbinas girarem, fazendo com que o gerador transforme em energia elétrica o movimento

Figura 3A – Casa de força: onde se localiza a turbina do gerador. [20]

3.1 Campo magnético e fluxo do campo magnético

Sabemos que, quando aproximamos um ímã de alguns metais ocorre atração entre ambos (Figura 4A). Este fenômeno é consequência do surgimento de uma força magnética originada pela existência do campo magnético do ímã.



Figura 4A - Ímã atraindo metais ferromagnéticos. [21]

Um pouco de História

Na Grécia antiga em uma região chamada de Magnésia, em que hoje se localiza a Turquia, foram encontradas rochas que tinham o 'poder' de atrair pequenos pedaços de ferro. Em função da região deram-lhe o nome de Magnetita (um tipo de minério de ferro).

O vetor indução magnética ou campo magnético \mathbf{B} , medido em Tesla³ (T), é a perturbação de uma região do espaço que se forma em torno de um ímã (Figura 5A-a) ou de um fio condutor percorrido por corrente elétrica (Figura 5A-b).

Geometricamente, linhas ordenadas imaginárias, chamadas linhas de campo, representam como o campo se distribui no espaço, caracterizando como se dá a interação com outros corpos, porém, a geometria das linhas de campo difere entre ímãs e condutores percorrido por corrente (Figuras 5A-a, 5A-b). Assim, um metal ferromagnético⁴ tende a sofrer os efeitos do campo magnético de um ímã devido o surgimento de uma força de atração magnética. Mas, quando a interação é entre dois

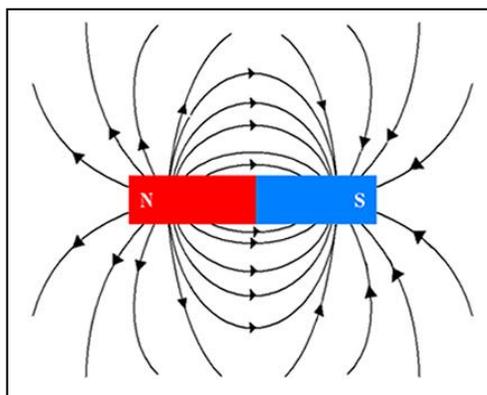


Figura 5A-a - Linhas de campo magnético 1: ímã [22].

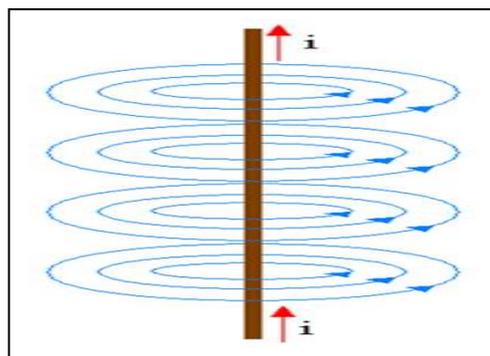


Figura 5A-b - Linhas de campo magnético 2: fio percorrido por corrente elétrica [23].

³ Em homenagem ao inventor Austríaco Nikola Tesla (1856-1943)

⁴ Metais Ferromagnéticos são aqueles que em função de suas características atômicas respondem intensamente a campos magnéticos externos, exemplos: ferro, níquel, cobalto.

ímãs a força magnética pode ser de atração ou repulsão.

Os ímãs são constituídos de dois pólos, norte e sul. Por uma necessidade de uniformidade, convencionou-se que as linhas de campo saem do pólo norte e entram no pólo sul, percorrendo o interior do ímã (Figura 5A-a). Pólos diferentes se atraem e pólos iguais se repelem (Figura 6A). Para o caso do fio condutor percorrido por corrente elétrica, o campo magnético gerado é circular ao redor do fio, num plano perpendicular⁵ a direção da corrente (Figura 5A-b).

É importante também sabermos o conceito de fluxo do campo magnético ϕ . Este tem relação com a quantidade de linhas de campo que passam por uma determinada área. Quanto mais linhas de campo atravessam determinada área, maior é o fluxo. Isto nos permite afirmar que as regiões próximas dos pólos dos ímãs são as que possuem maior fluxo do campo magnético. A unidade de fluxo magnético no Sistema Internacional de Unidades (SI)⁶ é o weber⁷ (Wb).

Atividades 2: Experimental

Experimento 1:

-Objetivo: “perceber” a existência das linhas de campo magnético dos ímãs

-Materiais necessários:

- Ímãs (tamanhos e formatos variados)
- Limalha de ferro (sugestão: pode-se substituir por palha de aço)
- 1 folha de cartolina

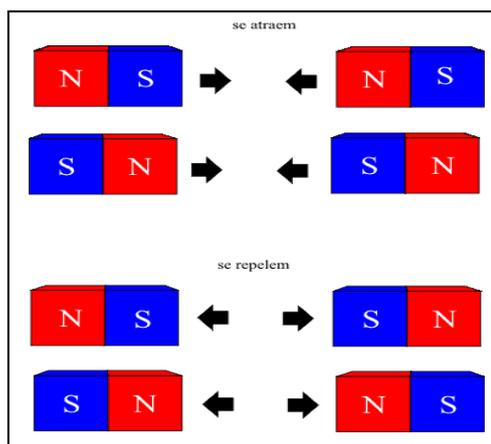


Figura 6A - Atração e repulsão entre ímãs: os ímãs quando interagem entre si podem sofrer força magnética de atração ou de repulsão. [24]

Leitura recomendada:
Para saber mais sobre ímãs e
magnetos acesse o site:

<http://www.sofisica.com.br/conteudo/s/Eletromagnetismo/CampoMagnetico/imasemagnetos.php> - Acesso em: [Jan/2016](#).

⁵ Perpendicular é quando formam um ângulo de 90° entre si.

⁶ O SI é o sistema de unidades utilizado na maioria dos países, inclusive o nosso. De forma que todas as unidades utilizadas nesta apostila estarão neste sistema.

⁷ Em homenagem ao físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891).

-Montagem e procedimento experimental:

- Espalhe de maneira uniforme os pedaços da palha de aço sobre a cartolina
- Aproxime lentamente o ímã pelo outro lado da cartolina e observe o que ocorre
- Repita o procedimento com os ímãs de outros formatos, bem como, com dois ímãs

ao mesmo tempo.

Experimento 2:

-Objetivo: ratificar que nem todos os metais sofrem influência de campos magnéticos externos

-Materiais necessários:

- Ímã
- Pedaços de metais diferentes, exemplos: cobre, aço, prata, alumínio.

-Montagem e procedimento experimental:

- Aproxime o ímã dos diferentes pedaços de metais

Experimento 3:

-Objetivo: observar as forças magnéticas de atração e repulsão entre ímãs

-Materiais necessários:

- Dois ímãs de mesmo formato

-Montagem e procedimento experimental:

- Aproxime os dois ímãs por diferentes direções e sentidos

Responda as questões referentes aos experimentos:

06) Como se comportaram os pedaços da palha de aço no experimento? Foi possível “perceber” a existência das linhas de campo magnético dos ímãs?

07) Determine, para cada ímã, a direção do eixo central por onde passam os polos dos ímãs.

08) Qual conclusão se obtém a respeito do que foi observado na experiência 2?

09) Descreva o que foi observado no experimento 3. Foi possível observar as forças de atração e repulsão magnética?

10) É possível obter interação magnética a qualquer distância entre os ímãs? Explique.

Você sabia?

Que ao quebrar um ímã ao meio não se separam os pólos. Na verdade os ímãs divididos também possuem os polos norte e sul: inseparabilidade dos pólos magnéticos.

NÃO EXISTEM MONOPÓLOS MAGNÉTICOS.

3.2 Carga elétrica e corrente elétrica

A matéria, em sua essência, é constituída por átomos que por sua vez são constituídos por prótons, nêutrons e elétrons (Figura 7A) além de outras partículas recém-descobertas. Na natureza, os átomos estão sempre tendendo ao equilíbrio elétrico, o que se configura quando os números de prótons e elétrons são iguais. Quando este número é diferente, o átomo deixa de ser neutro e passa a ser uma estrutura carregada eletricamente.

Quando o número de prótons dos átomos que constituem um corpo supera o número de elétrons, o corpo fica eletrizado positivamente (carga elétrica positiva) por outro lado, se forem elétrons em maior quantidade, o corpo fica eletrizado negativamente (carga elétrica negativa)⁸. O elétron é uma partícula que possui carga elétrica negativa, a chamada carga elementar 'e', de valor extremamente pequeno, aproximadamente 'e' = $-1,6 \times 10^{-19}$ C, que fica orbitando numa região conhecida como eletrosfera em torno do núcleo que é composto pelos prótons e nêutrons. O próton possui a mesma carga do elétron, porém com sinal positivo 'e' = $+1,6 \times 10^{-19}$ C.

A carga elétrica é uma grandeza que faz surgir no espaço ao seu redor, um campo elétrico, da mesma forma como um imã faz surgir no espaço um campo magnético, com a diferença de quê o campo elétrico atua sobre cargas elétricas, fazendo aparecer nelas uma força de origem elétrica. De forma similar como acontece com a interação entre pólos de imãs, cargas elétricas com sinais iguais se repelem e as com sinais contrários se atraem (Figura 8A).

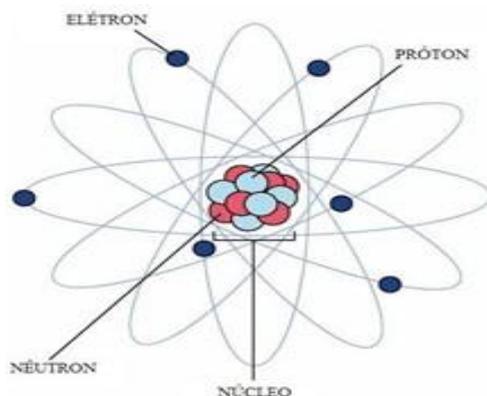


Figura 7A – Modelo atômico de Rutherford-Bohr: o átomo deixa de ser uma estrutura maciça. [25]

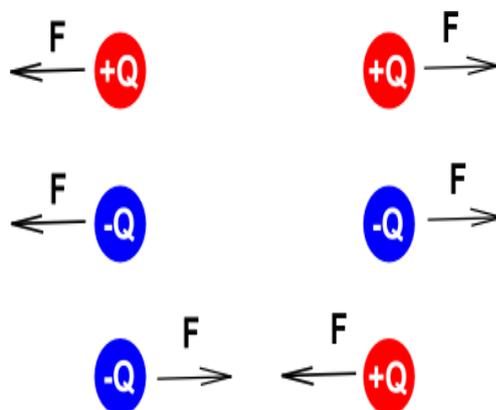


Figura 8A - Força elétrica de atração ou repulsão: quando as cargas têm sinais diferentes, a força é de atração, quando são iguais, a força é de repulsão. [26]

⁸ É possível eletrizar um corpo, inicialmente neutro, através do atrito com outro de diferente material.

Vale ressaltar que o elétron é que possui propriedades que o permitem escapar da estrutura eletrônica do átomo, ou seja, é ele o responsável por desequilibrá-lo, de maneira que um corpo só pode estar eletrizado em função da falta ou excesso de elétrons, pois o próton está fortemente ligado ao núcleo por forças de natureza nuclear (além do fato de ser mil vezes mais massivo⁹ que o elétron).

Difícilmente os corpos eletrizados são constituídos de um número “pequeno” de elétrons em falta ou excesso. Por isso, devido a grande quantidade destas partículas elementares temos então que a eletrização seja tal que o valor numérico é um múltiplo inteiro da carga elementar. Ou seja, para definir quantidade de carga elétrica ‘Q’ de um corpo eletrizado, devemos multiplicar o número de elétrons ‘n’, em falta ou excesso, pelo valor da carga elementar ‘e’. A carga elétrica é medida em Coulomb¹⁰ (C).

$$Q = \pm ne \quad (1A)$$

Os elétrons dos metais, apesar de serem fisicamente iguais aos elétrons de outros materiais, possuem uma particularidade, por isso são chamados de elétrons “livres¹¹”, estando em movimento desordenado por toda superfície do metal, o que lhes caracterizam como bons condutores de eletricidade (Figura 9A-a).

A partir do momento que estes elétrons ficam sujeitos a uma diferença de potencial (ver secção 3.3), tendem a se movimentar somente em um sentido, caracterizando um movimento ordenado (Figura 9A-b). Este movimento ordenado de elétrons é a chamada corrente elétrica i .

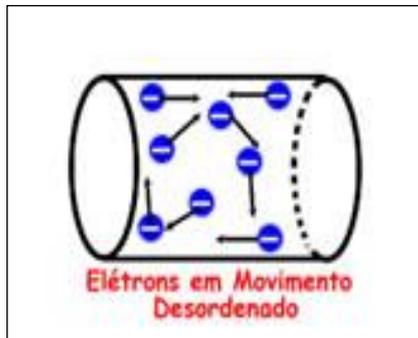


Figura 9A-a – Elétrons desordenados: os elétrons característicos dos metais são chamados de elétrons “livres” por estarem fracamente ligados ao núcleo atômico. O movimento dos elétrons é desordenado, pois não há sentido privilegiado neste movimento. [27]

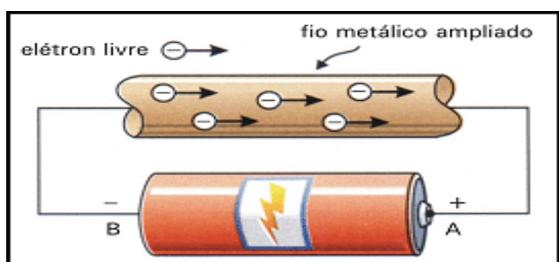


Figura 9A-b - Elétrons ordenados: ao serem submetidos a uma diferença de potencial, os elétrons “livres” passam a se movimentar de forma ordenada. [28]

⁹ Massivo é relativo à massa.

¹⁰ Em homenagem ao físico francês Charles Augustin Coulomb.

¹¹ Elétrons livres são elétrons característicos dos metais que diferentemente dos elétrons das outras substâncias estão fracamente ligados aos seus núcleos atômicos, o que os permite se movimentarem mais intensamente.

Basicamente a corrente elétrica é a razão entre o número de elétrons que percorrem certa região do condutor e o intervalo de tempo gasto referente a este movimento de cargas. A unidade de medida no S.I.¹² é o Ampère¹³ (A).

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2A)$$

Atividades 3: Experimental

Experimento 4:

-Objetivo: observar a eletrização dos corpos através do atrito

-Materiais necessários:

- Balões de festa
- Papel picado
- Limalha de ferro (substituir por palha de aço)
- Tecidos variados (ex.: jeans, algodão)
- Cabelo
- Pele humana

-Montagem e procedimento experimental:

- Encha o balão (não precisa encher totalmente)
- Esfregue o balão no cabelo.
- Em seguida aproxime-o dos pequenos pedaços de papel e de aço.
- Repita o procedimento substituindo o cabelo pelos outros corpos.

Leituras
recomendadas:
Para saber mais
sobre a estrutura do
átomo acesse o site:
<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrostatica/cargas.php>

Para saber mais
sobre força elétrica
acesse o site:
<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/10214/forcas.html>

Responda as questões referentes aos experimentos:

11) Foi possível observar eletrização, da mesma forma e intensidade, para corpos diferentes: balão, tecidos e pele? Ao que você atribui tal diferença?

12) O papel picado e a palha de aço foram os corpos utilizados para provar a eletrização dos corpos atritados. Ambos sofreram atração, ou somente um deles? O que você pode dissertar a respeito.

13) A palha de aço também é atraída por ímãs, então o motivo pelo qual ela é atraída pelos corpos atritados na experiência é o mesmo que justifica sua atração por ímãs? Explique sua resposta.

¹² S.I. é a sigla de Sistema Internacional de Unidades, que é o sistema de unidades adotado em nosso país.

¹³ Em homenagem ao físico e matemático francês [André-Marie Ampère](#) (1775-1836).

14) O atrito provoca aumento de temperatura, conseqüentemente, a temperatura possui relação com a eletricidade? Explique sua resposta.

15) Você já havia percebido tal fenômeno em seu cotidiano? Relate-os.

Você sabia?

Que os caminhões-tanques acumulam carga elétrica ao transportarem combustível da distribuidora até o posto de gasolina, devido o atrito com o ar*.

Por isso a importância de respeitarmos o que está escrito nos protocolos de segurança do trabalho.*

Evite acidentes! Cumpra as normas de segurança!

Neste caso, o procedimento de segurança é escoar o acúmulo de carga elétrica para a Terra, o chamado aterramento.

3.3 Campo elétrico e diferença de potencial

Há pouco citamos a grandeza tensão elétrica ‘V’ também conhecida como diferença de potencial ‘d.d.p’. Antes de definirmos diferença de potencial, é necessário sabermos o que é um campo elétrico.

O campo elétrico E possui a mesma ideia dos campos, gravitacional e magnético. A diferença está na fonte que gera o campo. Para o campo elétrico é a carga elétrica a responsável pelo surgimento do campo. O campo elétrico é uma perturbação de uma região do espaço, em função da presença de uma carga elétrica (Figura 10A), onde qualquer outro corpo, de menor carga (carga de prova) sofre a ação deste campo através de uma força de natureza elétrica F . Esta força pode ser de atração ou repulsão dependendo dos sinais das cargas.

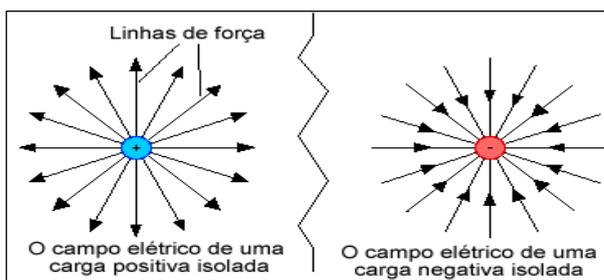


Figura 10A - Campo elétrico – Representação das linhas de força do campo elétrico de uma carga positiva e outra negativa. [29]

Da mesma forma que, um corpo de massa ‘m’ possui energia (energia potencial gravitacional) em função da distância relativa à superfície terrestre, uma carga elétrica de

prova¹⁴ ‘q’ emergida em um campo elétrico **E**, gerado por uma carga elétrica maior ‘Q’ possui energia (energia potencial elétrica) devido a distância relativa a carga ‘Q’ que gera o campo. A carga, ao sofrer a ação da força elétrica **F** resultante da interação com o campo gerado pela carga ‘Q’, tende a movimentar-se na direção desta força que, como já dissemos, pode ser de atração ou repulsão.

Esta mudança de posição provoca uma variação no status de energia da carga de prova. Para que esta variação ocorra é necessário que haja realização de trabalho ‘W’ (gasto energético) por parte da carga de prova. Em outras palavras, a carga de prova recebe energia do campo elétrico para deslocar-se de um ponto a outro. A definição de campo elétrico, em termos matemáticos, é dada por:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad (3A)$$

A unidade de medida do campo elétrico é Newton¹⁵ por Coulomb (N/C)

Relacionada à diferença de energia dos pontos em questão, está a grandeza diferença de potencial (ddp), chamada também de tensão elétrica ‘V’ ou simplesmente voltagem elétrica tal qual é mais conhecida no cotidiano. A unidade de medida da diferença de potencial é o Volt¹⁶ (V). Assim diz, Alvarenga e Máximo:

Quando se diz que a Voltagem V_{ab} entre dois pontos é muito grande (alta voltagem), isto significa que o campo elétrico realiza um grande trabalho sobre uma dada carga que se desloca entre estes pontos (a carga recebe, do campo, uma grande quantidade de energia em seu deslocamento). [30]

De forma que este trabalho¹⁷ responsável em deslocar a carga de prova é diretamente proporcional a esta mudança em seu status de energia. Considerando que a mudança em questão se dá de um ponto A para um ponto B, a diferença de potencial entre estes pontos é proporcional ao trabalho realizado pela força, para deslocar a carga

¹⁴ Carga de prova é uma carga elétrica de intensidade desprezível em relação à carga que gera o campo.

¹⁵ Isaac Newton (1642-1727) físico e matemático inglês.

¹⁶ Em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827).

¹⁷ Trabalho também é definido como a diferença da energia potencial eletrostática entre os dois pontos em questão.

de prova q do ponto A ao ponto B e inversamente proporcional ao valor da carga q . Em sua forma matemática:

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (4A)$$

Atividade 4: Pesquisa

Faça uma pesquisa a respeito dos campos elétrico, magnético e gravitacional e discuta com seus colegas as possíveis semelhanças e diferenças entre eles. A seguir, responda em seu caderno:

16) Descreva as semelhanças e diferenças entre os campos gravitacional, magnético e elétrico.

17) Por meio de sua pesquisa, tente conceituar campo.

18) Como é possível provar a existência de um campo no espaço?

19) Em quais das tensões utilizadas em nossas casas, 127v e 220v, requer a existência de um campo elétrico mais intenso? Justifique.

20) Por que para obtermos corrente elétrica em um fio condutor devemos submeter o mesmo a uma diferença de potencial?

3.4 Corrente elétrica induzida, força eletromotriz induzida e indução eletromagnética.

Até a descoberta do fenômeno da indução sabia-se que um fio percorrido por uma corrente elétrica originava um campo magnético ao redor (Figura 11A). Ou seja, era possível gerar campo magnético a partir de um campo elétrico. O efeito contrário não se conhecia. Na verdade fomentava-se esta possibilidade, porém não se sabia como. Ao surgir o fenômeno, observado por Faraday¹⁸ (1791-1867), a escolha do nome “indução” se deu em função de realmente aparecer uma corrente elétrica induzida na espira a partir do movimento do ímã.

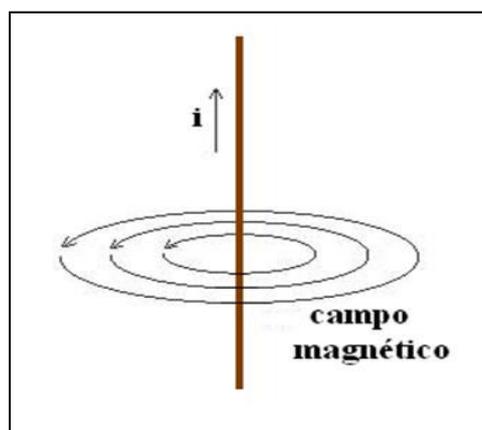


Figura 11A – Linhas de campo magnético gerado por um fio condutor percorrido por corrente elétrica [31].

¹⁸ Físico e químico inglês de notável habilidade experimental.

Ao movimentarmos o ímã, com uma velocidade v , em relação à espira¹⁹ (Figura 12A), há o aparecimento de uma corrente elétrica induzida i , na espira. Isto só ocorre no momento em que aproximamos ou afastamos o ímã da espira, ou seja, só há movimento ordenado dos elétrons da espira quando há movimento relativo do ímã em relação à espira.

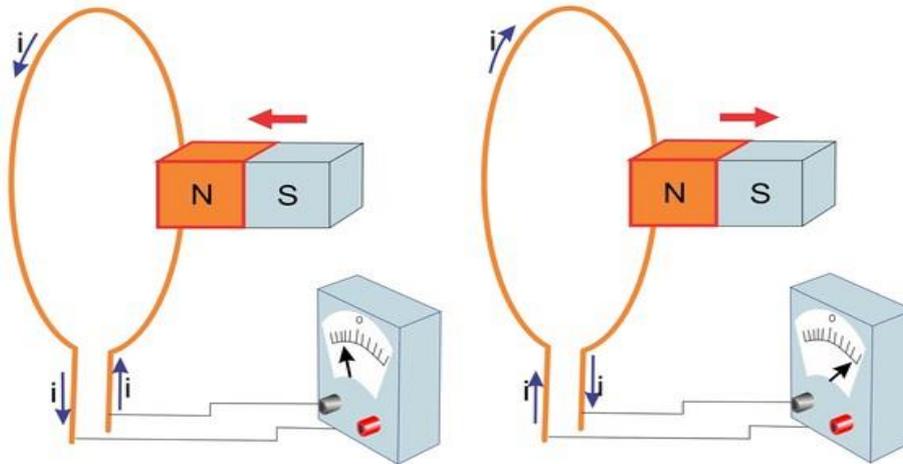


Figura 12A – Experimento de Faraday: o movimento do ímã faz aparecer, na espira circular, uma corrente elétrica induzida. Notem que com a mudança de sentido do movimento do ímã, o sentido da corrente também muda. [32]

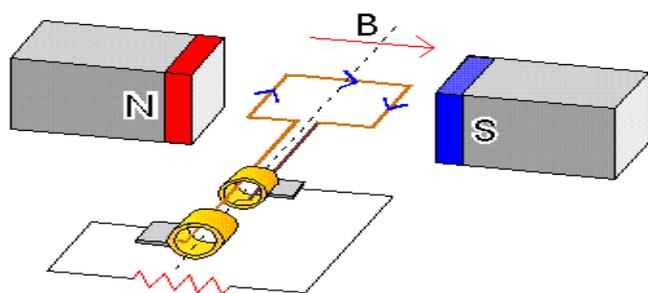
Enquanto o ímã está em repouso, mesmo que o mais próximo possível da espira, não há aparecimento de corrente elétrica. Isto acontece porque não é a intensidade do campo que origina o fenômeno, mas a variação do fluxo do campo magnético, o que só é percebido pelos elétrons quando aproximamos ou afastamos o ímã, ou seja, quando existe movimento.

Por trás do movimento dos portadores de carga que configuram a corrente elétrica induzida, deve haver uma força eletromotriz induzida (f.e.m. induzida). Esta força eletromotriz ‘ ϵ ’, medida em volt (V), é a energia proveniente do movimento do ímã que foi transferida para os elétrons. A intensidade da força eletromotriz induzida é maior, quanto menor for o tempo de aproximação ou afastamento, e quanto maior for a variação do fluxo do campo magnético. Em outras palavras, a força eletromotriz é proporcional à variação do fluxo do campo magnético e inversamente proporcional ao intervalo de tempo para ocorrer tal variação:

¹⁹ Espira é o enrolamento de um fio condutor, seja ele circular, retangular ou de outro formato.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (5A)$$

A Eq. (5A) se chama lei de Faraday. O fato de o ímã se movimentar em relação a espira não é uma regra, mesmo porque é a variação do fluxo magnético que origina a f.e.m. induzida. Portanto, como o movimento é relativo, não interessa quem se movimenta: o ímã ou a espira, o importante é que ocorra a variação do fluxo do campo magnético. Nos dínamos é um conjunto de espiras (bobinas²⁰) gigantesecas que giram dentro de um campo magnético intenso gerado por ímãs de grande porte.



Leitura recomendada:
Para saber mais sobre
dínamos acesse o site:

<http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/inducaod/dinamos/>

Figura 13A – Turbina da usina: este é um exemplo semelhante ao que acontece no gerador de uma usina hidrelétrica, a parte que se movimenta é o rotor (espira) e a parte fixa é o estator (ímãs). [33]

Este movimento giratório da espira varia o fluxo magnético de forma oscilante, o que ocasiona correntes induzidas alternadas (Figura 13A), ou seja, ora a corrente está num sentido, ora está em sentido contrário. Por isso os geradores das usinas são chamados de geradores de corrente alternada, de maneira que a corrente elétrica que utilizamos em nossas casas é alternada.

Não percebemos esta alteração periódica, porque a intensidade da frequência de oscilação é alta para nossos sentidos. No Brasil a frequência utilizada nas cidades gira em torno de 60 Hz²¹ (Hertz)²². A frequência é o número de vezes que o fenômeno se repete. Em outras palavras, em nossas residências a corrente muda de sentido 120 vezes por segundo. [34]

²⁰ Bobina é um conjunto de espiras.

²¹ A unidade Hz (hertz) significa ciclos (voltas, oscilações) por segundo.

²² Em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

Atividade 5: Computacional - Acompanhe atentamente a aula de simulação computacional ministrada pelo professor referida ao site abaixo e responda as questões a seguir: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator

- 21) Quais fatores (variáveis) influenciam na intensidade do brilho da lâmpada, no simulador do gerador?
- 22) As pequenas bússolas ao fundo mostram o que exatamente? Comente.
- 23) Quando o ímã está girando em função da ação da água ele gira no sentido anti-horário, enquanto que o ímã da bússola gira no sentido contrário. O que explicaria tal comportamento?
- 24) Os elétrons presentes nas espiras do condutor, revezam o sentido do movimento em função da rotação do ímã. Comente a respeito.
- 25) Com aumento do fluxo de água da torneira há também aumento na frequência de rotação do ímã. Nas usinas hidrelétricas acontece da mesma forma, sendo assim, se houver um período muito longo de seca, o que pode acontecer com a produção de energia elétrica? Comente a respeito.

3.5 Efeito joule, resistência elétrica, potência elétrica e dispositivo transformador

Se a energia elétrica, produzida nos dínamos, fosse distribuída na mesma ordem de intensidade de sua geração, certamente haveria bastante perda de energia em função do fenômeno conhecido como efeito Joule²³.

Para entendermos do que se trata este efeito, voltemos um pouco à estrutura da matéria. Sabemos do nosso cotidiano, que os metais são bons condutores de eletricidade, mas a corrente elétrica como já vimos aqui, é um fluxo de partículas em um meio material, o que naturalmente contribui pra que haja oposição ao movimento dos elétrons em função da interação mútua entre eles²⁴, mesmo em um condutor. Além disso, entre os próprios metais existem diferenças nessa resistência, o que é justificado em função das características da rede cristalina²⁵ de cada um deles. Ou seja, por mais que o metal seja

²³ Em homenagem ao físico britânico James Prescott Joule (1818-1889).

²⁴ Interação massiva e eletromagnética.

²⁵ Rede cristalina está relacionada à constituição do material, em função das propriedades espaciais de distribuição destas partículas.

um condutor, ainda existe resistência²⁶ ao movimento dos elétrons livres, o que resulta na transformação de parte da energia dos elétrons em energia térmica aquecendo o condutor, o que leva o nome de efeito Joule. O calor produzido em função desse aquecimento acaba se dissipando no ar.

A resistência elétrica ao qual nos referimos acima é a oposição ao fluxo de partículas sofrido pelos elétrons livres dos condutores, quando sujeitos a uma diferença de potencial. A resistência elétrica é inerente a todos os condutores, variando sua intensidade em função da natureza microscópica do material (resistividade²⁷) e também de sua geometria. A equação que define a resistência elétrica é dada pela razão entre a tensão elétrica V aplicada e a corrente elétrica i que flui pelo condutor. Em termos matemáticos:

$$R = \frac{V}{i} \quad (6A)$$

Além da natureza microscópica, o comprimento do fio e a área de sua secção reta (espessura do fio), também influenciam em sua intensidade. O comprimento é diretamente proporcional e a área de sua secção reta é inversamente proporcional. A unidade de resistência no S.I. é o Ohm (Ω).

Voltando a questão do transporte de energia, vejamos a seguinte questão: o que fazer para diminuirmos as perdas por efeito Joule? Poderíamos minimizá-las aumentando a área da secção reta dos fios, fator inversamente proporcional à resistência elétrica. Mas para isso deveríamos ter fios absurdamente grossos e existe um limite para isso, pois além de terem custo elevado tornariam a rede de transmissão extremamente pesada [31]. A alternativa então é baixar a corrente, mas como a potência do gerador não pode ser alterada, e a potência elétrica (Eq.7A) é o produto da corrente pela tensão, o decréscimo da corrente deve ser proporcional ao aumento da tensão elétrica, daí a justificativa dos chamados “fios de alta tensão”, utilizados como meio de transporte da energia elétrica. A unidade de potência é Watts (W).

$$P = Vi$$

Aí cabe a pergunta: como elevar a tensão elétrica nos cabos de transmissão? Através de um dispositivo elétrico denominado, transformador. Vejamos como ele

²⁶ Isto não é uma generalização, uma vez, que hoje já é conhecido o fenômeno da supercondutividade (ver seção suplementar ao final da apostila).

²⁷ Resistividade é a propriedade característica de cada material que mensura quanto o mesmo é resistivo à passagem de corrente elétrica.

funciona: o transformador é composto de duas bobinas envoltas em um núcleo de ferro (Figura 14A, página seguinte), ligadas ao circuito. Suponha que a bobina P, usualmente, chamada de primário é ligada em uma voltagem alternada V_p .

Surge no núcleo de ferro da bobina P um campo magnético variável que é transmitido a toda sua extensão até alcançar a bobina S, chamada de secundário. Desta maneira uma f.e.m. é induzida nas espiras do secundário, fazendo aparecer uma voltagem V_s em seus extremos. Se tivermos um número definido de espiras no primário N_p e no secundário N_s , podemos aumentar ou baixar a tensão elétrica de acordo com nossa necessidade, bastando para isso variar o número de espiras. Considerando que na usina hidrelétrica é o primário que recebe a voltagem induzida ' V_p ', o secundário deve ter o número de espiras maior para poder elevar a voltagem ' V_s '. A equação do gerador nos ajuda a entender essas operações:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (8A)$$

Notem que se o gerador fosse de corrente contínua, não haveria condições de resolver este problema, pois o fluxo do campo magnético no secundário seria constante, isto é, um transformador não funciona com corrente contínua. Além disso, devemos nos lembrar de que, ao chegar às cidades a voltagem deve ser reduzida, mais uma vez com o auxílio do transformador, para que seja utilizada pela população. Por fim, apresentamos a seguir um esquema básico da distribuição de energia com os transformadores desempenhando suas funções na rede elétrica.

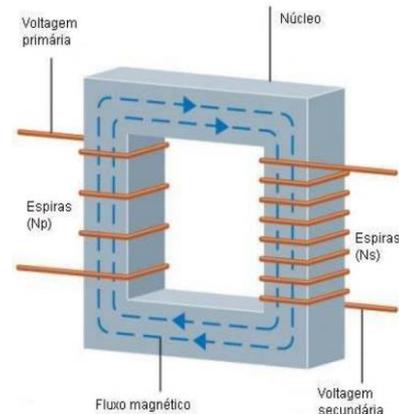


Figura 14A – Esquema de um transformador: um núcleo de ferro é envolto, por um lado, pelas espiras do primário e por outro pelas espiras do secundário. A corrente elétrica alternada ao fluir pelo primário induz, pela lei de Faraday, uma corrente alternada no secundário. [35]

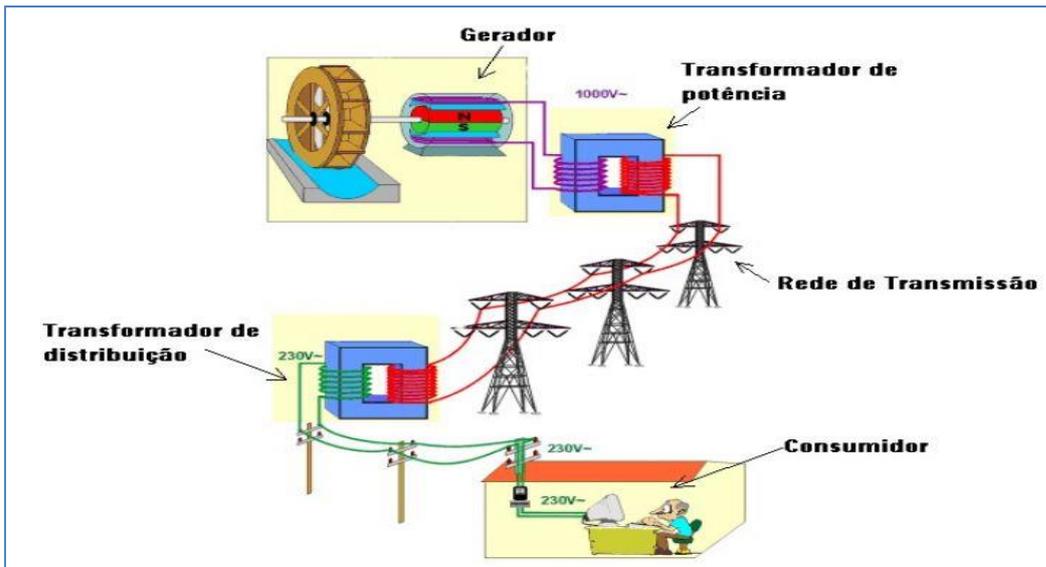


Figura 15A - Esquema simplificado da distribuição de energia elétrica. [36]

Atividade 6: Exercícios

Preencha a tabela 1 a seguir de acordo com seu julgamento a respeito das transformações de energia que ocorrem no cotidiano em aparelhos elétricos.

Tabela 1A: Transformações de energia em ambiente doméstico.

Aparelho	Movimento	Calor	Luz	Som
Ventilador				
Aspirador				
Maquina de lavar				
Televisor				
Ferro de passar				
Lâmpada				
Microondas				

Marque: X-para transformações úteis / O-para transformações não úteis

Responda as questões abaixo:

26) Existe uma das transformações citadas na tabela que sempre ocorre, independente de ser útil ou não. Qual é? E por que isto ocorre?

27) As lâmpadas incandescentes não estão mais sendo fabricadas e sua comercialização, aos poucos, está sendo abolida. Comente a respeito.

28) Quais fatores dificultam o transporte de energia elétrica, desde sua geração até sua utilização?

29) A capacidade de energia gerada pelas usinas de energia são mensuradas em Megawatts (MW), ou seja, utilizando a unidade de potência. Por que se utiliza a unidade de potência e não a unidade de energia para tal designação?

30) Os transformadores são utilizados para alterar a intensidade da diferença de potencial (ddp). Por que os transformadores não funcionariam se a corrente na rede elétrica fosse contínua?

Você sabia?

Que quando você liga vários eletrodomésticos em uma única tomada, utilizando adaptadores, pode está colocando em risco a rede elétrica de sua casa, e conseqüentemente a sua segurança e de sua família.

ISSO ACONTECE POR CONTA DO AUMENTO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA, O QUE PROVOCA AQUECIMENTO DO CIRCUITO POR EFEITO JOULE. POR ISSO O IDEAL É UTILIZAR UMA TOMADA PARA CADA ELETRODOMÉSTICO.

3.6 Supercondutividade

Sabemos que, ao passar corrente elétrica em um condutor, o mesmo apresenta resistência ao fluxo de cargas elétricas. E nos metais, estas cargas são os elétrons. Esta resistência é revelada pelo aquecimento do condutor, efeito Joule.

Até o início do século XX se acreditava que o fenômeno da resistência era inerente a todos os materiais independente de qualquer outro fator externo, como a temperatura por exemplo. Porém, em meados de 1911 o físico Kamerlingh Onnes²⁸ (1853-1926) descobriu o fenômeno da supercondutividade que é quando o condutor não apresenta mais resistência à passagem de corrente elétrica, ou seja, resistividade zero. Onnes chegou a tal descoberta realizando medidas de resistência elétrica no mercúrio, submetendo-o a baixas temperaturas, até alcançar a temperatura crítica²⁹ de aproximadamente 4K (-269°C).

A descoberta de Onnes foi o ponto inicial de pesquisas associadas ao fenômeno da supercondutividade. A partir de então, muitos outros físicos se dedicaram ao tema. Mais tarde, foi descoberto o efeito Meissner, que é também uma propriedade dos materiais supercondutores. Este efeito é a expulsão de campos magnéticos do interior do supercondutor, ou seja, submetendo o supercondutor a um campo magnético externo, as

²⁸ Físico neerlandês que se notabilizou por ser o primeiro a liquefazer o Hélio.

²⁹ Temperatura no qual o material condutor, vira supercondutor.

linhas de campo magnético passam a não atravessar mais o material, descaracterizando também uma propriedade que, até então, se acreditava ser inerente aos condutores e supercondutores, a magnetização.

Ocorre que, por mais que se saiba como obter a supercondutividade, não é possível, por exemplo, resolvermos o problema das perdas energéticas no transporte de energia elétrica, uma vez que a supercondutividade só é obtida submetendo o material a temperaturas extremamente baixas. Hoje, com o avanço das pesquisas na área, busca-se alcançar a supercondutividade nos materiais a temperaturas mais altas, que estejam mais próximas da nossa realidade, porém, ainda são incipientes.

No entanto, existem aplicações da supercondutividade, um exemplo disso é a levitação magnética (Figura 16A, página seguinte). O Maglev (em inglês: Magnetic Levitation Transport) é um veículo (trem) que se utiliza da levitação magnética sobre a ação de campos magnéticos e supercondutores. Suas vantagens são inúmeras, uma delas é o fato de não apresentar atrito³⁰, pois não há contato do veículo com os “trilhos” e também o fator velocidade, pois atingem velocidades altíssimas, na casa dos 500 Km/h.



Para saber mais sobre levitação magnética acesse os sites:

<http://fisica.ufpr.br/grad/supercondutividade.pdf>

<http://www.sbfisica.org.br/fisica/Vol1/Num1/artigo6.pdf>

Figura 16A – Levitação Magnética: imã levitando sobre material supercondutor. [37]

Anotações:

³⁰ Vale ressaltar que o ar também apresenta resistência (atrito).

