

## Condutores de Eletricidade



Figura 1: São Paulo (135831) de Tarsila do Amaral (1924).  
Fonte: AMARAL, 2003, p.IV.

### 1) *Objetivo Geral*

Conhecer a história da descoberta e uso da eletricidade e de seus condutores.

### 2) *Objetivo Específico*

Tendo como meta a preservação do meio ambiente, saber mais sobre a reciclagem dos fios elétricos.

### 3) *Público Alvo:* Ensino Médio

4) *Número de Aulas:* Serão cinco etapas, divididas em aulas a critério do professor.

### 5) *Áreas Contempladas*

 Física

○ Eletricidade

- Tales de Mileto
    - Willian Gilbert
  - Otto Von Guericke
  - Benjamin Franklin
  - Luigi Aloisio Galvani
  - Alessandro Volta
  - Hans Christian Örsted
  - Michael Faraday
  - James Clerk Maxwell
  - Georg Simon Ohm
    - Lei de Ohm
  - Zénobe Gramme
- Condutores elétricos e isolantes - semicondutores
- Stephen Gray

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

- Ewald Georg von Kleist
- Materiais usados
- Hidrelétrica
  - Itaipu
- Voltagem
  - Efeito Joule
  - Geradores e transformadores
  - Fio neutro e fios de fase
- ✚ Química
  - Eletroquímica

## 6) Metodologia Aplicada

O trabalho será realizado em cinco etapas.

### 1ª etapa

Conhecer a história da descoberta da eletricidade e alguns de seus usos. Para isso, veja esses materiais:

## A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE

*Foi descoberta por um filósofo grego chamado Tales de Mileto que, ao esfregar um âmbar a um pedaço de pele de carneiro, observou que pedaços de palhas e fragmentos de madeira começaram a ser atraídas pelo próprio âmbar.*

*Do âmbar (gr. *élektron*) surgiu o nome eletricidade.*

*No século XVII foram iniciados estudos sistemáticos sobre a eletrificação por atrito, graças a Otto von Guericke. Em 1672, Otto inventa uma máquina geradora de cargas elétricas onde uma esfera de enxofre girava constantemente atritando-se em terra seca. Meio século depois, Stephen Gray faz a primeira distinção entre condutores e isolantes elétricos.*

*Durante o século XVIII as máquinas elétricas evoluem até chegar a um disco rotativo de vidro que é atritado a um isolante adequado. Uma descoberta importante foi o condensador, descoberto independentemente por Ewald Georg von Kleist e por Petrus van Musschenbroek. O condensador consistia em uma máquina armazenadora de cargas elétricas. Eram dois corpos condutores separados por um isolante delgado.*

*Mas uma invenção importante, de uso prático, foi o pára-raios, feito por Benjamin Franklin. Ele disse que a eletrização de dois corpos atritados era a falta de um dos dois tipos de eletricidade em um dos corpos.*

*Esses dois tipos de eletricidade eram chamados de eletricidade resinosa e vítrea. Hoje se sabe que a eletrização se dá por falta ou excesso de elétrons em corpos.*

*No século XVIII foi feita a famosa experiência de Luigi Aloisio Galvani em que potenciais elétricos produziam contrações na perna de uma rã morta. A descoberta dos*

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*



*potenciais elétricos foi atribuída por Alessandro Volta que inventou a voltaica. Ela consistia em um serie de discos de cobre e zinco alterados, separados por pedaços de papelão embebidos por água salgada. Com essa invenção, obteve-se pela primeira vez uma fonte de corrente elétrica estável. Por isso, as investigações sobre a corrente elétrica aumentaram cada vez mais.*

*Têm início as experiências com a decomposição da água em um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio. Em 1802, Humphry Davy separa eletronicamente o sódio e o potássio.*

*Mesmo com a fama das pilhas de Volta, foram criadas pilhas mais eficientes. John Frederic Daniell inventou-as em 1836 na mesma época das pilhas de Georges Leclanché e a bateria recarregável de Raymond Louis Gaston Planté.*

*O físico Hans Christian Ørsted observa que um fio de corrente elétrica age sobre a agulha de uma bússola. Com isso, percebe-se que há uma ligação entre magnetismo e eletricidade (tem início o estudo do eletromagnetismo).*

*Em 1831, Michael Faraday descobre que a variação na intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito fechado induz uma corrente em uma bobina próxima. Uma corrente induzida também é observada ao se introduzir um ímã nessa bobina. Essa indução magnética teve uma imediata aplicação na geração de correntes elétricas. Uma bobina próxima a um ímã que gira é um exemplo de um gerador de corrente elétrica alternada.*

*Os geradores foram se aperfeiçoando até se tornarem as principais fontes de suprimento de eletricidade empregada principalmente na iluminação.*

*Em 1875 é instalado um gerador em Gare du Nord, Paris, para ligar as lâmpadas de arco da estação. Foram feitas máquinas a vapor para movimentar os geradores, e estimulando a invenção de turbinas a vapor e turbinas para utilização de energia hidrelétrica. A primeira hidrelétrica foi instalada em 1886 junto às cataratas do Niágara.*

*Para se distribuir a energia, foram criados inicialmente condutores de ferro, depois os de cobre e finalmente, em 1850, já se fabricavam os fios cobertos por uma camada isolante de guta-percha vulcanizada, ou uma camada de pano.*

*A Publicação do tratado sobre eletricidade e magnetismo, de James Clerk Maxwell, em 1873, representa um enorme avanço no estudo do eletromagnetismo. A luz passa a ser entendida como onda eletromagnética, uma onde que consiste de campos elétricos e magnéticos perpendiculares à direção de sua propagação.*

*Heinrich Hertz, em suas experiências realizadas a partir de 1885, estuda as propriedades das ondas eletromagnéticas geradas por uma bobina de indução; nessas experiências observa que se refletidas, refratadas e polarizadas, do mesmo modo que a luz. Com o trabalho de Hertz fica demonstrado que as ondas de rádio e as de luz são*

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*



*ambas as ondas eletromagnéticas, desse modo confirmando as teorias de Maxwell; as ondas de radio e as ondas luminosas diferem apenas na sua frequência.*

*Hertz não explorou as possibilidades práticas abertas por suas experiências. Mais de dez anos se passaram até que Guglielmo Marconi utilizou as ondas de rádio no seu telégrafo sem fio. A primeira mensagem de rádio é transmitida através do Atlântico em 1901. Todas essas experiências vieram abrir novos caminhos para a progressiva utilização dos fenômenos elétricos sem praticamente todas as atividades do homem.*

Fonte: [www.forp.usp.br](http://www.forp.usp.br)

### A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE

*A história da eletricidade teve início começando por Benjamin Franklin até os dias de hoje. Os Sistemas de Potência, como hoje são conhecidos, têm pouco mais de 100 anos. Por volta de 1876 não se sabia como transmitir a energia elétrica gerada.*

*De maneira resumida, os fatos marcantes da evolução dos sistemas de potência se concentram na época da realização da concorrência para a construção do complexo de Niagara Falls, o maior do mundo de então, que se iniciou em 1876. A evolução dos conceitos sobre os sistemas de potência foi marcante dentro de um período de 15 anos, praticamente definindo as características dos sistemas como hoje se apresentam.*

*Em 1880, Thomas Alva Edison apresenta sua lâmpada incandescente (em corrente contínua), a mais eficiente de então. Nessa época, na Europa, havia avanços na utilização de corrente alternada. Em 1882, Edison coloca em funcionamento um sistema de corrente contínua em Nova York e funda a empresa Edison Electric Company. Em 1885, George Westinghouse Jr. compra os direitos da patente de Goulard-Gibbs para construir transformadores de corrente alternada e encarrega William Stanley dessa tarefa. Em 1886, já há cerca de 60 centrais de corrente contínua (Edison) com cerca de 150.000 lâmpadas. Na mesma época, Stanley coloca em operação a primeira central em corrente alternada (Westinghouse) em Great Barrington, Massachusetts. Os sistemas de corrente alternada se multiplicaram rapidamente e, já em 1887, existiam cerca de 121 sistemas desse tipo em funcionamento, com cerca de 325.000 lâmpadas. Entre as novas empresas, se destacam a empresa do próprio Westinghouse que cresce contabilizando 125.000 lâmpadas em corrente alternada.*

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*



*Subestação de Energia Elétrica isolada*

*por tubulações de gás isolante (SF6) e vista do eixo*

*do rotor de uma das turbinas; Hidrelétrica de Itaipu - Foz do Iguaçu - PR - Brasil*

*A medição da energia elétrica consumida começa a ser um problema importante para os sistemas de corrente alternada. Para os sistemas de corrente contínua, existiam medidores do tipo eletroquímico. Assim, os sistemas em corrente alternada cobravam por "número de lâmpadas". A solução do problema se deu com Shallenberger, então engenheiro chefe de Westinghouse, que coloca em funcionamento um medidor de energia em corrente alternada que dava uma leitura direta de quanta energia havia sido consumida e, portanto, superior ao medidor eletroquímico de Edison.*

*Um desenvolvimento fundamental se deu quando da publicação, por Nikola Tesla, de um artigo em que mostrava que seria possível construir um motor em corrente alternada. Westinghouse compra a patente de Tesla e contrata seus serviços para desenvolver o motor, que só ficará pronto em 1892, e neste mesmo ano entra em funcionamento o primeiro motor de indução de Tesla.*

*A comissão responsável pela concorrência pública para a licitação das obras de Niagara Falls decide que o sistema será em corrente alternada. Enquanto isso, na Alemanha, é colocado em funcionamento um sistema de 100 HP (74,6 kW) com transmissão de 160 km, em corrente alternada, 30.000 V. A empresa de Edison, a Edson General Electric Company, se junta com a Thomson-Houston, formando a General Electric que passa a produzir em larga escala transformadores e alternadores.*

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

*Em 1896, a Westinghouse ganha a concorrência para fornecer os alternadores e transformadores de Niagara Falls que entra em funcionamento em 1896.*

Fonte: [www.sel.eesc.sc.usp.br](http://www.sel.eesc.sc.usp.br)

**+** *Sugestão de atividade*

- Dividir a classe em grupos a fim de pesquisarem sobre os inventores, suas descobertas e criações. Dentre eles, salientar:

- **Willian Gilbert**



- **Stephen Gray**



- **Charles Francois de Cisternay Du Fay**



*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

## 2ª etapa



O trabalho visa saber mais sobre a condução da eletricidade. Veja esse material abaixo:

### CONDUTORES E ISOLANTES

*Os condutores de eletricidade são meios materiais que permitem facilmente a passagem de cargas elétricas. O que caracteriza um material como condutor é a camada de valência dos átomos que constituem o material. Camada de valência é a última camada de distribuição dos átomos. Em razão da grande distância entre essa última camada e o núcleo, os elétrons ficam fracamente ligados com o núcleo, podendo, dessa forma, abandonar o átomo em virtude das forças que ocorrem no interior dos átomos. Esses elétrons que abandonam o átomo são chamados de “elétrons livres”. Os metais no geral são bons condutores de eletricidade, pois eles possuem os elétrons livres.*

*Os materiais condutores têm larga utilização no dia-a-dia. São utilizados, por exemplo, nos fios condutores de eletricidade e na indústria de eletroeletrônicos, entre muitas outras utilizações.*

*Os materiais isolantes fazem o papel contrário dos condutores, eles são materiais nos quais não há facilidade de movimentação de cargas elétricas. São exemplos de materiais isolantes: isopor, borracha, vidro, e muitos outros. Esses materiais são assim caracterizados porque os elétrons da camada de valência estão fortemente ligados ao núcleo, não permitindo dessa forma que ocorra a fuga dos mesmos. Os materiais isolantes são largamente utilizados, assim como os materiais condutores. São utilizados, por exemplo, na parte externa dos fios, encapsando-os para melhor conduzir a eletricidade.*

#### Sugestão de atividades

- Fazer um levantamento com os alunos sobre experiências pessoais a respeito de condutividade da eletricidade.

## 3ª etapa

O trabalho será o de aprofundamento do tema: condutores, isolantes e semicondutores. Veja o material a seguir:

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

## CONDUTORES E SEMICONDUTORES

A condutividade elétrica baseia-se no fato de os elétrons da última camada de cada átomo ter facilidade em saltar entre átomos vizinhos (funções de onda comuns).

Para entender melhor o que é um semicondutor, é importante ter claro em mente a idéia de **condutor e isolante**.

Vamos ver o que acontece quando diferentes materiais são atritados com um tecido de lã e depois aproximados a outro bastão móvel de vidro previamente eletrizado positivamente.



O plástico move o bastão de vidro. Isso prova que ele, após o atrito, se carrega. O metal, porém, não exerce nenhuma força sobre o vidro. Isso nos mostra que ele não permanece eletrizado.

Através desta experiência, vemos que as cargas fornecidas ao metal (pelo atrito) conseguem fluir por este "escapando" pelo corpo da pessoa que a segura e as cargas fornecidas ao plástico não.

Conclui-se, então, que o metal é um bom condutor de eletricidade, pois deixou as cargas escaparem. E o plástico é um mau condutor pois nele as cargas não se moveram.

### Condutores

O que caracteriza o material ser bom condutor é o fato de os elétrons de valência (por exemplo, o cobre possui um elétron na última camada) estarem fracamente ligados ao átomo, podendo ser facilmente deslocados do mesmo. Ora, consideremos, por exemplo, uma barra de cobre que possui um número extremamente elevado de átomos de cobre e apliquemos uma diferença de potencial entre os extremos desta barra. Os elétrons da camada de valência de todos os átomos facilmente se deslocarão sob a ação do campo elétrico produzido pela diferença de potencial aplicada, originando-se uma corrente elétrica no material.

Outros materiais que possuem uma constituição semelhante à do cobre, com um único elétron na camada de valência, são o ouro e a prata, dois outros excelentes condutores de eletricidade.

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

## **Isolantes**

*Obviamente, os materiais isolantes devem corresponder aos materiais que apresentam os elétrons de valência rigidamente ligados aos seus átomos. Entre os próprios elementos simples, existem vários que apresentam os elétrons de valência rigidamente ligados aos átomos. Entretanto, verifica-se que se consegue uma resistividade muito maior com substâncias compostas, como é o caso da borracha, mica, teflon, baquelite etc. (é mais ou menos intuitivo que os átomos se combinam, formando estruturas complexas, os elétrons ficam mais fortemente ligados a estas estruturas)*

### **A resistividade dos semicondutores**

*Todo material, seja ele isolante ou condutor apresenta uma resistividade, ou seja, resistência ao fluxo de corrente. Essa resistividade é o oposto da condutividade: quanto maior a resistividade, menor a condutividade.*

*Usa-se o termo resistividade quando se quer comparar níveis de resistência dos materiais. A unidade de resistividade de um material é o ohm-m ou ohm-cm.*

## **Semicondutores**

*Assim como existem materiais condutores e materiais isolantes, existe um tipo de material que é um meio termo entre esses dois primeiros. Esse material é o semicondutor.*

*O semicondutor, portanto, possui um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e um condutor.*

*Os materiais semicondutores mais usados na indústria eletrônica são o Germânio (Ge) e o Silício (Si), apesar do Silício predominar a produção atualmente. Seu comportamento se deve à sua ligação química, chamada ligação covalente (por compartilhar elétrons).*

*Cada átomo do silício se liga a quatro átomos vizinhos através da ligação covalente, ou seja, pares de elétrons (da última camada do Si) são compartilhados entre dois átomos. Os elétrons das camadas internas giram em torno do núcleo.*

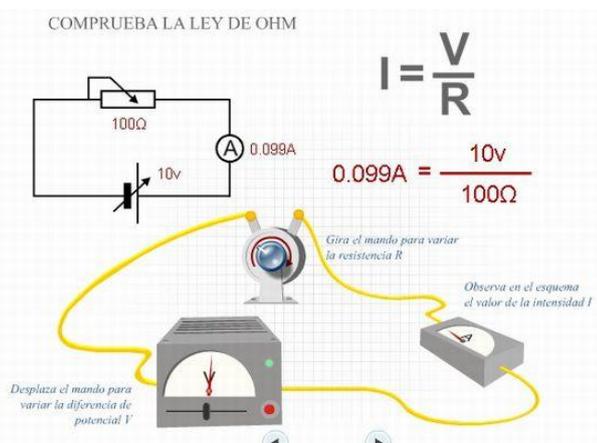
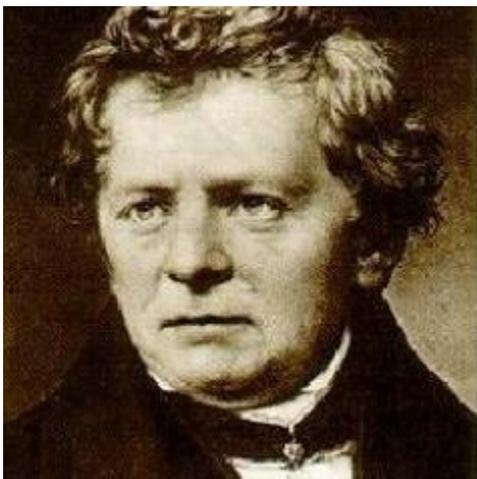
*Um fato importante é que tanto o germânio como o silício apresentam exatamente o mesmo tipo de estrutura que o diamante, variando apenas a dimensão (constante da rede).*

### **✚ Sugestão de atividade**

- Pesquisar a relação entre o diamante e o germânio, ressaltando os diversos usos desses materiais.
- Saber mais sobre Georg Simon Ohm e a sua Lei.

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*



#### 4ª etapa

O mote do trabalho é conhecer como a eletricidade chega aos diversos locais e porque ela a transmissão é feita com alta voltagem. Conheça esses materiais:

#### *Instalação elétrica residencial*

*Antigamente as cidades não tinham energia elétrica, a única fonte de luz era o Sol e com o tempo surgiram os lampiões a querosene ou a óleo e velas, apenas a s casa mais ricas possuíam um sistema próprio de gás.*

*As casas eram iluminadas por um grande lampião, outros cômodos da casa eram iluminados por lampiões a querosene ou lamparinas de óleo.*

*Só em 1883 surgiu a primeira usina termo elétrica e em 1889 a primeira hidroelétrica, porém isso não fez com que a energia elétrica chegasse nas ruas rapidamente, assim, as casas ascendiam apenas algumas lâmpadas e logo depois vieram os bondes elétricos.*

*Nos dias de hoje a energia elétrica é muito importante em nossas residências, pois é através dela que podemos assistir televisão, tomar banho quente, iluminar nossas casas e etc.*

*A energia elétrica é muito importante nos dias de hoje, pois é ela que proporciona o conforto, bem estar, segurança e lazer para a sociedade. A energia permite o funcionamento de bancos, hospitais, indústrias, escolas, semáforos e todo o sistema de comunicação; portanto é impossível imaginar a vida moderna sem a energia elétrica.*

*A energia elétrica pode ser produzida através de diferentes fontes, porém no Brasil ela na maioria das vezes vem das usinas hidrelétricas, que utilizam as quedas d'água dos rios para gerar eletricidade. Depois de produzida, a energia elétrica vai para as cidades através das linhas e torres de transmissão de alta tensão. Essas linhas e torres são aquelas nas estradas, que levam a energia pôr longas distâncias.*

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

*Quando a eletricidade chega às cidades, ela passa pelos transformadores de tensão nas subestações, que diminuem a voltagem. A partir daí, a energia elétrica segue pela rede de distribuição, onde os fios instalados nos postes levam a energia até a sua rua. Antes de entrar nas casas a energia ainda passa pelos transformadores de distribuição (também instalados nos postes) que rebaixam a voltagem para 127 ou 220 volts. Em seguida ela vai para a caixa do medidor de energia elétrica, o relógio de luz. É ele que mede o consumo de energia de cada residência.*

*Durante todo esse percurso a energia elétrica está sujeita a interrupções, provocadas por raios, ventos, tempestades, galhos de árvores e etc. São essas coisas que são responsáveis pelas interrupções do fornecimento de energia nas residências.*

#### **Sugestão de trabalho**

- Peça aos alunos relatos de experiências quando da falta de energia elétrica. Como o problema foi sanado e as penalidades sofridas pelos causadores do problema.
- Pesquisar mais profundamente a diferença entre as voltagens de 127 e 220 volts e seus usos.

#### **Por que a Transmissão de Energia Elétrica é feita com Alta Voltagem**

*Qualquer que seja o tipo de usina escolhido para produção de energia elétrica, em qualquer parte do mundo, ela sempre será construída, como dissemos, para gerar corrente alternada. Procuraremos mostrar, a seguir, o motivo desta escolha, isto é, porque não se usa a corrente contínua para distribuir a energia elétrica produzida nas grandes usinas de qualquer país.*



*O motivo preponderante desta escolha está relacionado com as perdas de energia, por efeito Joule, que ocorrem nos fios usados para transportar a corrente elétrica a longas distâncias.*

*Para analisar este fato, consideramos a **fig. 25-34**, na qual vemos um gerador produzindo energia elétrica, que é transportada pelos fios **AC** e **BD**, para ser utilizada na rede elétrica de uma residência. Sendo **V<sub>ab</sub>** a voltagem entre os pólos do gerador e **i** a corrente nos fios, a potência fornecida pelo gerador é **P<sub>1</sub> = i V<sub>ab</sub>**.*

*Mas, sendo **r** a resistência total dos fios transportadores, a potência desenvolvida nestes fios sob a forma de calor (efeito Joule) será **P<sub>2</sub> = ri<sup>2</sup>**. Assim, a potência **P**, que é recebida na residência, será:*

$$P = P_1 - P_2 \text{ ou } P = iV_{ab} - ri^2$$

*É evidente que a perda por efeito Joule (**P<sub>2</sub> = ri<sup>2</sup>**) nos fios deve ser a menor possível. Para isto, deveríamos procurar diminuir os valores de **r** e **i**. O valor de **r** só pode ser diminuído se for aumentada a área de secção reta dos fios, isto é, usando-se fios mais grossos. Entretanto, existe um limite para este procedimento, pois cabos muito grossos, além de terem custo elevado, tornariam a rede de transmissão extremamente pesada. Assim, a solução mais adequada é procurar reduzir o valor da corrente **i** a ser transmitida.*

*Concluimos assim que, para reduzir as perdas por aquecimento nos fios transportadores, a energia elétrica deve ser transmitida com baixa corrente e alta voltagem.*

*Esta é exatamente a solução adotada pelos engenheiros eletricitistas ao projetarem as linhas de transmissão. O valor da alta voltagem usada em cada caso, depende da potência a ser transmitida e da distância entre a usina e o local de consumo. Assim, são usadas voltagens de 100.000 V, 250.000 V, 480.000 V etc. e, atualmente, já são projetadas transmissões com até 1.000.000 V. Não é possível, entretanto, elevar indefinidamente o valor destas altas voltagens porque acima de certos valores o ar em volta do fio torna-se condutor, permitindo o escoamento de eletricidade, o que constituiria uma outra forma de perda de potência.*

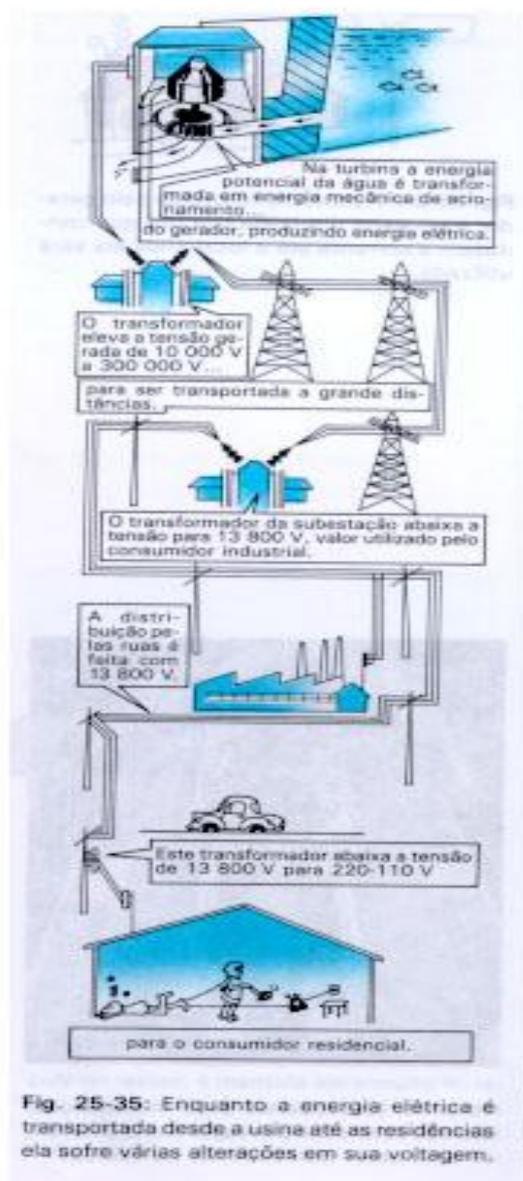
### **A Voltagem Alterada pode ser facilmente Elevada ou Reduzida**

*As altas voltagens necessárias para a transmissão da energia elétrica não podem ser fornecidas diretamente por um gerador, seja ele de corrente alternada, seja de corrente contínua. De fato os maiores geradores existentes*

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

*nas grandes usinas fornecem voltagens situadas apenas em torno de 10.000 V. Então torna-se necessário, para a transmissão, elevar consideravelmente os valores das voltagens fornecidas pelos geradores.*



*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

*Se o gerador fosse de corrente contínua, não haveria condições de resolver este problema, pois, conforme estudamos, um elevador de voltagem, isto é, um transformador, não funciona com corrente contínua. Por outro lado, se o gerador for de corrente alternada, será relativamente fácil elevar a voltagem produzida usando-se aquele aparelho. Além disso, devemos nos lembrar que, ao chegar nos centro de consumo, a alta voltagem deverá ser reduzida antes de ser distribuída. Evidentemente, seria fora de propósito um consumidor receber em sua casa voltagens de valores tão elevados como aqueles usados na transmissão.*

*Como o uso de corrente alternada, este problema também é facilmente resolvido usando-se novamente um transformador, agora para reduzir os valores da alta voltagem. Esta facilidade que é encontrada para elevar ou reduzir uma voltagem alternada é o fator preponderante que levou os engenheiros a darem preferência aos sistemas de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica por meio de corrente alternada.*

### ***A Utilidade do Transformador na Transmissão da Energia Elétrica***

*Vendo a figura apresentada, vemos um esquema de distribuição de energia elétrica, mostrando as sucessivas transformações de voltagem que ocorrem desde a geração na usina até sua utilização pelo consumidor.*

*Observe que logo após a voltagem alternada ser produzida em um gerador (com cerca de 10.000 V), o seu valor é elevado (para 300.000 V, por exemplo) por meio de transformadores existentes na subestação próxima à usina. Com esta alta voltagem, a energia elétrica é transportada a longas distâncias até chegar ao centro consumidor (uma cidade, por exemplo), nas proximidades do qual se localiza outra subestação. Neste local, os transformadores reduzem a voltagem para os valores (cerca de 13.000 V) com os quais ela é distribuída aos consumidores industriais e pelas ruas da cidade. Finalmente, nas proximidades das residências existem transformadores (nos postes da rua) que reduzem ainda mais a voltagem (para 110 V ou 22 V), de modo que ela possa ser utilizada, sem riscos, pelo consumidor residencial.*

### ***Voltagem de pico e voltagem eficaz***

*Portanto, a voltagem que recebemos em nossas residências, proveniente do transformador de rua, é uma voltagem alternada, isto é, o seu sentido é invertido periodicamente, como mostra o gráfico a seguir. Como já dissemos, estas inversões de sentido são muito rápidas, pois sua frequência é de 60 hertz, isto é, a voltagem muda de sentido 120 vezes por segundo.*

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

Vemos pelo gráfico, que a voltagem não é constante, como acontece com uma corrente contínua. O seu valor varia rapidamente: passa por um valor máximo, decrece, chega a zero, inverte de sentido, atinge um valor igual ao valor máximo, porém sem sentido contrário, torna a se anular e assim sucessivamente.

O valor máximo atingido pela voltagem alternada é denominado valor de pico e, para o caso mostrado na fig. 25-36, este valor é de 154 V.



Entretanto, quando fornecemos o valor de uma voltagem alternada, estamos normalmente nos referindo não à voltagem de pico, mas a uma quantidade denominada **valor eficaz da voltagem**. Este valor eficaz seria o valor de uma voltagem constante (contínua) que dissipasse, durante o tempo de um período, em que uma resistência **R**, a mesma energia térmica que é dissipada em **R** pela voltagem alternada, durante o mesmo intervalo de tempo. Pode-se mostrar que entre a voltagem eficaz e a voltagem de pico existe a seguinte relação:

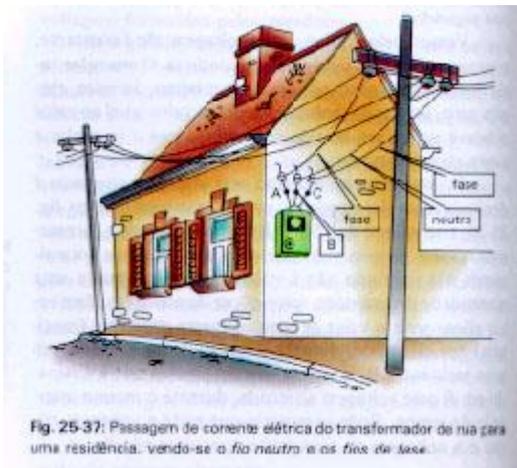
$$V \text{ (eficaz)} = \frac{V \text{ (de pico)}}{\sqrt{2}}$$

Então, para o caso da fig. 25-36, o valor da voltagem eficaz é:

$$V \text{ (eficaz)} = \frac{154}{\sqrt{2}} = \frac{154}{1,4} \text{ ou } V \text{ (eficaz)} = 110 \text{ V}$$

### O Fio "Neutro" e os Fios de "Fase"

Na fig. 25-37 mostramos como usualmente a voltagem obtida no transformador de rua é transferida para uma residência.



Isto é feito por meio de três fios: um deles, denominado fio neutro, sai do ponto central do secundário do transformador que está ligado à Terra; os outros dois são denominados fios de fase e saem dos pontos extremos deste secundário. Entre cada fase e o neutro existe uma voltagem eficaz de 110 V. Assim, na fig. 25-37 temos  $V_{AB} = 110\text{ V}$  e  $V_{BC} = 110\text{ V}$ . Entre as duas fases há uma voltagem eficaz de 220 V. Então, na residência mostrada nesta figura, é possível instalar tomadas de 110 V (usando-se uma fase e um neutro) e tomadas de 220 V (usando-se as duas fases).

Em algumas instalações elétricas, entretanto, a residência é ligada ao transformador de rua apenas por uma das fases e pelo neutro. É claro que nestas residências só poderão ser instaladas tomadas de 110 V.

### ***Linhas de Transmissão com Corrente Contínua***

Nos últimos tempos, algumas novidades têm surgido relacionadas com a transmissão de energia elétrica a longas distâncias. Os engenheiros e técnicos tem constatado que, para transmissão a distâncias superiores a cerca de 500 km, a corrente contínua mostra-se mais vantajosa do que a corrente alternada. Isto ocorre principalmente pelos motivos que analisaremos a seguir.

Sabe-se que o método mais adequado para transmitir corrente alternada é o sistema denominado **trifásico**, que utiliza três cabos ligando os dois pontos de transmissão (observe o sistema de alta voltagem nos postes de rua, que é exatamente deste tipo, utilizando três fios). Por outro lado, um sistema de transmissão com corrente contínua seria apenas 2/3 daquele que se tem em uma linha de corrente alternada. Além disso, pode-se mostrar que, para se obter a mesma perda por efeito Joule, os cabos em corrente alternada teriam que ser mais grossos do que em corrente contínua.

Verifica-se que, apesar destas vantagens, a corrente contínua apresenta alguns inconvenientes, pois sua voltagem não pode ser transformada facilmente, como já sabemos. Assim, para transmissão em corrente contínua, os geradores devem ainda ser de voltagem alternada, e só depois que esta voltagem é aumentada por meio dos transformadores é que ela é retificada para ser transmitida. Ao chegar ao local de

Autora: Melanie Grunkraut

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

consumo, a corrente contínua deve ser transformada novamente em corrente alternada para que sua voltagem possa ser reduzida antes de ser distribuída. É claro que todas estas transmissões a longas distâncias as economias feitas com os cabos poderão compensar estes custos. Em países de grandes dimensões, como a União Soviética, os Estados Unidos e o Brasil, essas condições são fáceis de ocorrer e, por isso mesmo, o sistema de transmissão com corrente contínua já se encontra em implantação nestes países.

### 5ª etapa

Aprofundar os conhecimentos sobre a reciclagem dos fios elétricos. Veja esse material:

#### **PESQUISADORES DA POLI CONSEGUEM RECICLAR 100% DO COBRE DE CABOS ELÉTRICOS**

*Pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP) desenvolveram um processo mais limpo que permite a recuperação de 100% do cobre contido em fios e cabos elétricos usados, a Revista Sustentabilidade apurou.*

*O método testado na Poli, separa o cobre, o alumínio e a capa de plástico de forma mais eficiente possível, por meio do tratamento dos minérios, em meio denso, baseado em suas propriedades físicas.*

*No laboratório, simulando uma situação industrial, o grupo obteve a recuperação de 100 % dos metais.*

*Os polímeros foram recuperados em uma taxa inferior, pois podem conter contaminações.*

*Segundo o engenheiro metalúrgico Jorge Alberto Soares Tenório, um dos pesquisadores do projeto, a forma mais comum de separação dos materiais constituintes dos cabos e fios é através da queima, que proporciona a separação do cobre e da capa polimérica.*

*Esta forma de separação porém, não recupera todo o cobre contido em um cabo, além de emitir CO2 durante o processo de queima.*

*Os pesquisadores testaram vários meios de separação dos materiais, obtendo concentrados de cobre com baixo grau de contaminação em todos, porém, observaram que todas as técnicas precisam de outra técnica para complementá-las.*

#### **Sugestão de atividade**

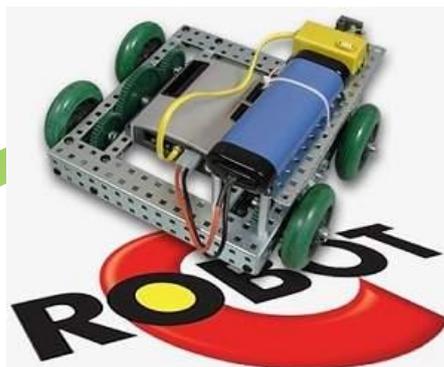
- Pesquise a veracidade dos fatos expostos, justificando suas conclusões.

*Autora: Melanie Grunkraut*

*“Pense no Meio Ambiente. Só imprima este documento se for realmente necessário”*

### 7) *Produto Final*

- ✚ Utilizando os princípios de Robótica Educacional criar objetos semelhantes aos reais e fazê-los adquirir movimentos através de fios de eletricidade.



### 8) *Sites Pesquisados*

- ✚ <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/historia-da-eletricidade/historia-da-eletricidade-1.php>
- ✚ <http://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/a-historia-eletricidade.htm>
- ✚ <http://cienciasaquiblogspot.com/2009/03/historia-da-eletricidade.html>
- ✚ <http://www.coladaweb.com/quimica/eletroquimica/condutores-e-isolantes-semicondutores>
- ✚ <http://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/condutores-isolantes.htm>
- ✚ <http://aulasdefisicacejob.zip.net/>
- ✚ <http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2001/energia/transmissaoedistribuicao-daenergieletrica.htm>
- ✚ <http://www.brasilecola.com/quimica/e-haja-luz-rota-eletricidade.htm>
- ✚ <http://www.revistasustentabilidade.com.br/reciclagem/pesquisadores-da-poli-conseguem-reciclar-100-do-cobre-de-cabos-eletricos>

### 9) *Autoria: Melanie Grunkraut*