



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
FACULDADE DE FÍSICA

JERRY AUGUSTO MACEDO DOS SANTOS JUNIOR

**A FÍSICA DA ENERGIA ELÉTRICA:** da geração à instalação elétrica  
domiciliar.

BELÉM

2021

JERRY AUGUSTO MACEDO DOS SANTOS JUNIOR

**A FÍSICA DA ENERGIA ELÉTRICA:** da geração à instalação elétrica domiciliar.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do grau de Licenciado Pleno em Física.

Orientador: Prof. Me. Victor Façanha Serra

BELÉM

2021

JERRY AUGUSTO MACEDO DOS SANTOS JUNIOR

**A FÍSICA DA ENERGIA ELÉTRICA:** da geração à instalação elétrica domiciliar.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do grau de Licenciado Pleno em Física.

Data da Avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Victor Façanha Serra (Orientador)  
[Universidade Federal do Pará]

---

Prof. Dr. Manoel Januário S Neto (Membro)  
[Universidade Federal do Pará]

---

Prof. Dr. João Furtado de Souza (Membro)  
[Universidade Federal do Pará]

*Dedico este trabalho a meus pais Edilena e Jerry, a minha irmã, Hingredy, e a minha namorada, Aline, que me apoiaram e me incentivaram, cada um do seu jeito.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, principalmente meus pais Jerry Augusto e Maria Edilene, e a minha irmã Hingredy Hellen, além dos meus tios e meus primos e primas que são muitos pra citar.

Agradeço também a minha namorada Aline Ferreira, que além de me apoiar e me incentivar, também me ajudou a escrever e a corrigir este trabalho, além de me fazer uma pessoa melhor.

Também agradeço aos meus amigos do grupo de RPG, que estão sempre perdendo no Hearthstone, mas que estamos sempre rindo quando não estamos discutindo. Um agradecimento especial ao meu amigo que me orientou e ajudou a desenvolver este trabalho Tiago Arouche. E também ao meu cunhado Leonans Polliqueis que está sempre ajudando quando preciso. Não esquecendo também a todos os amigos que fiz em todos esses anos de estudo, seja no ensino fundamental, médio e superior, desde os que me ajudaram a rir, até os que me ajudaram a resolver questões e a fazer trabalhos.

Também gostaria de agradecer aos colégios nos quais estudei e aos professores que muito me ensinaram, em especial ao colégio CESIN que tenho um carinho especial e com os seus professores e funcionários.

Agradeço também ao professor Victor Façanha por me orientar neste trabalho, apesar do momento em que vivemos conseguimos concluir esse texto por muitos e-mails e conversas.

E por último não esquecendo de agradecer a Universidade Federal do Pará que me deu a oportunidade de fazer um curso superior e a Faculdade de Física, a seus funcionários e professores, que além de excelentes profissionais, são pessoas maravilhosas que estão sempre dispostas a conversar.

## RESUMO

O Brasil possui um dos maiores e mais diversificados recursos hídricos do planeta, podendo, dessa forma se beneficiar de vastos rios e bacias hidrográficas para geração de energia elétrica, sendo esta energia, de baixo custo, fácil transporte e pouca perda durante suas conversões quando transportadas a longas distâncias, entre as usinas hidrelétricas e os grandes centros de distribuição para o consumo. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a energia elétrica sob o ponto de vista de conceitos de física através de pesquisas explanatórias envolvendo as quatro etapas do Sistema Elétrico de Potência. A primeira etapa consiste na análise de geração de energia, expondo os meios de produção de energia no Brasil, com ênfase nas hidrelétricas; a segunda etapa relata o percurso da transmissão da energia a longas distancias utilizando-se o Sistema Interligado Nacional; a terceira etapa refere-se a distribuição para grandes centros, com o uso de subestações, os postes e os transformadores; e a última etapa aborda o consumo residencial, com os aspectos cotidianos descrevendo os medidores de energia, disjuntores, tomadas, eletrodomésticos e a conta de energia. Diante dos dados obtidos através das pesquisas realizadas nesse trabalho, foi possível inferir que o conhecimento de todas as etapas, desde a geração até o consumo de energia elétrica, se faz necessário para a instalação e uso correto de um sistema elétrico e de iluminação para a segurança do consumidor evitando acidentes, desperdícios e mau uso de aparelhos eletrônicos.

**Palavras-chaves:** Energia. Geração. Transmissão. Consumo. Hidrelétricas. Sistema Interligado Nacional.

## ABSTRACT

Brazil has one of the largest and most diversified water resources on the planet, being able to benefit from vast rivers and hydrographic basins for the generation of electric energy, being this energy, low cost, easy transport and little loss during its conversions when transported to long distances, between hydroelectric plants and large distribution centers for consumption. In this context, this work aims to analyze the electrical energy from the physical-theoretical point of view through explanatory research on the four stages of the Electric Power System. The first stage consists of the analysis of generation of energy, exposing the ways of energy production in Brazil, with an emphasis on hydroelectric plants; the second stage reports the route of energy transmission over long distances using the National Interconnected System; the third stage refers to the distribution to large centers, with the use of substations, poles and transformers; and the last step addresses residential consumption, with daily aspects describing energy meters, circuit breakers, plugs, appliances and the energy bill. Before these data obtained through research realized in this work, it was possible to interpret that the knowledge of all stages from generation to consumption of electricity, are necessary for the installation and correct use of an electrical and lighting system for safety, avoiding accidents, waste and misuse of electronic devices.

**Keywords:** Energy, Generation, Transmission, Consumption. Hydroelectric plants. National Interconnected System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Espécies de carga onde o vidro e o plástico se atraem por terem cargas o opostas, e os bastões de vidro se repelem por terem cargas iguais.....	14
Figura 2-2 – Linhas de força de um campo elétrico gerado por uma carga positiva e outra negativa.....	17
Figura 2-3 – Elétrons em um fio se movendo de forma desordenada e de forma ordenada.....	19
Figura 2-4 – Elétrons atravessando a secção transversal de um fio.....	19
Figura 2-5 – Corrente contínua no gráfico $i \times t$ .....	20
Figura 2-6 – Corrente alternada no gráfico $i \times t$ .....	20
Figura 2-7 – Triângulo das potências.....	23
Figura 2-8 – Representação interna de um capacitor.....	24
Figura 2-9 – Campo magnético formado por limalhas de ferro sobre uma folha de papel.....	25
Figura 2-10 – Representação do experimento de Faraday, que ele liga duas bobinas a um anel de ferro.....	25
Figura 2-11 – Campo atravessando uma superfície.....	26
Figura 2-12 – Experimento utilizando um ímã e uma bobina para gerar corrente elétrica.....	27
Figura 2-13 – Esquema de um transformador de corrente alternada.....	28
Figura 3-1 – Geração de energia elétrica no Brasil por fonte em de 1996 a 2017. ....	30
Figura 3-2 - Geração de energia elétrica no mundo por fonte de 1998 até 2017.....	31
Figura 3-3 – Estrutura básica do Sistema elétrica de potência.....	31
Figura 3-4 – Usina hidrelétrica de Tucuruí localizada no Pará.....	32
Figura 3-5 - Sistema de transposição de peixes da usina hidrelétrica de Belo Monte.....	33



Figura 3-6 – Exemplo de rotor de um alternador.....	34
Figura 3-7 – Exemplo de estator de um alternador .....	35
Figura 3-8 – Transformadores de Itaipu em teste .....	35
Figura 3-9 – Torres de transmissão utilizadas para transportar energia elétrica a longas distâncias.....	36
Figura 3-10 – Esquema dos quatro subsistemas do SIN .....	37
Figura 3-11 – Mapa dinâmico das linhas de transmissão do SIN.....	38
Figura 3-12 – Subestação do Independência ou Subestação de São Brás, Belém ..	39
Figura 3-14 – Imagens da RDA (acima) e RDP (abaixo) .....	40
Figura 4-1 – Caixa protetora do medidor de energia.....	41
Figura 4-2 – Tipos de medidores de energia elétrica .....	42
Figura 4-3 – Disjuntor elétrico (direita) e disjuntor térmico (esquerda).....	43
Figura 4-4 – O padrão brasileiro de plugues e tomadas a partir de 2011 .....	47
Figura 4-5 – Rótulo de informações de um carregador de celular.....	48
Figura 4-6 – Simbologias de Corrente Alternada e de corrente contínua .....	48
Figura 4-7 – Uma fonte de computador adaptada.....	49
Figura 4-8 – Esquema de um forno de micro-ondas .....	50
Figura 4-9 – Esquema do funcionamento de um aparelho de ar-condicionado .....	52
Figura 4-10 – Potência do ar condicionado baseado na quantidade de BTUs que o aparelho possui .....	52
Figura 4-11 – Partes de uma lâmpada incandescente .....	53
Figura 4-12 – Modelos de lâmpadas fluorescentes compactas.....	54
Figura 4-13 – Modelo de lampada de Led.....	55
Figura 4-14 – Selo de qualidade do Inmetro e Procel .....	56
Figura 4-15 – Demonstrativo de faturamento da conta de energia elétrica.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira De Energia Solar Fotovoltaica
AC	<i>Alternating Current</i>
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
C	Coulomb
CA	Corrente Contínua
CC	Corrente Alternada
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CIEB	Centro de Inovação para a Educação Brasileira
DC	<i>Direct Current</i>
ddp	Diferença de potencial
$e$	Carga elementar
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
led	diodo emissor de luz
OBIND	Observatórios dos Direitos e Políticas Indigenistas
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
RDA	Rede de Distribuição aérea convencional
RDI	Rede de Distribuição aérea Isolada
RDP	Rede de Distribuição aérea compactada
RDS	Rede de Distribuição Subterrânea
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SI	Sistema Internacional
SIN	Sistema Internacional Interligado
TUE	Tomadas para o Uso Específico
TUG	Tomadas para o Uso Geral
VAr	Potência reativa
$Q$	Carga elétrica
W	Potência ativa

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CONCEITUAL BÁSICA .....	13
2.1	Carga elétrica.....	13
2.2	Condutores e Isolantes .....	15
2.3	A Lei de Coulomb .....	15
2.4	Campo elétrico.....	16
2.5	Potencial elétrico.....	17
2.6	Corrente elétrica.....	18
2.7	Resistência elétrica .....	21
2.8	Potência elétrica e potência aparente .....	22
2.9	Capacitância .....	23
2.10	O Campo magnético.....	24
2.11	Indução eletromagnética .....	25
2.12	Fluxo do campo magnético .....	26
2.13	A Lei de Faraday.....	27
2.14	O transformador de tensão alternada.....	28
3	A GERAÇÃO E A DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	29
3.1	A Energia Elétrica.....	29
3.2	O Sistema Elétrico de Potência (SEP) .....	31
3.3	A geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas .....	32
3.4	Transmissão de energia .....	36
3.5	Subestações de energia .....	38
3.6	A distribuição de energia para grandes centros consumidores .....	39

<b>4</b>	<b>O CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>O medidor de energia elétrica .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>O sistema elétrico residencial .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>O padrão brasileiro de Plugues e Tomadas .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Fontes de aparelhos eletrônicos.....</b>	<b>47</b>
<b>4.5</b>	<b>O forno de micro-ondas .....</b>	<b>50</b>
<b>4.6</b>	<b>O aparelho de ar condicionado .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7</b>	<b>As lâmpadas incandescente, fluorescente e de LED .....</b>	<b>53</b>
<b>4.8</b>	<b>As contas de energia .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em 1879, foi concedido a empresa Edison Eletric Light Co. a instalação de iluminação elétrica na estação estrada de Ferro Pedro II, pelo imperador Dom Pedro II. Mas foi só em 1903 que o Congresso Nacional aprovou o primeiro texto de lei para o uso de energia elétrica no Brasil.

Já uma das primeiras usinas hidrelétricas instaladas no Brasil se deu devido a necessidade de inovação na indústria têxtil, em Juiz de Fora, Minas Gerais. “Há mais de 120 anos, quando as turbinas importadas dos Estados Unidos giravam pela primeira vez na Usina de Marmelos, em Juiz de Fora, ocorreu de forma inédita no país a transformação da energia mecânica em elétrica.” (ESTADO DE MINAS, 2013). Antes, a mineração já havia sido escolhida como alvo para a primeira hidrelétrica construída no Brasil, em Diamantina, nas águas de Ribeirão do Inferno. Em 2019 a indústria consumiu 34%, aproximadamente 167.404 GWh, da energia consumida no Brasil, sendo o maior destino de energia do país, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O baixo custo e a facilidade de transporte fazem com que a energia elétrica seja amplamente utilizada no Brasil. O Sistema Integral Nacional (SIN) utiliza-se de subsistemas para que a rede esteja integrada e que não haja interrupções na distribuição de energia elétrica a longas distâncias, da hidrelétrica até os grandes centros de consumo, com uma malha que chega a quase 135.000 km de extensão.

O consumo residencial de energia elétrica em 2019, segundo a EPE, chegou a 29% da energia consumida no país, visto que é a maior fonte de energia utilizada em aparelhos eletrodomésticos, como fornos de micro-ondas, aparelhos de ar condicionado, chuveiros elétricos, além do sistema de iluminação.

Este trabalho tem como proposta realizar uma pesquisa exploratória, do ponto de vista dos conceitos de Física, sobre as quatro etapas que envolvem o Sistema de Energia de Potência (SEP): a geração, a transmissão, a distribuição e o consumo de energia elétrica. Procura-se enfatizar os conceitos de eletricidade na geração de energia em hidrelétricas; nas linhas de transmissão e subestações, que envolvem o processo de transmissão; na distribuição nos centros residenciais e comerciais; além de focar no consumo específico da energia em domicílios analisando o funcionamento de alguns aparelhos elétricos úteis e muito usados na nossa vida cotidiana.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA CONCEITUAL BÁSICA

Um dos principais objetivos deste trabalho é mostrar que, por trás da instalação elétrica domiciliar, existe uma gama muito grande de conceitos de física envolvidos. Estes podem ser destacados quando estudamos a eletricidade desde a sua geração, seja em usina hidrelétrica, termoelétrica, nuclear, até a transmissão e uso domiciliar desta energia. Isto é, o caminho que ela percorre antes de chegar em nossa residência. Por fim, temos a utilização da energia elétrica em vários aparelhos elétricos domiciliares, como: o medidor de energia elétrica, o forno de micro-ondas, o ventilador, as centrais de ar condicionado, o computador pessoal, as tomadas elétricas, etc. Para entendermos, de forma didática, como isto se processa, se faz necessário destacarmos alguns conceitos básicos de eletricidade.

### 2.1 Carga elétrica

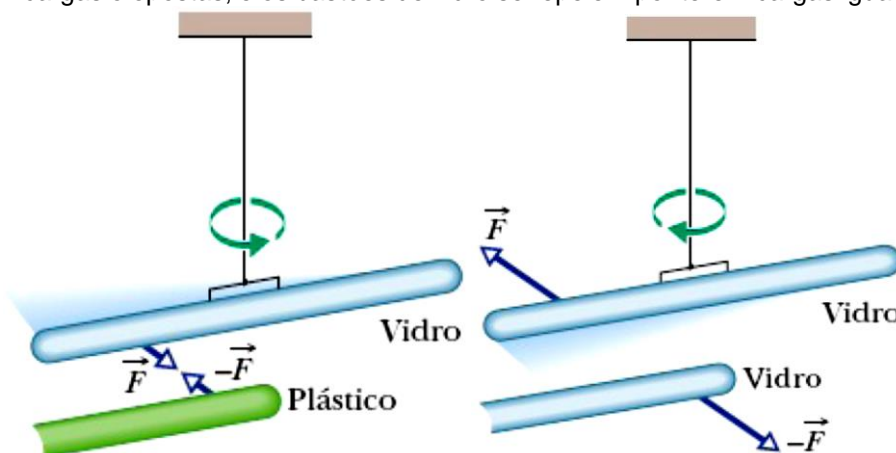
A carga elétrica é uma propriedade associada à matéria capaz de explicar as interações elétricas entre corpos. Esta propriedade fica evidente quando atritamos dois corpos, por exemplo, um bastão de vidro em um pano de seda. Após esse processo, é possível verificar que o bastão de vidro é capaz de atrair pequenos pedaços de papel. Este fenômeno já era conhecido pelo grego, Thales de Mileto desde 600 a.C, ao atritar o âmbar (espécie de resina) em lã. A palavra eletricidade deriva da palavra âmbar, que em grego, significa elétron.

Hoje, sabe-se que existem dois tipos ou espécies de eletricidade, a eletricidade vítrea e a eletricidade resinosa. Benjamin Franklin (1706 – 1790), ao atritar um bastão de vidro com um pedaço de seda, convencionou que a seda ficava com eletricidade resinosa ou carregada negativamente, enquanto que o bastão de vidro ficava com eletricidade vítrea ou com carga elétrica positiva.

Pode-se mostrar que existem duas espécies de cargas elétricas esfregando um pedaço de seda num bastão de vidro e pendurando este último na extremidade de um fio longo, como mostra a Figura 2-1. Colocando-se próximo à extremidade atritada um segundo bastão de vidro igualmente esfregado com seda, veremos que os dois bastões se repelem. Por outro lado, um bastão de ebonite (plástico) atritado num pelo de animal atrairá o bastão de vidro, ao passo que dois bastões de ebonite igualmente esfregados

no mesmo pelo de animal se repelirão. Explicamos estes fatos dizendo que ao esfregarmos um dos bastões damos a este uma carga elétrica e que as cargas elétricas exercem forças entre si. Naturalmente, as cargas nos bastões de vidro e de ebonite são de natureza diferente. (HALLIDAY; RESNICK, WALKER, 1984, p. 2)

Figura 2-1 – Espécies de carga onde o vidro e o plástico se atraem por terem cargas opostas, e os bastões de vidro se repelem por terem cargas iguais



Fonte: Fundamentos da Física 3, Eletromagnetismo (1984)

Assim foi estabelecido o princípio da atração e repulsão da eletrostática: “Cargas com mesmo sinal se repelem e com sinais contrários se atraem”. Verifica-se também que cargas elétricas seguem um princípio de conservação e este estabelece que “num sistema eletricamente isolado a soma algébrica das quantidades de cargas positivas e negativas é constante” (Halliday, Resnick, Walker, vol.3 -1984).

Podemos dizer que toda matéria é composta por átomos e que, classicamente, estes são constituídos de: prótons, que possuem carga positiva; elétrons, que possuem carga negativa; e nêutrons, que são desprovidos de carga elétrica. Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871–1937), juntamente com seus auxiliares, Geiger e Marsden, ao analisarem a trajetória de partículas alfa em um experimento de espalhamento por eles realizado, concluíram que o átomo deveria ser constituído de uma região central, na qual, quase toda sua massa estaria concentrada, chamada de núcleo, onde deveriam se localizar cargas positivas (prótons), e outra região periférica, chamada de eletrosfera, que seria constituída de cargas negativas (elétrons) girando em torno do núcleo. Mais tarde esse modelo foi aperfeiçoado por Niels Bohr (1885–1962), que então introduziu ideias quânticas ao modelo do átomo, e hoje, temos o modelo mais aceito pelos físicos que é o modelo governado pela mecânica quântica.



O físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953), após realizar uma série de experimentos com gotas de óleo, descobriu uma das mais importantes propriedades da carga elétrica: que a carga elétrica é quantizada. Significa que ela pode sempre ser representada por uma quantidade igual a um múltiplo inteiro de uma carga elementar, representada por  $e$  (carga do próton ou do elétron), cujo valor absoluto é  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Assim, a equação para representar a carga elétrica  $q$ , pode ser escrita como:

$$q = n \cdot e \quad \text{Eq. 2.1}$$

onde  $n$  é um número inteiro. A unidade no Sistema Internacional (SI) de carga elétrica é o Coulomb (C).

## 2.2 Condutores e Isolantes

Para o bastão de vidro, ou de plástico, da experiência referida na Figura 2-1, observa-se que as cargas elétricas não se distribuem por toda região do corpo atritado, isto é, não tem a propriedade de fluir ou se espalhar por toda extensão do bastão, ficando concentradas na região atritada. Corpos ou materiais que apresentam este tipo de comportamento são denominados de isolantes ou dielétricos. Entretanto, há outros materiais, como as substâncias metálicas de um modo geral, onde as cargas se distribuem rapidamente ao longo de toda sua extensão; a estes materiais denominamos de condutores elétricos, por sua facilidade de conduzir as cargas.

## 2.3 A Lei de Coulomb

A Lei de Coulomb, a qual permite o cálculo da força elétrica,  $\vec{F}$ , entre cargas puntiformes – cargas com dimensões desprezíveis se comparadas as distâncias que as separam de outros corpos eletrizados – afirma que duas cargas elétricas puntiformes exercem uma força de ação mútua, cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos das cargas  $q_1$  e  $q_2$  e inversamente proporcional ao quadrado da distância  $\vec{r}$  entre elas. A constante de proporcionalidade,  $k$ , que depende do meio onde as cargas estão imersas, é denominada de constante eletrostática, cujo valor  $k_0$  para o vácuo, vale  $9 \cdot 10^9$  no SI. Assim, a Lei de Coulomb,

quando em meio a vácuo, pode ser descrita pela seguinte equação vetorial, onde  $\hat{r}$  é o versor da direção  $\vec{r}$ .

$$\vec{F} = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Em seu artigo, Nilson (2011), cita a passagem do livro de Bassalo, Nascimentos da Física (1996), que “Charles Augustin Coulomb (1736-1806), provou, com relativa precisão, a hipótese de Priestley, ao utilizar uma balança de torção”. Ele estava se referindo a suposição feita por Joseph Priestley (1733-1804) em seu livro intitulado “A história e a situação atual da Eletricidade”, de 1767, que a força elétrica deveria diminuir de intensidade com o inverso do quadrado da distância. Nilson afirma também, que Coulomb também observou que a carga elétrica se situava na superfície externa do condutor em equilíbrio eletrostático e que o ar não era um isolante ideal.

A Lei de Coulomb se refere à força que uma carga exerce sobre a outra, independentemente dos sinais da carga, estes sinais estarão relacionados à natureza da força, seja ela de atração ou repulsão. Quando as cargas têm sinais iguais, ou seja, ambas são cargas elétricas positivas, ou ambas são negativas, elas se repelem, já cargas elétricas com sinais opostos, tendem a se atrair.

## 2.4 Campo elétrico

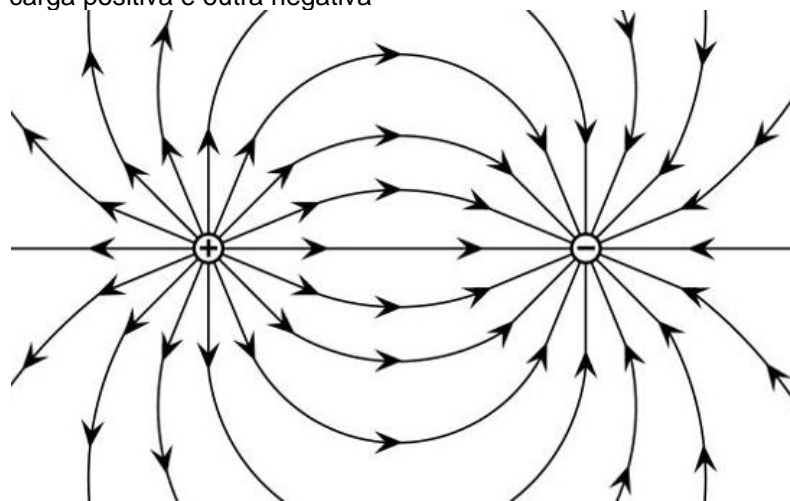
A carga elétrica é capaz de modificar a região do espaço ao seu redor, criando uma região de influência para ações elétricas. Essa região de influência da carga, é chamada de Campo Elétrico, representado por  $\vec{E}$ . Esse campo é capaz de influenciar outras cargas nele colocadas. A Lei de Coulomb, trata justamente disto, o campo elétrico de uma carga A, atrai ou repele outra carga B, e esta outra carga B também tem influência na carga elétrica A. O campo elétrico criado por uma carga Q em um ponto P, distante  $\vec{r}$  dela, pode ser calculado através seguinte equação:

$$\vec{E} = k_0 \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad \text{Eq. 2.3}$$

onde  $k_0$  é a constante eletroestática do vácuo já referida na Lei de Coulomb. A unidade de campo elétrico no SI é Newton por Coulomb (N/C).

O campo elétrico de uma carga puntiforme é uma grandeza vetorial que pode ser representado por linhas de forças radiais a partir da carga geradora, podendo apontar para fora da carga, carga positiva, ou para dentro, carga negativa.

Figura 2-2 – Linhas de força de um campo elétrico gerado por uma carga positiva e outra negativa



Fonte: Brasil Escola

## 2.5 Potencial elétrico

Um campo elétrico criado por uma carga  $Q$ , influencia eletricamente a região ao seu redor, como explicado anteriormente. Então se colocarmos uma carga de prova  $q$ , por exemplo, em um lugar do espaço de atuação deste campo elétrico, esta carga sentirá a presença desse campo e servirá para testarmos matematicamente a intensidade deste campo no local onde a carga de prova foi posta, esta carga será atraída ou repelida, adquirindo uma certa velocidade. Então poderemos afirmar que a carga de prova adquiriu energia cinética. Neste caso, podemos calcular a Energia Potencial Elétrica ( $E_p$ ) associada, através da seguinte equação:

$$E_p = k_0 \frac{Qq}{d} \quad \text{Eq. 2.4}$$

onde  $d$  é a distância entre a carga geradora do campo elétrico  $Q$  e a carga de prova  $q$ . A unidade da  $E_p$  no SI é o Joule (J).

Esse campo elétrico pode ser descrito por uma grandeza escalar chamada de Potencial Elétrico (V), que pode ser obtida através da divisão da Energia Potencial Elétrica pela carga de prova:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{E_p}{q} \\
 V &= \frac{k_0 \frac{Qq}{d}}{q} = k_0 \frac{Qq}{d} * \frac{1}{q} \\
 V &= k_0 \frac{Q}{d}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 2.5}$$

a unidade de potencial elétrico no SI é denominada de volt (V), que corresponde ao Joule por Coulomb (J/C).

### 2.5.1 Tensão elétrica ou diferença de potencial elétrico (ddp)

Os potenciais elétricos  $V_1$  e  $V_2$  de dois pontos diferentes de um mesmo campo elétrico criados por uma carga  $Q$ , podem ser representados pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= k_0 \frac{Q}{d_1} \\
 V_2 &= k_0 \frac{Q}{d_2}
 \end{aligned}$$

estando o ponto 1, a uma distancia  $d_1$  da carga geradora, e o ponto 2 a uma distancia  $d_2$  da mesma carga. A ddp ( $U$ ), por definição, é a diferença do potencial destes dois pontos:

$$U = V_1 - V_2 \tag{Eq. 2.6}$$

essa ddp, também é chamada de Tensão Elétrica. É a mesma tensão que medimos em uma tomada de 110 V ou de 220 V, ou então a tensão de uma pilha de 1,5 V, tensões estas que são necessárias para gerar uma corrente elétrica.

## 2.6 Corrente elétrica

“O fluxo ordenado de cargas de um lugar a outro através da matéria é chamado de corrente” (Rezende, 2008). Um fio condutor que liga um aparelho elétrico qualquer à tomada, pilha ou bateria, pode ser usado como exemplo para explicar o conceito de corrente elétrica. Neste fio, há diversos elétrons se movendo de forma não ordenada,

ou livre, e quando aplicado um potencial elétrico, ou tensão, neste fio, os elétrons começam a se mover, de forma ordenada, gerando assim o que denominamos de corrente elétrica (Figura 2-3).

Figura 2-3 – Elétrons em um fio se movendo de forma desordenada e de forma ordenada



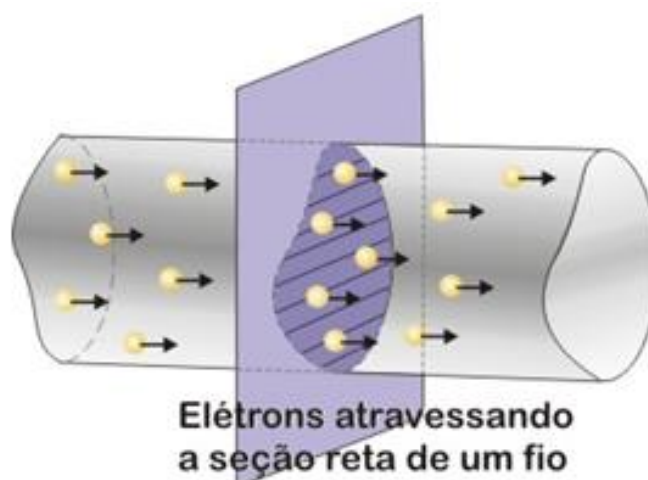
Fonte: Mundo da elétrica

Para medir a corrente elétrica ( $i$ ) é necessário saber o número de elétrons ( $n$ ) que passam por uma secção transversal de um fio em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) (Figura 2-4), sendo assim, por definição:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{Eq. 2.7}$$

a unidade da corrente elétrica no SI é o Ampère (A), que corresponde ao J/s.

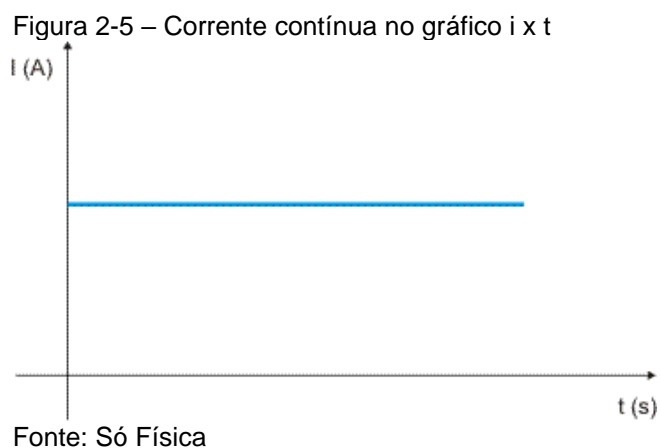
Figura 2-4 – Elétrons atravessando a secção transversal de um fio



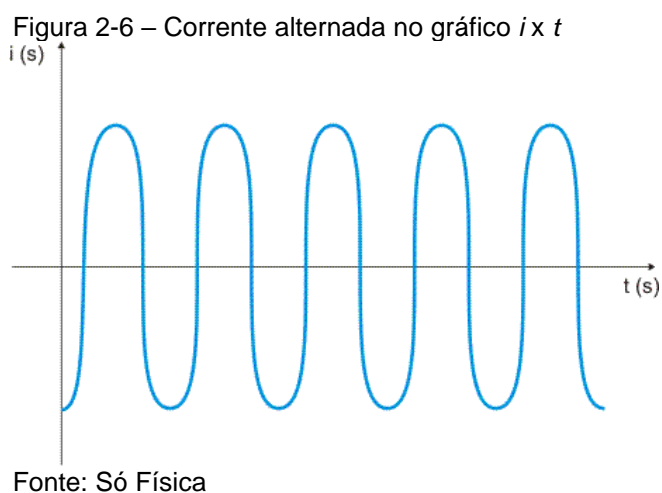
Fonte: Monte de Física

### 2.6.1 Corrente contínua e corrente alternada

A corrente contínua (CC) é uma corrente em que o sentido de movimento das cargas elétricas sempre é o mesmo, ou seja, sempre positiva, ou sempre negativa. Ela é utilizada na maior parte dos circuitos eletrônicos. Pilhas e baterias geram corrente contínua. A Figura 2-5 mostra a CC em um gráfico  $i \times t$



A corrente alternada (CA) é aquela em que o sentido de movimento das cargas é invertido periodicamente, como uma onda senoidal, ora positiva, ora negativa, com um movimento de vai-e-vem (Figura 2-6). A corrente alternada é utilizada nas redes de distribuição de energia elétrica e também pode ser obtida das tomadas residenciais, além de ser utilizada em diversos aparelhos domésticos como liquidificadores, máquina de lavar e ventiladores. Ela também é usada para transportar a energia da usina até a cidade. Quando falarmos de geração, transmissão e utilização de energia, explicaremos melhor as vantagens de se usar corrente contínua ou corrente alternada nos processos.



## 2.7 Resistência elétrica

Ao analisarmos a corrente elétrica em um condutor como um fio de cobre, os elétrons estão se movendo em uma mesma direção, e também estão colidindo entre si e a estrutura cristalina do metal, ocasionando uma oposição ao movimento desses portadores. Essa oposição ao movimento dos portadores de carga no interior do condutor é chamada de Resistência Elétrica. Essa resistência à passagem da corrente elétrica é muitas vezes útil em aplicações elétricas em virtude da geração de calor que ela produz, o chamado Efeito Joule, que é usado em ferros de passar, fornos elétricos, chuveiros elétricos e churrasqueira elétrica, onde a corrente passa pelo condutor, aquecendo-o, e sendo utilizado por esses aparelhos.

A resistência elétrica ( $R$ ) pode ser calculada pela razão entre a diferença de potencial ( $U$ ) aplicada ao condutor e a corrente ( $i$ ) que o percorre, Por definição:

$$R = \frac{U}{i} \quad \text{Eq. 2.8}$$

a resistência elétrica, no SI, é medida em Ohm ( $\Omega$ ), que corresponde ao V/A. A chamada Primeira Lei de Ohm, muito utilizada em eletricidade, descoberta pelo físico alemão Georg Ohm (1789-1854), afirma que: se em um condutor a corrente elétrica é proporcional à tensão elétrica nele aplicada, sua resistência será constante. Essa lei é válida apenas para resistores ôhmicos ou lineares, ou seja, aqueles que possuem resistência constante.

Ohm também descobriu que a resistência varia em função do comprimento do condutor ( $L$ ), da área da sua seção reta ( $A$ ) e do material de que este condutor é feito, representado pela resistividade ( $\rho$ ) do mesmo. Cada material tem sua própria resistividade, por exemplo, a resistividade do plástico é mais baixa que a do cobre, do ferro ou do ouro, por isso estes três materiais são considerados condutores elétricos, enquanto o plástico é considerado um isolante. Esta relação é a chamada de Segunda Lei de Ohm, e pode ser representada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad \text{Eq. 2.9}$$

Outra aplicação da resistência elétrica, são os resistores, muito usados em circuitos elétricos, os quais resistem a passagem da corrente que o percorrem. Uma aplicação típica dessa propriedade é o circuito elétrico para ligar um Diodo Emissor de Luz, ou *led*, no qual mesmo uma corrente de baixa intensidade é capaz de danificá-lo e então colocamos um resistor, para limitar a passagem desta corrente, e assim preservamos o componente elétrico.

## 2.8 Potência elétrica e potência aparente

Em um circuito fechado, tendo uma bateria como fonte de diferença de potencial ( $U$ ), ligado a um componente, como uma lâmpada ou um motor, uma corrente elétrica atravessa o circuito, ao completa-lo, a quantidade de carga tem seu potencial reduzido, e de acordo com a lei de conservação de energia, essa redução se dá pela conversão de energia elétrica em outra forma, em calor e luz no caso da lâmpada, ou em energia cinética no caso do motor. “A potência  $P$  é a taxa com a qual a energia é transferida da bateria para o componente.” (HALLIDAY; RESNICK, WALKER, 1984, p. 154). A equação da potência pode ser escrita como:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = U \cdot i \quad \text{Eq. 2.10}$$

A unidade de potência elétrica é o volt-ampère (V.A). 1,0 V.A corresponde a 1 J/s, e essa unidade recebe a denominação de watt (W), em homenagem ao físico e engenheiro escocês James Watt (1736-1819), um dos responsáveis pela Revolução Industrial.

### 2.8.1 Potência aparente

A potência aparente é composta de duas parcelas, a potência reativa ( $VA_r$ ) e a potência ativa (W). A potência reativa é a parcela transformada em campo magnético, que é necessária para reatores, transformadores e motores. A potência ativa é a parcela que representa o trabalho realizado. “Corresponde ao produto entre tensão eficaz ( $U$ ) e a corrente eficaz ( $i$ ) em um dipolo elétrico. Representa a "utilização" do



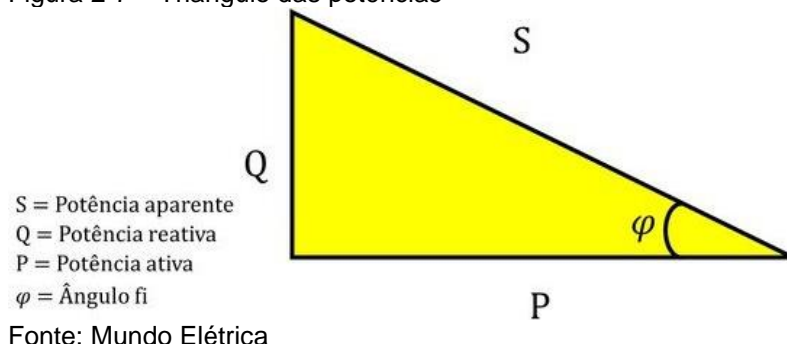
sistema elétrico, equivalente à potência média que seria transmitida para tensões e correntes senoidais e em fase.” (ANEEL, 2015).

O quociente da potência aparente, que tem a mesma forma da potência elétrica, pela potência ativa é chamado de Fator de potência, ou seja, a eficácia, ou porcentagem de potência transformada em trabalho. Para cargas puramente resistivas, como o chuveiro elétrico e a lâmpada incandescente, o Fator de Potência é 1, então toda potência aparente é transformada em trabalho.

$$\text{Fator de Potência} = \frac{\text{Pot. Ativa}}{\text{Pot. Aparente}} \quad \text{Eq. 2.11}$$

Essas potências, principalmente quando se trabalha com corrente alternada, podem ser relacionadas através de um triângulo, denominado Triângulo das Potências (Figura 2-7).

Figura 2-7 – Triângulo das potências



Utilizando a relação trigonométrica do cosseno do ângulo  $\varphi$ , relacionando a Eq. 2.11, temos:

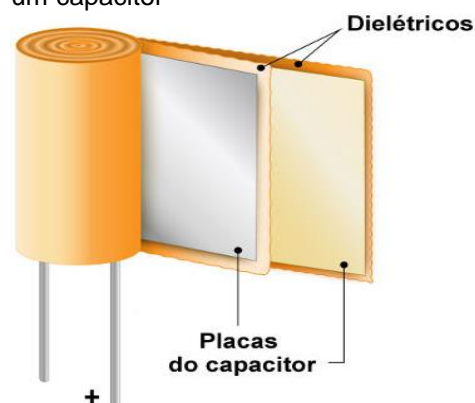
$$\cos(\varphi) = \frac{P(\text{Pot. Ativa})}{S(\text{Pot. Aparente})} \quad \text{Eq. 2.12}$$

$$\cos(\varphi) = \text{Fator Potência} \quad \text{Eq. 2.13}$$

## 2.9 Capacitância

Capacitores são dispositivos eletrônicos muito utilizados em circuitos elétricos, e tem como principal função o armazenamento, ou acúmulo, de carga elétrica (Figura 2-8). Os modelos mais simples são compostos por duas placas paralelas separadas por um material dielétrico, ou seja, um material isolante.

Figura 2-8 – Representação interna de um capacitor



Fonte: Mundo Educação

Por serem armazenadores de carga elétrica, os capacitores são perigosos na montagem e manutenção de circuitos elétricos, pois mesmo com um aparelho desligado, pode haver carga acumulada no capacitor, e o mau manejo do circuito pode gerar descarga elétrica em quem o manipula.

Quando aplicada uma voltagem  $V$ , em um capacitor, a capacitância ( $C$ ) estará relacionada com o acúmulo de quantidade de carga elétrica  $Q$ , do dispositivo. Ela é expressa, por definição, pela seguinte relação:

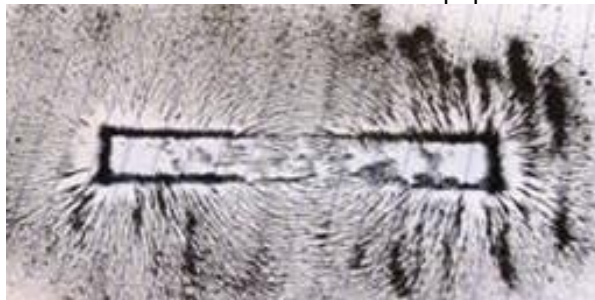
$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{Eq. 2.14}$$

a unidade de capacitância no SI é Coulomb por Volt, ou Farad (F), em homenagem ao físico inglês Michael Faraday (1791-1867).

## 2.10 O Campo magnético

Assim como a carga elétrica é capaz de modificar as propriedades do espaço onde ela é colocada, criando uma região de influência elétrica ao seu redor, a qual denominamos de campo elétrico, um ímã também possui essa característica, e a essa região de influência magnética do ímã, damos o nome de Campo Magnético. Esse campo pode ser verificado experimentalmente por Michael Faraday, que propôs um experimento em que uma folha de papel, apoiada em um ímã, e sobre esta folha seria espalhada limalha de ferro, o desenho formado por esta limalha seriam as linhas do campo magnético gerado pelo ímã, as quais Faraday chamou de linhas de força do campo magnético. (Figura 2-9).

Figura 2-9 – Campo magnético formado por limalhas de ferro sobre uma folha de papel



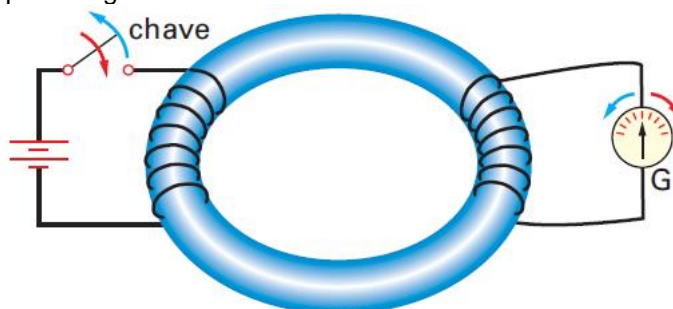
Fonte: Brasil Escola

## 2.11 Indução eletromagnética

Segundo Gaspar (2013), “Desde que Oersted, em 1820, descobriu que uma corrente elétrica gera um campo magnético, a simetria das relações entre o magnetismo e a eletricidade levaram os físicos a acreditar na proposição inversa: se a corrente elétrica num condutor gera um campo magnético, então um campo magnético deve gerar uma corrente elétrica”.

Faraday, em 1831, acreditando, na época, que a corrente elétrica era um fluido, supôs que algum tipo de variação no campo magnético poderia gerar uma corrente elétrica, então ele executou o seguinte experimento: utilizando-se de duas bobinas separadas no mesmo anel de ferro (Figura 2-10), onde em uma das bobinas, foi ligada uma bateria gerando assim uma corrente elétrica nesta bobina. Na outra bobina, Faraday aproximou uma bússola e percebeu um movimento no ponteiro da bússola que logo voltava a posição inicial. No momento em que ele ligava a bateria, e também no momento que desligava a bateria, a agulha da bússola se movia na direção aposta e voltava depois à posição inicial.

Figura 2-10 – Representação do experimento de Faraday, que ele liga duas bobinas a um anel de ferro



Fonte: Gaspar (2013, p. 181)

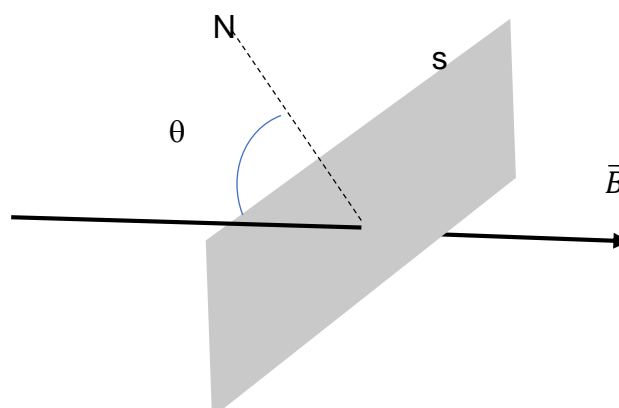
O resultado do experimento de Faraday confirmou a hipótese apresentada anteriormente, de que campo magnético pode gerar corrente elétrica e esse fato levou à descoberta do fenômeno da Indução eletromagnética.

## 2.12 Fluxo do campo magnético

“O fluxo do campo magnético está relacionado ao número de linhas de campo magnético que atravessam determinada superfície de área  $S$  (Figura 2-11).” (GASPAR, 2013, p. 182). O Fluxo Magnético ( $\phi_B$ ), por definição, pode ser representado pela seguinte equação:

$$\phi_B = BS \cdot \cos \theta \quad \text{Eq. 2.15}$$

Figura 2-11 – Campo atravessando uma superfície



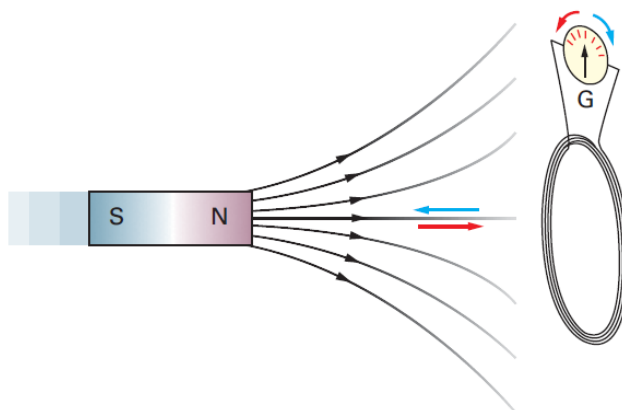
Fonte: Elaborada pelo autor

onde  $B$  é o módulo do campo magnético que atravessa a superfície  $S$ , e o ângulo  $\theta$ , é o ângulo entre a direção do campo magnético e a normal ( $N$ ) da superfície (Fig. 2-11). Quando a superfície está paralela às linhas de campo magnético, o ângulo  $\theta$  é  $90^\circ$ , como o cosseno de  $90^\circ$  é 0, então não há fluxo magnético, e quando a superfície está ortogonal as linhas do campo, o fluxo do campo magnético é máximo.

No experimento de Faraday (Figura 2-10), a corrente elétrica é gerada na bobina quando há variação do fluxo do campo magnético no anel de Ferro. Outro experimento em que pode ser visualizado esse efeito, é quando se utiliza um ímã e uma bobina, na qual pode ser observada a presença de uma corrente elétrica. Quando o ímã se encontra em repouso, na presença da bobina, observa-se que nenhuma corrente elétrica se manifesta na bobina, é necessário se aproximar ou se afastar o

ímã da bobina para que o ponteiro do medidor se mova, conforme a Figura 2-12, ou seja, é necessária a variação do fluxo do campo magnético na bobina, ocasionada pelo movimento do ímã, para o aparecimento da corrente elétrica.

Figura 2-12 – Experimento utilizando um ímã e uma bobina para gerar corrente elétrica



Fonte: Gaspar (2013, p. 181)

### 2.13 A Lei de Faraday

O gerador é um agente capaz de realizar trabalho sobre determinada quantidade de portadores de carga elétrica durante algum tempo, e faz com que esses portadores adquiram uma energia potencial elétrica diretamente proporcional que transportam: quanto maior o trabalho, maior a quantidade de carga movimentada. (GASPAR, 2013, p. 120)

Força eletromotriz ( $\varepsilon$ ) é a constante de proporcionalidade entre o trabalho ( $\tau$ ) e a quantidade de carga ( $\Delta q$ ) citada por Gaspar.

$$\varepsilon = \frac{\tau}{\Delta q} \quad \text{Eq. 2.16}$$

Faraday, concluiu, tomando como base a relação em que movimentação de ímã-bobina induz uma corrente elétrica na bobina, então também há uma força eletromotriz induzida. “A força eletromotriz ( $\varepsilon$ ) induzida numa espira é diretamente proporcional à variação de fluxo magnético ( $\Delta\phi_B$ ) que a atravessa e inversamente proporcional ao intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) em que essa variação ocorre”, e esta é a Lei de Faraday, que matematicamente pode ser descrita como:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad \text{Eq. 2.17}$$

Se a bobina tiver N espiras, esta fórmula pode ser escrita como:

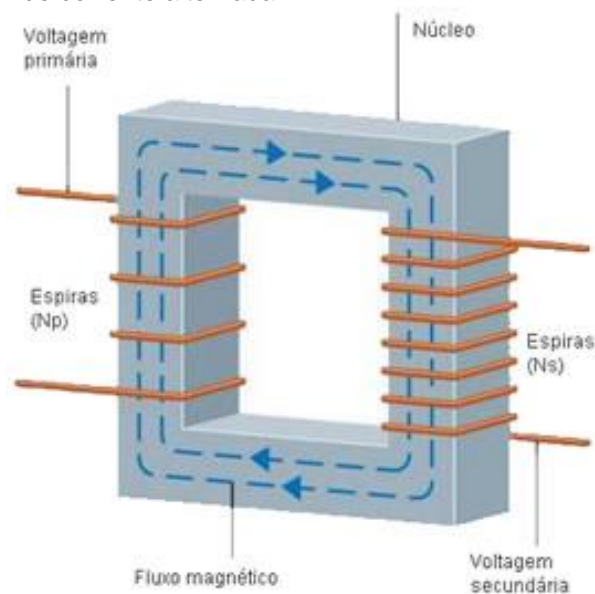
$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \quad \text{Eq. 2.18}$$

o sinal negativo nesta equação está relacionado com a Lei de Lenz (1804-1865), a qual afirma que: “A corrente induzida surge num sentido tal que produz um fluxo induzido em oposição à variação do fluxo indutor que lhe deu origem”. Alguns autores se referem à Lei de Faraday, como Lei de Faraday-Lenz

## 2.14 O transformador de tensão alternada

Os transformadores de tensão alternada são equipamentos que permitem com que determinado valor de tensão alternada seja elevado ou rebaixado para outro nível de tensão, dependendo da conveniência. O transformador de tensão consiste em um núcleo metálico em que em um de seus extremos é enrolada uma bobina chamada de bobina primária, com  $N_p$  espiras, e no outro extremo, outra bobina é enrolada com  $N_s$  espiras, a chamada bobina secundária (Figura 2-13). Quando aplicada uma tensão alternada no enrolamento primário, a corrente irá induzir um fluxo magnético no núcleo metálico segundo a lei de Faraday-Lenz, que por sua vez, irá induzir uma corrente na bobina secundária.

Figura 2-13 – Esquema de um transformador de corrente alternada



Fonte: Mundo educação

A relação entre as tensões e o número de espiras nas bobinas seguem a seguinte equação:

$$\frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s} \quad \text{Eq. 2.19}$$

a relação entre as correntes nas bobinas e o número de espiras segue o mesmo princípio:

$$\frac{I_p}{N_p} = \frac{I_s}{N_s} \quad \text{Eq. 2.20}$$

onde  $V_p$  e  $V_s$  são as tensões nas bobinas primária e secundária, respectivamente, sendo  $I_p$  é a corrente no enrolamento primário e  $I_s$  a corrente elétrica no enrolamento secundário.

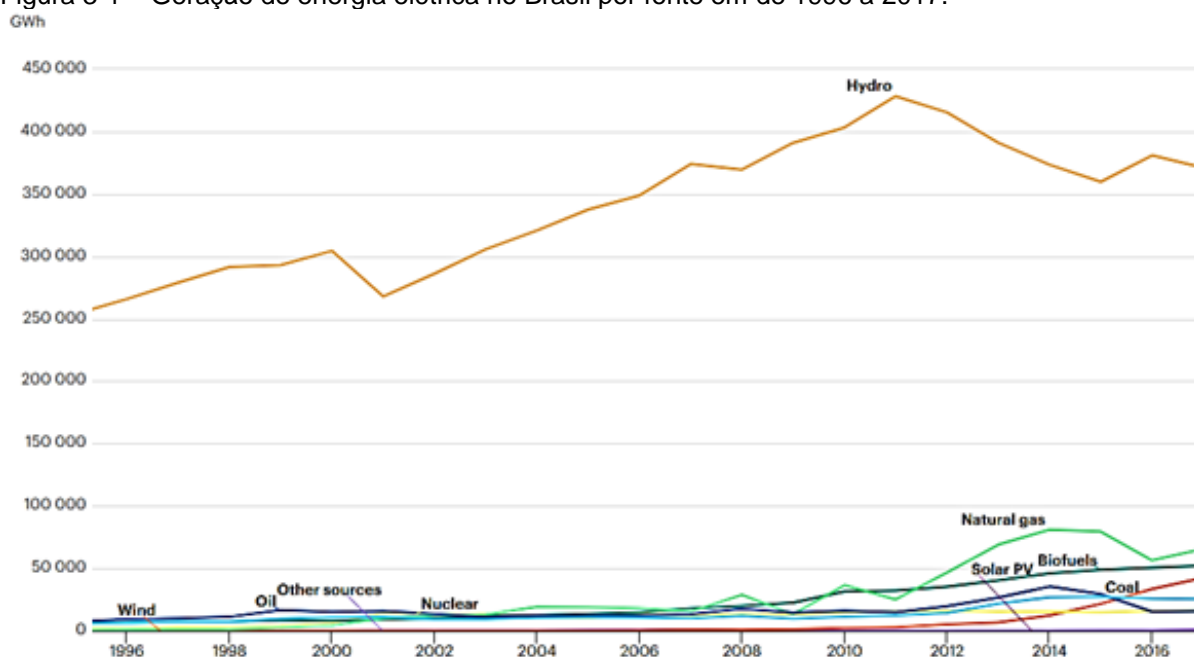
### **3 A GERAÇÃO E A DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Neste capítulo buscaremos explicar sobre a geração de energia elétrica, e sua distribuição até grandes centros de consumo, utilizando como base o Brasil com suas peculiaridades como a grande disponibilidade hídrica para geração de energia, e também as longas distancias entre a geração e os polos de consumo, tratando como um país tão extenso distribui energia para todas as regiões.

#### **3.1 A Energia Elétrica**

Segundo o site da empresa Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), “A facilidade de transporte de eletricidade e seu baixo índice de perda energética durante conversões incentivam o uso da energia em grande escala no mundo todo, inclusive no Brasil”. A geração de energia elétrica no Brasil, é feita em grande escala através das usinas hidrelétricas, devido aos rios espalhados pelo território visto como fontes abundantes desta matriz energética. Aproximadamente, 371.000 GWh, foi a energia gerada a partir de hidrelétricas no Brasil em 2017, segundo o site da *International Energy Agency* (IEA) (Figura 3-1).

Figura 3-1 – Geração de energia elétrica no Brasil por fonte em de 1996 a 2017.



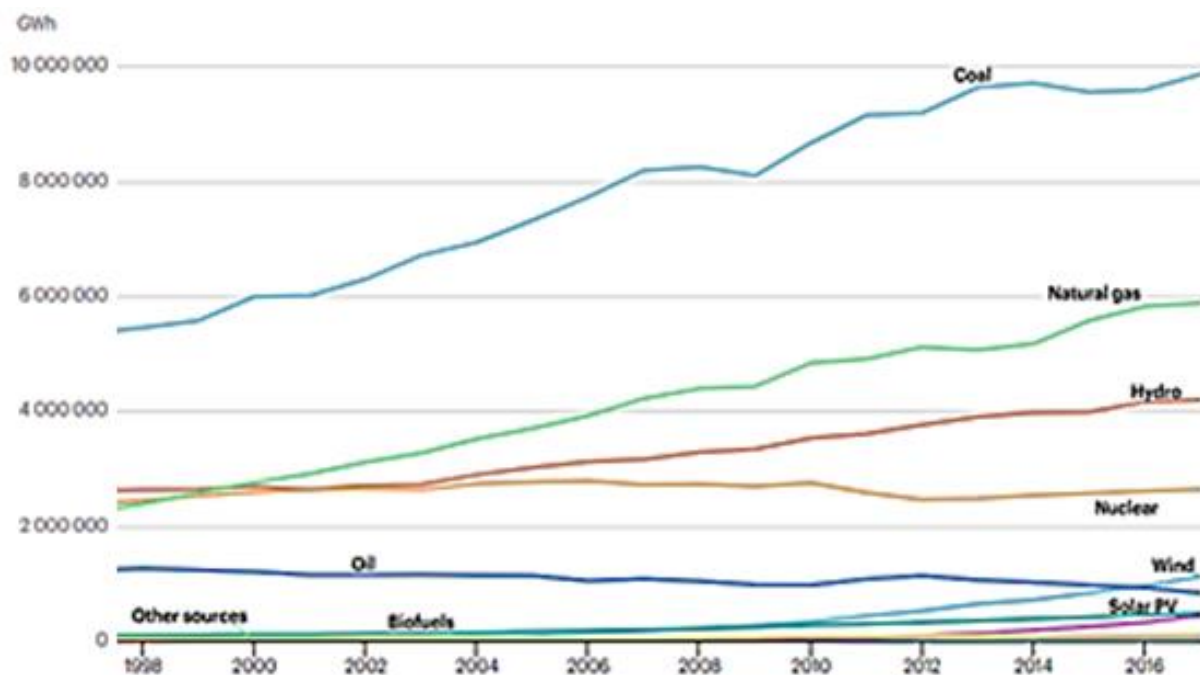
Fonte: *International Energy Agency (IEA)*

No cenário mundial, o carvão é a matéria prima dominante na geração de energia elétrica, e as hidrelétricas ficam na terceira colocação, tendo sido ultrapassadas pelo gás natural no final do século passado, conforme mostra a Figura 3-2. Além das fontes de energia elétrica já citadas, também é válido citar outras fontes que tem relevância no mundo, como o petróleo, a energia nuclear, a biomassa, a eólica, a solar, a geotérmica, a marítima e o biogás.

No ano de 2016 o Brasil produziu 82% de sua energia elétrica decorrente de fontes de energia renováveis, muito superior ao mundo que produziu apenas 24% de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Isto ocorre devido a principal matriz energética do país ser as hidrelétricas, além da crescente utilização de energia eólica naquele ano. No primeiro semestre de 2019 a geração de energia solar cresceu 132,69% em relação ao mesmo período do ano anterior, segundo o site da ABSOLAR (2019), que continua afirmando que o aumento na procura desta forma de energia, se deve a queda nos seus custos e o aumento do valor da conta de luz.



Figura 3-2 - Geração de energia elétrica no mundo por fonte de 1998 até 2017

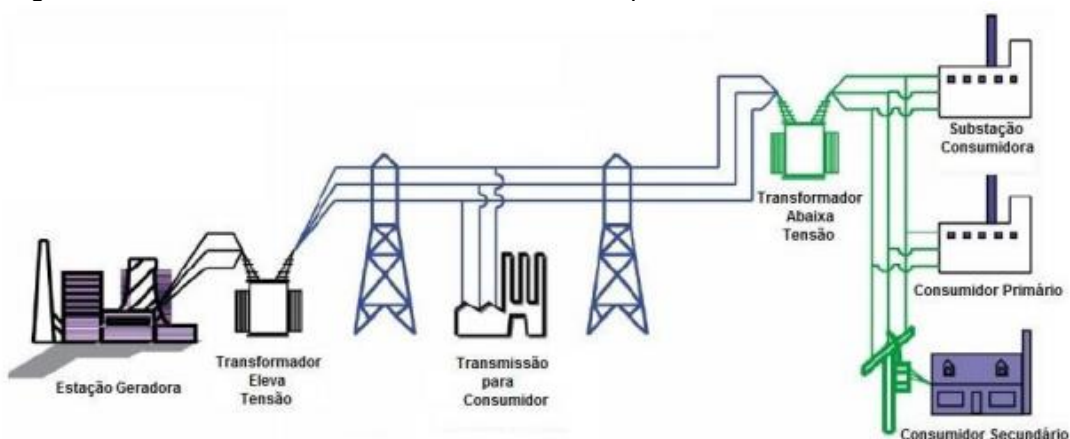


Fonte: *International Energy Agency (IEA)*

### 3.2 O Sistema Elétrico de Potência (SEP)

“Um sistema elétrico de potência (SEP) é constituído por usinas geradoras, linhas de alta tensão de transmissão de energia e sistemas de distribuição.” (CERA, 2006, p. 1). O SEP consiste no processo que se inicia na geração de energia elétrica em usinas geradoras, até o consumo da energia, seja residencial, comercial ou Industrial. Este sistema pode ser dividido em 4 etapas: a geração, a transmissão, a distribuição e o consumo (Figura 3-3).

Figura 3-3 – Estrutura básica do Sistema elétrica de potência



Fonte: Mesquisa, 2013, p. 16

### 3.3 A geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas

A construção de usinas hidrelétricas se aproveita de desníveis naturais dos cursos dos rios, nas quais, quando construídas formam uma represa que se utilizam da alta pressão formada pela água, e esta passa por tubos com alta velocidade que giram as pás da turbina ligadas a um gerador, transformando assim, a energia mecânica da água em energia elétrica (Figura 3-4).

É interessante deixar claro que as usinas não gastam água para gerar energia, ela apenas usa o fluxo de água para fazer a turbina girar e gerar energia, fazendo com que a água do rio que entra de um lado, saia do outro, sem que haja perda ou contaminação, sendo assim, considerada uma fonte de energia limpa.

Figura 3-4 – Usina hidrelétrica de Tucuruí localizada no Pará



Fonte: Observatórios dos Direitos e Políticas Indigenistas (OBIND)

Quando há um período de chuvas e o nível da água sobe, as represas abrem suas comportas para despejarem o excesso de água. Algumas represas são feitas a partir de desvios de rios, feitos somente para a construção dessas hidrelétricas, fazendo assim que o curso do rio natural não sofra alterações. Algumas usinas contam com um sistema de transposição de peixes para que estes passem de um lado a outro da barragem sem ter que passar diretamente por ela, como é o caso da usina hidrelétrica de Belo Monte (Figura 3-5).

Figura 3-5 - Sistema de transposição de peixes da usina hidrelétrica de Belo Monte



Fonte: UHE Belo Monte

Apesar de ser considerável uma matriz energética renovável, a construção de usinas hidrelétricas traz diversos problemas ambientais, principalmente durante sua construção. O principal problema é a inundação da área em torno da barragem e, conseqüentemente, a perda da fauna e flora da região, além do que, com a morte de árvores, estas ficam depositadas no fundo do rio, e também há mudança climática local, a morte e extinção de peixes. Outros problemas que têm que ser levados em conta na construção dessas usinas, são os problemas sociais, como, por exemplo, pessoas que tem de ser realojadas com a construção, e também as cidades próximas sofrem com o despreparo para receber pessoas que irão trabalhar na barragem, o que muda a forma de vida das pessoas que moravam na cidade.

### 3.3.1 O Gerador

Quando a água gira as turbinas, no interior do gerador há um alternador, cuja função é transformar energia mecânica proveniente da água em energia elétrica. O alternador é composto de um Estator e um Rotor. A turbina é ligada ao rotor que tem como função induzir um campo magnético no estator, através do fenômeno de indução eletromagnética. “O rotor tem a função de formar um campo magnético que tem como resultado a produção de corrente elétrica. Ele é constituído de um eixo de aço com uma bobina enrolada no interior” (DO CARMO; SIMEÃO, 2018, p. 3) (Figura 3-6).

Figura 3-6 – Exemplo de rotor de um alternador



Fonte: Do Carmo; Simeão, 2018

Já o estator é um conjunto de bobinas isoladas ligadas a um conjunto de placas de aço, que necessitam de um campo magnético, que será fornecido pelo rotor, para gerar corrente elétrica (Figura 3-7). Esta corrente é alternada, que antes de ir para a distribuição, passa por um transformador cuja função é aumentar a tensão e potência para que a energia possa ser transmitida a longas distâncias através das linhas de transmissão. Estes transformadores que elevam a tensão são chamados de transformadores de potência (Figura 3-8). A tensão elétrica obtida na saída de um gerador elementar, o modelo mais simples, com uma espira, pode ser obtido, utilizando-se a Lei de Faraday, como será mostrado abaixo. Quem produz o movimento da espira é a turbina, cuja rotação está associada com o movimento das águas do rio. A espira está conectada a dois anéis coletores, os quais fazem a conexão com o circuito externo, onde a tensão C.A é obtida. Se usarmos a Lei de Faraday, teremos:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad \text{Eq. 3.1}$$

onde o fluxo na espira é dado por  $\phi_B = B \cdot S \cdot \cos\theta$ . O ângulo  $\theta$  está relacionado com a velocidade angular  $\omega$  da espira por  $\theta = \omega \cdot t$ . Podemos então escrever:

$$\varepsilon = -\frac{d[B \cdot S \cdot \cos(\omega t)]}{dt} \quad \text{ou, } \varepsilon = -B \cdot S [-\omega \cdot \text{sen}(\omega t)], \quad \text{Eq. 3.2}$$

o que dá:

$$\varepsilon(t) = B.S\omega.\text{sen}(\omega t) \quad \text{Eq. 3.4}$$

e, como B, S e  $\omega$  são constantes, podemos escrever, finalmente:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \text{sen}(\omega t), \quad \text{Eq. 3.5}$$

onde,  $\varepsilon(t)$  é a tensão na saída do gerador e  $\varepsilon_m$ , seu valor máximo.

Figura 3-7 – Exemplo de estator de um alternador



Fonte: Do Carmo; Simeão, 2018

Figura 3-8 – Transformadores de Itaipu em teste



Fonte: WEG, 2009



### 3.4 Transmissão de energia

A segunda etapa do SEP é a transmissão, que após a energia elétrica passar pelo transformador para elevar sua tensão, é enviada por longas distancias através de torres de metal (Figura 3-9) para centros de consumo. “Decorrida a travessia de longas distâncias sob a forma de alta tensão, superior a 100 quilovolts (kV), para mitigar a perda de energia que ocorre na transmissão de longa-distância.” (CEIB, 2019, p. 111)

Figura 3-9 – Torres de transmissão utilizadas para transportar energia elétrica a longas distâncias



Fonte: Centro de Inovação para a Educação Brasileira (CIEB)

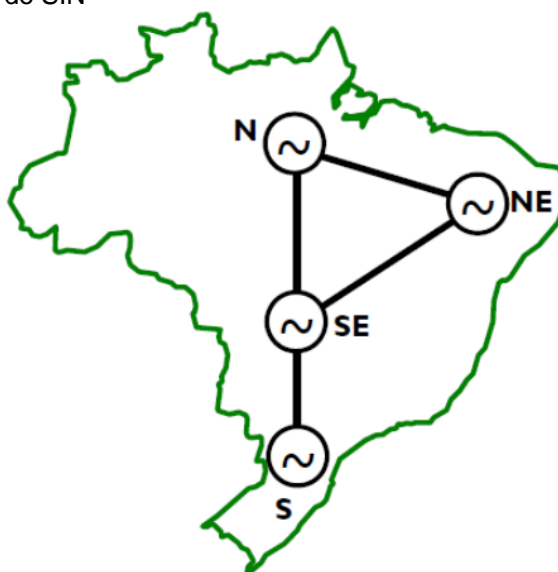
Para manter uma Potência Elétrica constante, visto que a tensão nessas transmissões a longas distancias são aumentadas, os níveis de correntes elétricas são abaixados, conforme a equação da potencia elétrica (Eq. 2.10), esse processo tem como objetivo diminuir o Efeito Joule e, conseqüentemente, a perda de potência. Visto que essa mitigação é feita para reduzir os custos, não é possível alternar a resistividade do fio condutor, aumentando sua espessura, por exemplo, segundo a formula da Segunda Lei de Ohm, pois acarretaria em aumento de gastos essas transmissões.

O que ocorre é que em corrente alternada, as perdas joule não são as únicas presentes na linha de transmissão. À medida que o comprimento da linha se estende, as reatâncias capacitivas e indutivas presentes na linha em função da corrente aumentam, impondo perdas significativas e fazendo necessária a instalação de bancos de capacitores e indutores para controle de reativos na rede de transmissão. (Mesquita, 2013, p. 27)

A rede de transmissão brasileira tem como base o Sistema Interligado Nacional (SIN), que segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é um sistema de produção e transmissão hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas, constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a Norte (Figura 3-10). Apenas 1,7% da produção energética do país, está fora do SIN.

“A Rede Básica de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), que compreende as tensões de 230 kV a 750 kV, tem como principais funções: (i) a transmissão da energia gerada pelas usinas para os grandes centros de carga; (ii) a integração entre os diversos elementos do sistema elétrico para garantir estabilidade e confiabilidade da rede; (iii) a interligação entre as bacias hidrográficas e regiões com características hidrológicas heterogêneas de modo a otimizar a geração hidrelétrica; e (iv) a integração energética com os países vizinhos.” (EPE, 2017)

Figura 3-10 – Esquema dos quatro subsistemas do SIN



Fonte: MENEZES, 2015

A ONS é responsável por controlar e coordenar as operações de instalação de geração e transmissão de uma malha que chega a quase 135 mil km de extensão (Figura 3-11). Dentre as vantagens de se utilizar o SIN, podemos citar: a diminuição de riscos de interrupção de energia elétrica; a variação na utilização de fontes de energia, que aumenta a eficiência e reduz os custos da geração de energia; outros usos para os reservatórios (controle de cheias, navegação, irrigação, etc.); aproveitamento da sazonalidade das diferentes regiões; e o ganho de energia firme, que é a energia que pode ser produzida em períodos críticos, como secas.

Figura 3-11 – Mapa dinâmico das linhas de transmissão do SIN



Fonte: ONS, 2020

### 3.5 Subestações de energia

Segundo Muzy (2012), “Subestação é um conjunto de equipamentos industriais interligados entre si com os objetivos de controlar o fluxo de potência, modificar tensões e alterar a natureza da corrente elétrica assim como garantir a proteção do sistema elétrico”. Muzy também explica, que as subestações podem ser classificadas de diversas formas: quanto ao nível de tensão; quanto à relação entre os níveis de tensão de entrada e saída; quanto à função ao sistema elétrico global; quanto ao tipo de instalação; e quando ao tipo construtivo de equipamentos.

As subestações que se localizam próximas ao gerador, são classificadas como subestações elevadoras (quanto à relação entre os níveis de tensão de entrada e saída) e de transmissão (quanto à função ao sistema elétrico global), este tipo de subestação eleva a tensão e conseqüentemente diminuindo a corrente, para evitar a perda, e para que a energia possa ser transportada a longas distancias, como já explicado anteriormente.

As subestações que são construídas nos centros urbanos, são as abaixadoras, que segundo Muzy (2012), são utilizadas para diminuir os níveis de tensão evitando inconveniências para a população (rádio interferência, campos magnéticos intensos e faixas de servidão muito grandes), além de fornecer os circuitos de distribuição que abastecem a região (Figura 3-12).



Figura 3-12 – Subestação do Independência ou Subestação de São Brás, Belém



Fonte: O Liberal, 2019

### 3.6 A distribuição de energia para grandes centros consumidores

A distribuição de energia para os consumidores é realizada a partir de subestações, seja um prédio, uma loja ou uma residência, esta, seria a terceira etapa do Sistema Elétrico de Potência. “Inúmeros são os tipos de redes de distribuição de energia elétrica, sendo que muitas vezes estes se encontram em circuitos mistos, acarretando diversas combinações entre redes de baixa e média tensão, variando principalmente com as concessionárias de energia elétrica nos diferentes estados brasileiros e com as necessidades e condições locais.” (VELASCO, 2003, p. 7). Os 4 tipos básicos de redes de distribuição são: a rede de distribuição aérea convencional (RDA); a rede de distribuição aérea compactada (RDP), ou rede protegida; a rede de distribuição aérea isolada (RDI); e a rede de distribuição subterrânea (RDS).

A rede de distribuição aérea convencional (RDA), foi desenvolvida há 70-80 anos sendo assim, defasada; são de baixo custo, porém de pouco nível de confiabilidade, seus fios condutores não são isolados ocorrendo diversos acidentes, qualquer contato, como árvores por exemplo, ocasiona o desligamento da rede, tendo assim um alto custo de manutenção que vai desde o religamento à poda de árvores (Figura 3-14).

Segundo Velasco (2003), a rede de distribuição aérea compacta (RDP), é também suportada por postes, como a RDA, porém seus fios da rede secundária (fiação que transporta energia elétrica de 127 V e 220 V) é isolada utilizando cabos multiplexados, e a rede primária (fiação que transporta energia elétrica de 11,9 V e 13,8 V) é constituída por três condutores cobertos por uma camada de polietileno reticulado, sustentados por um cabo mensageiro de aço, que, por sua vez, sustenta

espaçadores de plásticos instalados a cada 8 a 10 metros; também se utiliza espaçadores de baixa tensão quando estas são de cabo nu (Figura 3-14).

Figura 3-13 – Imagens da RDA (acima) e RDP (abaixo)



Fonte: Albani; Goulart, 2017, p.36-37

Sobre a rede de distribuição aérea isolada de média tensão (RDI), o manual de procedimentos de redes de distribuição da Eletrobrás (2012) explica que este tipo de rede utiliza três condutores: isolados, blindados, e multiplexados em torno de um cabo mensageiro de sustentação. Devido ao pleno isolamento da rede, todas as conexões são feitas por acessórios especiais acopláveis entre si, assegurando um sistema "totalmente isolado".

A rede de distribuição subterrânea (RDS) é a menos utilizada no Brasil, por ser de alto custo, porém de maior vida útil, com uma projeção de 20 anos a mais de utilização que as redes aéreas. São utilizadas em cidades como Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, e tem como vantagens a não preocupação em relação a construção de casas e árvores, além do fator estético e da redução significativa da interrupção da rede por fatores externos.

Essas redes de distribuição levarão a energia elétrica até os transformadores secundários próximos as casas, cuja função é abaixar a tensão para níveis entre 127 V e 308V para a utilização doméstica.

## 4 O CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA

A última etapa do Sistema Elétrico de Potência é o consumo, onde a energia chega ao seu destino para ser utilizada em aparelhos domésticos, máquinas industriais ou iluminação. A etapa de consumo pode se referir a grandes e pequenas indústrias, comércio e residencial, e dependendo do setor a qual a energia será direcionada, ela terá uma tensão maior, para casos como indústrias e comércio, e menor para o caso residencial. Na continuidade deste trabalho, iremos focar na utilização da energia elétrica domiciliar, ou residencial, analisando seus principais componentes.

### 4.1 O medidor de energia elétrica

Em 2013 a companhia Centrais elétricas do Pará (Celpa) optou pela substituição do medidor de energia elétrica no poste para instalar nas casas individualmente (Figura 4-1).

A Celpa vai adotar um novo padrão de ligação de energia elétrica no estado que vai substituir o famoso "olhão", aparelho que fica instalado nos postes de energia. Para facilitar o controle do consumo de energia nas casas, os medidores serão instalados em caixas individuais, fixadas nos limites das propriedades das residências, em postes, na mureta ou na própria parede da casa. (G1, 2013)

Figura 4-1 – Caixa protetora do medidor de energia



Fonte: Fotografia do autor

Por ser individual, podemos considerar o medidor de energia como o primeiro item da etapa de consumo residencial, visto que, a energia do poste passa diretamente por ele, para a medição do consumo residencial. Segundo a Equatorial Energia Pará, empresa responsável pela distribuição de energia elétrica no estado do Pará, existem três modelos de medidores de energia (Figura 4-2): o de ponteiros, o ciclométrico e o digital. A Equatorial explica em seu site como utilizar o medidor para verificar a utilização do consumo de energia diário, fazendo a comparação de um dia para outro.

Figura 4-2 – Tipos de medidores de energia elétrica



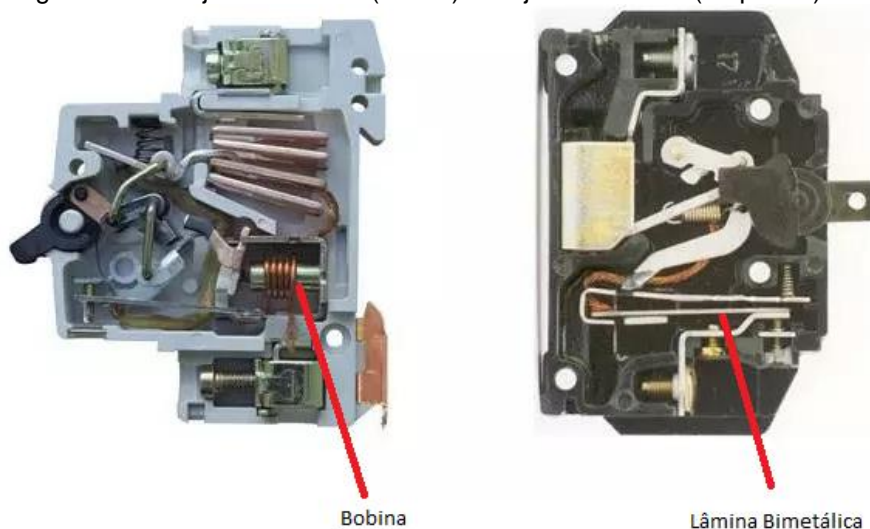
Fonte: Equatorial Energia Pará, 2020

Na caixa protetora também há um disjuntor, cuja função é de evitar picos de corrente e curto-circuito elétrico, proporcionando uma segurança para o sistema elétrico. O disjuntor apresenta a mesma função que um fusível, com a vantagem de ter maior durabilidade, visto que os fusíveis são descartáveis. Toda a corrente elétrica que é recebida na residência, passa pelo disjuntor. Também conhecido como “chave”, os disjuntores tem uma composição mecânica, sendo desligados automaticamente quando há um problema no sistema, e podem ser religados, ou rearmados, quando o problema for resolvido. Os principais tipos de disjuntores são os térmicos, os magnéticos e os termomagnéticos (Figura 4-3).

Os disjuntores térmicos se aproveitam de sua composição mecânica, em que uma lâmina bimetálica se deforma quando sofre uma alta temperatura decorrente de um pico de energia através do efeito Joule. Essa lâmina bimetálica é formada por dois metais de pontos de fusão diferentes. Quando submetida a temperaturas elevadas, ela se curva, desarmando o disjuntor e evitando a passagem de corrente elétrica. A deformação da lâmina pode ocorrer com o tempo, por isso os disjuntores térmicos não apresentam uma grande precisão, não protegendo, assim, de curto-circuito.

Nos disjuntores magnéticos, a corrente elétrica passa por uma bobina, que ao receber um pico de corrente ou curto-circuito, gera um campo magnético que movimenta um pistão no interior da bobina desarmando a chave instantaneamente. São mais precisos porém mais caros.

Figura 4-3 – Disjuntor elétrico (direita) e disjuntor térmico (esquerda)



Fonte: Mundo Elétrica, editada pelo Autor

Já os disjuntores termomagnéticos, utilizam-se dos dois sistemas, a corrente passa através de uma bobina e de uma lâmina bimetálica, ambas tendo a capacidade de desligar o sistema.

## 4.2 O sistema elétrico residencial

Segundo Silva (2011), no planejamento do sistema elétrico de um imóvel, leva-se em consideração a necessidade de iluminação e de tomadas, sejam elas para o uso específico (TUE) ou para o uso geral (TUG). Essa diferenciação parte de que a fiação elétrica dos sistemas de iluminação é ligada diretamente a fiação geral, e que as tomadas são utilizadas para diversos aparelhos, alguns necessitando de mais corrente elétrica ou uma tensão maior para o seu funcionamento.

A norma brasileira de Instalações elétricas de baixa tensão, ABNT NBR 5410, de 2004, estabelece condições para as instalações elétricas de baixa tensão garantindo a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da estação e conservação dos bens, sendo estas aplicadas a edificações, sejam elas, residenciais, comerciais, públicas, industriais, etc., e também a áreas descobertas e

externas. Para a continuidade deste trabalho, tomaremos como base a ABNT NBR 5410, para a aplicação do sistema de iluminação e de instalação de tomadas nos capítulos posteriores.

#### **4.2.1 O sistema de iluminação**

A ABNT NBR 5410 prevê que em cada cômodo ou dependência deve haver pelo menos um ponto fixo de luz no teto comandado por interruptor podendo ser substituído por um ponto na parede em espaços sob escadas, depósitos, despensas, lavabos e varandas, sendo estes de pequenas dimensões, onde colocar a luz no teto não seja possível ou não conveniente. Para os demais espaços a Norma Brasileira de instalações elétricas de baixa tensão, prevê o uso de cargas de iluminação seguindo os critérios listados abaixo:

- a) Em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m<sup>2</sup>, deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- b) Em cômodos ou dependências com área superior a 6m<sup>2</sup>, deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6m<sup>2</sup> acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m<sup>2</sup> inteiros.

#### **4.2.2 As tomadas para o uso geral e específico**

Segundo Silva (2011) que segundo o Manual de Instalações Elétricas Residencial Procobre (2003), “as tomadas de uso geral (TUG) são aquelas que não se destinam à ligação de nenhum equipamento específico e que são utilizadas para ligação de aparelhos portáteis ou móveis, e as tomadas de uso específico (TUE) são aquelas destinadas à ligação de equipamentos fixos e estacionários”. A ABNT NBR 5410 descreve o número de pontos de tomada seguindo os critérios:

- a) em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório;
- b) em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, sendo que acima da

bancada da pia devem ser previstas no mínimo duas tomadas de corrente, no mesmo ponto ou em pontos distintos;

- c) em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada;
- d) em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;
- e) em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:
  - um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m<sup>2</sup>. Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo de sua porta de acesso;
  - um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m<sup>2</sup> e igual ou inferior a 6 m<sup>2</sup>;
  - um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m<sup>2</sup>, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

Sobre a potência destes pontos de tomada, a Norma Brasileira afirma que a potência da tomada deve estar em função ao aparelho a qual ela destina, não podendo ter valores mínimos inferiores aos seguintes critérios:

- a) em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente. Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;
- b) nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por ponto de tomada.

O aquecimento elétrico de água ou chuveiro elétrico deve ser ligado diretamente a fiação elétrica, sem a utilização de tomadas, segundo a norma.



Silva (2011), encerra indicando a instalação do número de tomadas superior ao mínimo de aparelhos para evitar benjamins e extensões, fontes de desperdícios de potência. As tomadas têm uma potência limitada, o uso de vários aparelhos através de extensões em uma mesma tomada pode acarretar em curto-circuito. A utilização de benjamins pode ocasionar um sobreaquecimento no mesmo, visto que o uso de vários aparelhos em uma tomada não preparada, faz com que o excesso de corrente elétrica, aqueça os benjamins ocasionando acidentes domésticos. Além do uso errôneo de adaptadores em tomadas de 10 A para aparelhos que necessitam de uma maior corrente, ocasionando a danificação da tomada ou do adaptador.

### **4.3 O padrão brasileiro de Plugues e Tomadas**

Até 2011 o Brasil tinha 12 tipos de plugues e oito tipos de tomadas diferentes segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), o qual alerta para que a falta de padronização fazia com que os consumidores utilizassem adaptadores de baixa qualidade sendo assim um risco a sua segurança. “Com a criação do Padrão Brasileiro de Plugues e Tomadas, o nosso mercado passa a comercializar apenas dois modelos de plugues e tomadas. Nele, os plugues possuem dois ou três pinos redondos e as tomadas três orifícios de 4 mm ou 4,8 mm” (INMETRO, 2011).

O Inmetro diz que os plugues de três pinos são utilizados em aparelhos que necessitam de aterramento (como: ar-condicionado, refrigeradores, computadores, etc.), uma vez que o terceiro pino realiza a ligação com o fio terra, evitando que o consumidor sofra um choque elétrico ao ligar aparelhos que estejam em curto-circuito. As tomadas tem um formato em poço, para dificultar o contato acidental com a corrente elétrica além de melhorar o acoplamento do plugue com a tomada além da diferença do tamanho dos orifícios de 4mm para aparelhos que operam até 10 A e 4,8 mm para os que operam entre 10 e 20 A (Figura 4-4).



Figura 4-4 – O padrão brasileiro de plugues e tomadas a partir de 2011



Fonte: Inmetro, 2011

É importante ressaltar que não há um padrão internacional ou mundial de plugues e tomadas, então cada país indica qual padrão utiliza.

Os outros dois orifícios de tomada são o Fase e o Neutro, nos quais a diferença de potencial entre os dois é a Tensão Elétrica da tomada, também conhecido como Voltagem. No Brasil as tensões mais comuns são as de 127 V e 220 V, a tensão de 110 V foi substituída pela de 127 V. É importante entender o aparelho no qual está se utilizando a tomada para não ocorrer danificação do produto, visto que um aparelho que opere a 127 V será danificado se ligado em uma tomada de 220 V, e caso ocorra o contrário, o aparelho não irá ter tensão suficiente para seu funcionamento. Também há aparelhos que operam nas duas voltagens, conhecidos como bivolts.

#### 4.4 Fontes de aparelhos eletrônicos

As tomadas fornecem energia elétrica em corrente alternada (CA) de alta voltagem, como já explicado anteriormente, porém, alguns aparelhos necessitam de energia em baixa tensão, tais como computadores, notebooks e carregadores de celular (Figura 4-5).

Figura 4-5 – Rótulo de informações de um carregador de celular



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Figura 4-5, podemos ver as informações sobre energia de entrada na linha *Input* (em português, entrada), informando a tensão de 100-240 V, sendo assim um carregador bivolt, o qual atua em ambas as voltagens fornecidas pelas tomadas. Na linha *Output* (em português, saída), informa a tensão de 5 V, a mesma voltada para o cabo USB, além do símbolo informando a corrente contínua como mostrado na Figura 4-6.

Figura 4-6 – Simbologias de Corrente Alternada e de corrente contínua



Fonte: Blog Nova Eletrônica

Nota: AC e DC está em inglês, que corresponde a *Alternating Current* (AC, em português, corrente alternada) e *Direct Current* (DC, em português, corrente contínua).

A opção por esse tipo de carga é simples por se tratar de cargas sensíveis, que podem ser encontradas tanto em ambientes residenciais (equipamentos eletrônicos domésticos), comerciais (equipamentos eletrônicos de escritórios, bancos e redes de lojas) como industriais (CLP - controle de processos, ADS - controle de velocidade). O que essas cargas têm em comum é que dependem de uma fonte da alimentação, responsável por adequar a energia suprida pela rede CA (50 ou 60 Hz), na forma monofásica, bifásica ou trifásica, em CC para alimentar os componentes das cargas eletrônicas dedicadas (SED). (LUNA, 2005, p. 28)

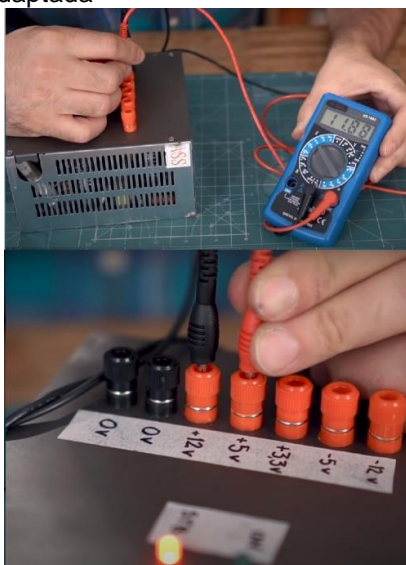
As fontes desses aparelhos eletrônicos têm como objetivo, fazer essa conversão de CA para CC. Uma fonte de computador, por exemplo, fornece energia elétrica em diversas faixas de tensões, dependendo do seu uso, que no caso dos

computados, podem servir para alimentar a placa mãe, os *leds* que iluminam o gabinete, os *coolers*, ou ventoinhas que ajudam a manter a temperatura dos componentes. A fonte ATX (*Advanced Technology Extended*), utilizada em computadores domésticos, fornece diferentes tensões que podem ser identificadas pelas cores dos fios, segundo o site Athos Electronics:

- a) Preto: 0v (terra);
- b) Laranja: +3,3 V;
- c) vermelho: +5 V;
- d) Amarelo: +12 V;
- e) Azul: -12 V;
- f) Marrom: 0 V;
- g) Verde: utilizado para ligar a fonte, quando em contato com um fio terra
- h) Cinza: ligar *led* para indicar que a fonte está ligada
- i) Roxo: ligar *led* para indicar que a fonte está em *Stand-by*, ou modo de espera.

O canal do Youtube, Manual do mundo, adaptou uma fonte deste modelo para uma fonte de bancada (Figura 4-7), visto que com a combinação dos fios, podemos alcançar tensões desejadas, muito importantes para aulas de laboratórios, por exemplo

Figura 4-7 – Uma fonte de computador adaptada



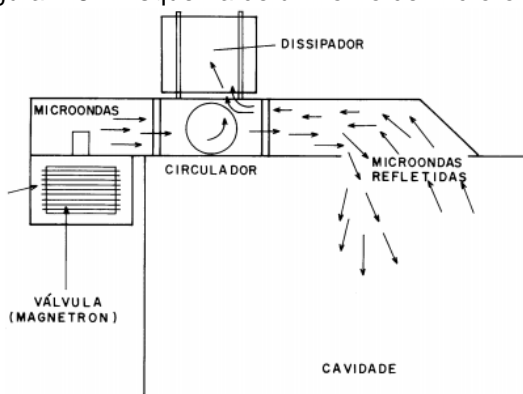
Fonte: Canal do Youtube, Manual do Mundo (2019)

#### 4.5 O forno de micro-ondas

Com relativa presença nas residências, o forno micro-ondas muito utilizado para aquecer alimentos com vantagem sobre o fogão em relação ao tempo, com uma diferença de mais de 30 minutos no tempo de cozimento de uma batata, por exemplo, e em laboratórios, o forno de micro-ondas pode ser utilizado para preparar amostras, esterilização de materiais, secagem de vidrarias, etc. O aquecimento deste forno, dependerá fundamentalmente da constante dielétrica e da frequência de relaxação do material, segundo Barboza *et al.* (2001, p. 901), tendo um aquecimento seletivo diferentemente dos fornos convencionais, assim, alimentos que não tem contato direto com o forno de micro-ondas se mantem à temperatura inicial.

O “coração” do forno de micro-ondas é uma válvula (magnetron) que gera micro-ondas. Ela consiste de um dispositivo sob vácuo, que converte energia elétrica em micro-ondas. Uma diferença de potencial constante é aplicada entre o ânodo (que é um cilindro circular oco) e o cátodo. Os elétrons são acelerados do cátodo para o ânodo, mas a presença de um forte campo magnético (produzido por um eletroímã colocado entre os dois polos) faz com que os elétrons descrevam uma trajetória curva e sigam um caminho em espiral, produzindo radiofrequência (RF). Posteriormente, por um mecanismo mais complexo, ocorrerá a emissão de ondas eletromagnéticas por uma antena colocada diretamente sobre o ânodo. As ondas produzidas serão guiadas por um guia de onda até a cavidade contendo o material a ser aquecido. As paredes metálicas do forno absorvem muito pouco da energia. A maior parte é refletida e dissipada em um dispositivo (*dummy load*), que evita que as MO danifiquem a válvula. Um esquema de um forno de MO está apresentado na Figura 4-8.

Figura 4-8 – Esquema de um forno de micro-ondas



Fonte: Barboza *et al.* (2001, p. 902)

## 4.6 O aparelho de ar condicionado

“O ano de 2019 foi o mais quente já registrado no país, com uma média de temperatura máxima (diurna) de 31,05 °C, de acordo com dados divulgados em fevereiro pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet)” (Pesquisa FAPESP, 2020). Nessas condições de altas temperaturas diárias em que o brasileiro se encontra, faz-se necessário a utilização de climatizadores, no caso do Brasil, o ar-condicionado é muito utilizado no interior de prédios e estabelecimentos comerciais. Em residências ainda não tão utilizado devido ao alto custo de energia elétrica. Ele está presente em apenas 5% das residências segundo a revista Abril em 2014.

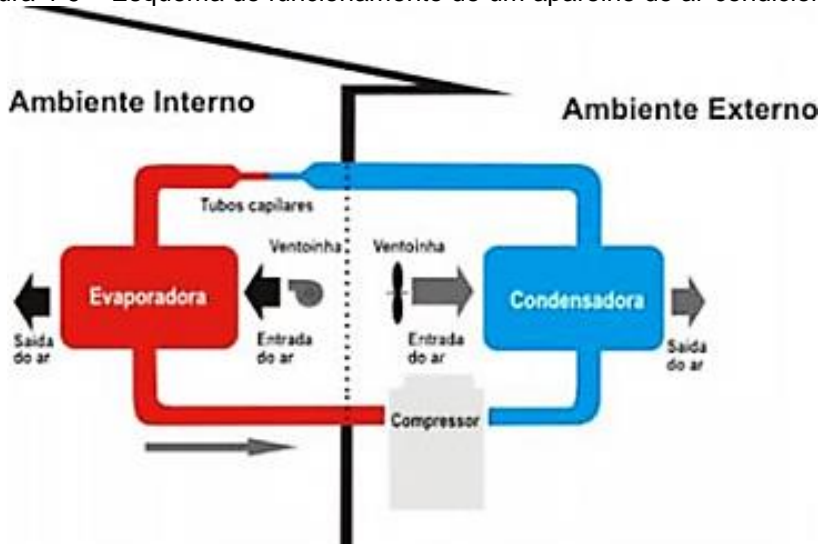
Fortes, Jardim e Fernandes (2015) explicam que o aparelho de ar condicionado realiza a troca de temperatura do ambiente, através da passagem do ar pela serpentina do evaporador que por contato sofre a queda de temperatura baixando a umidade relativa do ar. O aparelho também conta com um sensor de temperatura que desliga o compressor para que a temperatura do ambiente interno se mantenha, e ao sofrer a variação de temperatura, com as trocas de calor com o ambiente externo, o compressor é acionado novamente para a manutenção da temperatura.

Os quatro componentes principais do ar condicionado são: ventilador, responsável pela sucção do ar do ambiente interno para o interior do aparelho; o compressor, responsável pela circulação do gás refrigerante no interior do sistema; o condensador, responsável pela troca de calor do gás com o ambiente externo; evaporador (Figura 4-9).

A operação de refrigeração convencional dos aparelhos de ar condicionado consiste primeiramente no ar do ambiente interno sendo sugado por um ventilador, atravessando o evaporador e passando em volta de serpentina que contém gás refrigerante à temperatura de 7°C e em estado líquido. Em contato com a serpentina, o ar se resfria e volta para o ambiente interno. Ao absorver o calor do ar (troca de calor), o gás que estava líquido muda de estado e torna-se gás, posteriormente passando pelo compressor que comprime o gás até que, sob alta pressão, ele se torne um gás quente, a 52 °C. O gás, então, entra em outra serpentina, na parte externa do aparelho, o Condensador. Trocando calor com o ambiente externo, o gás reduz em temperatura. Desta maneira, ele se torna líquido novamente mesmo antes de chegar aos 7°C, pois está sob alta pressão. Finalmente, o gás entra em uma

válvula de expansão, onde o líquido perde pressão rapidamente, fazendo com que o gás se resfria até os 7°C que o mantém em estado líquido. (FORTES; JARDIM; FERNANDES, 2015, p. 5-6)

Figura 4-9 – Esquema do funcionamento de um aparelho de ar-condicionado



Fonte: Fortes; Jardim; Fernandes (2015, p. 6)

O ar quando passa pela serpentina do evaporador, sofre mudança de temperatura, e é condensado gerando água que é escoada por tubos. O compressor e o ventilador são os componentes consumidores de energia elétrica do aparelho.

A capacidade de resfriamento do aparelho de ar condicionado é medida em BTUs (*British Thermal Unit*), sendo necessários 9000 BTUs para resfriar um ambiente com até 12m<sup>2</sup> e 24000 BTUs para um ambiente de até 32m<sup>2</sup>, segundo o site Dufrio. A Figura 4-10 exemplifica o consumo de energia elétrica baseado em BTUs

Figura 4-10 – Potência do ar condicionado baseado na quantidade de BTUs que o aparelho possui

Ar condicionado	Potência (watts)	Dias	Consumo		Valor com impostos
			Horas/dias	kWh/mês	
7.500 BTUs	1.000	30	8	240	R\$ 184,55
10.000 BTUs	1.350	30	8	324	R\$ 249,15
12.000 BTUs	1.450	30	8	348	R\$ 267,60
15.000 BTUs	2.000	30	8	480	R\$ 369,11
18.000 BTUs	2.100	30	8	504	R\$ 387,56

Fonte: Dufrio (2020)

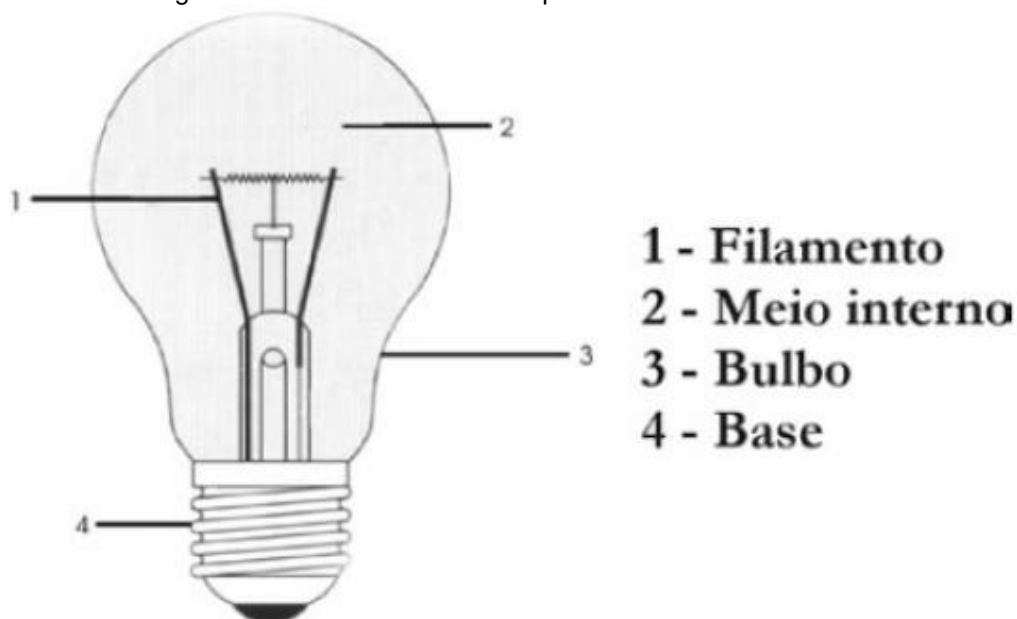
Nota: A Figura 4-10 considera o valor do kWh de R\$ 0,74, esse valor pode variar de estado para estado, logo o preço final também varia.

#### 4.7 As lâmpadas incandescente, fluorescente e de LED

O sistema de iluminação residencial se utiliza de três modelos principais de lâmpadas: a incandescentes, a fluorescente e a de LED. A quantidade de pontos fixos de luz a ser colocados em um cômodo já foi visto no Capítulo 4.2.1.

A lâmpada incandescente (Figura 4-11) utiliza o efeito Joule para aquecer um filamento de tungstênio trefilado, e assim iluminar o ambiente. O filamento, anteriormente se encontrava em meio a vácuo, hoje se encontra em meio gasoso – uma mistura de argônio e nitrogênio, e em alguns casos criptônio – separado do meio externo pelo bulbo de vidro. A lâmpada contém um sistema de base rosqueável para o contato elétrico (BASTOS 2011, p. 9).

Figura 4-11 – Partes de uma lâmpada incandescente



Fonte: Bastos, 2011, p. 9

“As lâmpadas incandescentes são lâmpadas de descarga de baixa pressão, onde a luz é produzida por pó fluorescente que é ativado pela radiação ultravioleta da descarga” (Bastos, 2011, p.13). A região interna do bulbo é coberta com o pó fluorescente ou fósforo, que determinam a quantidade de luz e também a cor da luz emitida, sendo também utilizada em abajures para decoração. Elas podem ser tubulares, circulares ou compactas (Figura 4-12), sendo esta últimas as mais utilizadas em residências.

No bulbo de modelo tubular e longo há um filamento e em seus extremos contém vapor de mercúrio em baixa pressão, para facilitar a execução utiliza uma pequena quantidade de gás inerte. O gás de baixa pressão passa a conduzir eletricidade, quando a lâmpada é ligada a uma corrente elétrica. O choque das moléculas de mercúrio com os elétrons produz a ionização das moléculas, quando a ionização termina os gases voltam ao seu estado de início e emitem fótons com a frequência de luz visível. (ROCHA, 2016, p. 14)

Figura 4-12 – Modelos de lâmpadas fluorescentes compactas



Fonte: Bastos, 2011, p. 15

A vida média de uma lâmpada fluorescente varia entre 3000 horas e 15000 horas dependendo do modelo, sendo uma vantagem em relação ao modelo incandescente que tem uma vida média de apenas 1000 horas. Em 2016 os últimos modelos de lâmpadas incandescentes deixaram de ser vendidas no Brasil, o governo federal entendeu que elas não atendiam as exigências máximas de consumo e mínimas de eficiência, sendo assim foi feito um cronograma de banimento que se iniciou em 2012, segundo o site EBC.



“Os leds são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível” (BASTOS, 2011, p. 16). Eles são vantajosos pela sua eficiência de 100 lumens por watts, e também pelo seu tamanho reduzido (Figura 4-13). Além de serem utilizadas em e iluminação de tetos, elas são utilizadas para personalização de computadores domésticos e também são vendidas em fitas para a decoração, também podem ser controladas remotamente as suas intensidades e coloração.

Figura 4-13 – Modelo de lampada de Led



Fonte: Amazon

#### 4.8 As contas de energia

Para calcular a conta de energia em uma residência e entender o consumo, é importante saber o consumo de um aparelho, afinal a conta de energia, ou conta de luz, será a soma da energia, em kWh consumido de todos os aparelhos eletrônicos e as lâmpadas do sistema de iluminação no mês.

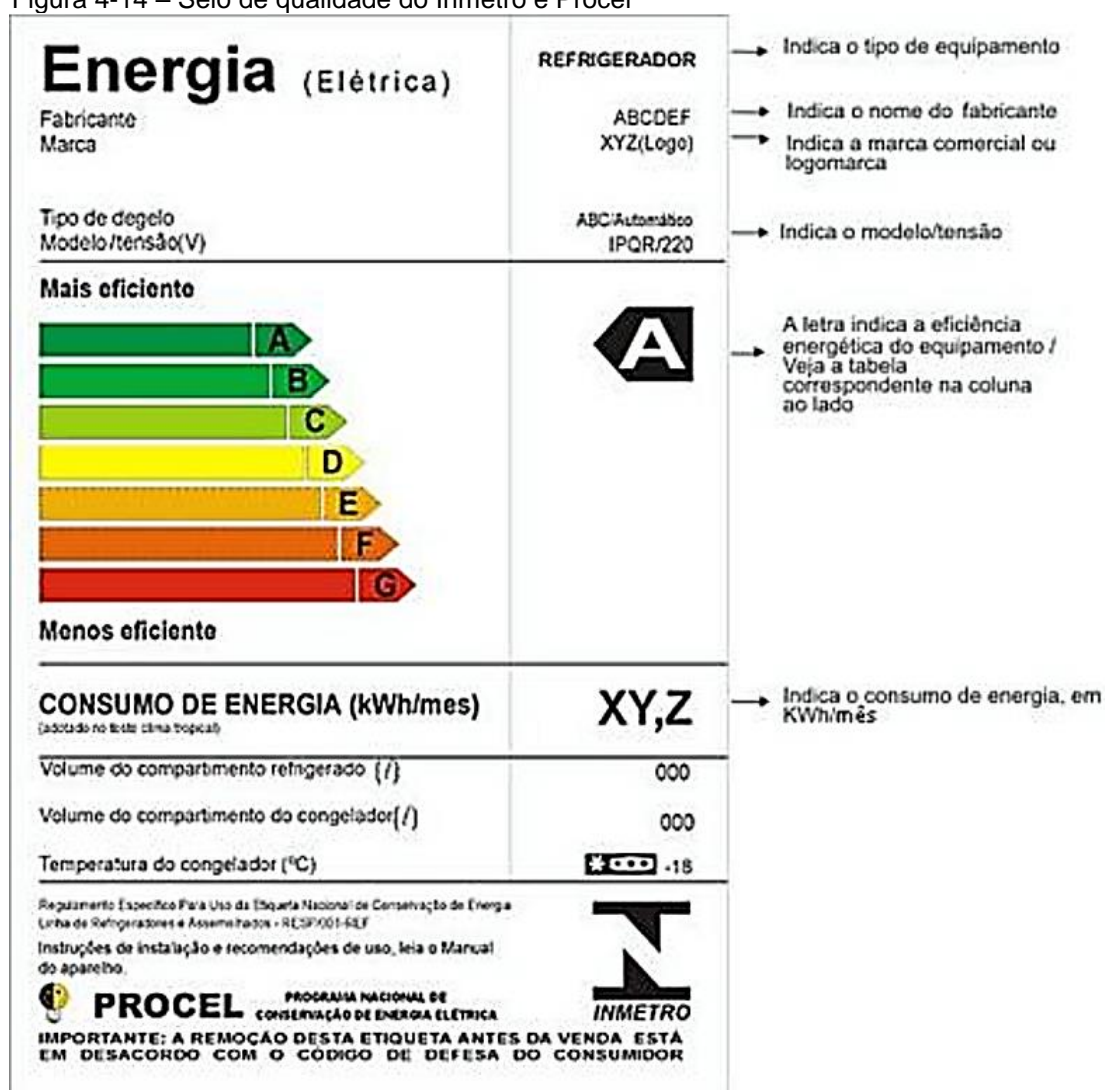
A Figura 4-10 explicita a potência do aparelho de ar condicionado baseado na sua capacidade de resfriamento, quanto maior o BTU, maior sua potência. Tomando como base o ar condicionado de 12000 BTUs, com potência de 1450 W, sendo utilizado 8 horas por dia, durante 30 dias, podemos aplicar a Equação 4-1:

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{potencia(watts)} \times \text{tempo(horas)} \times \text{dias de uso}}{1000} \quad \text{Eq. 4.1}$$

a equação é dada por 1000, visto que o consumo é medido de quilowatts-hora, e a potência fornecida pelos aparelhos são em watts.

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e o do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) tem um selo que tem como principais informações: o consumo de energia em kWh/mês, não sendo necessário calcular o consumo de todos os equipamentos elétricos; e a eficiência energética do equipamento, que contém uma classificação vai de A ao G, sendo A o mais eficiente e G, o menos eficiente (Figura 4-11).

Figura 4-14 – Selo de qualidade do Inmetro e Procel



Fonte: Extra (2019)

A Equatorial Energia é responsável pelo fornecimento de energia para o estado do Pará, em seu site, explica como se ler a fatura de energia com ênfase no Demonstrativo de Faturamento (Figura 4-12).

Figura 4-15 – Demonstrativo de faturamento da conta de energia elétrica

Demonstrativo de Faturamento			
Fornecimento	Quantidade	Tarifa	Valor (R\$)
Consumo	197	0,428477	84,41
Benefício Tarifário Bruto			36,17
Adicional Band. Amarela			1,21
<b>Itens Financeiros</b>			
Juros			0,22
Multa			1,33
CIP - Ilum. Púb. Pref. Munic.			1,00
Benefício Tarifário Líquido			-33,15
<b>Total a pagar: R\$</b>			<b>91,19</b>

**REAVISO DE VENCIMENTO**  
 Você possui contas em atraso.  
 Confira sua situação abaixo.

Fonte: Equatorial Energia Pará

Na Figura 4-12, a quantidade demonstra o consumo de energia elétrica em kWh e na tarifa é demonstrado o preço do kWh em reais, esse valor pode mudar de estado para estado. Retornando ao exemplo do ar condicionado de 12000 BTUs, sabendo que seu consumo mensal é de 348 kWh, com uma tarifa de R\$ 0,42, o valor do consumo desse aparelho seria de R\$ 146,16 por mês. Para calcular o valor total do consumo residencial basta multiplicar o consumo pela tarifa.

$$\text{Valor(R\$)} = \text{Consumo(kWh)} \times \text{Tarifa(R\$)} \quad \text{Eq. 4.2}$$

é importante frisar que no valor final são adicionadas as tributações e adicional de bandeira, sendo este em função das condições de geração de eletricidade, segundo a Equatorial Energia, podendo ser as seguintes bandeiras:

- bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,013 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,041 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,062 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Estes valores não estão acrescidos de impostos.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampla utilização de energia elétrica no mundo se dá pelo seu baixo custo, facilidade de transporte e pouco desperdício durante as conversões. No Brasil os benefícios crescem em função dos seus muitos rios espalhados pelo território, onde são instaladas as usinas hidrelétricas responsáveis pela geração de 70% de energia elétrica consumida no país, tendo 3 das 10 maiores usinas do mundo.

Mesmo sendo o 5º maior país em extensão do mundo, o Brasil é capaz de transportar energia elétrica pelo seu território, com o seu Sistema Integrado Nacional (SIN), responsável por 98% das malhas de transmissão de energia elétrica, sendo considerada segura e confiável.

Seu sistema de distribuição utilizando-se de subestações, postes e transformadores, varia de acordo com a região, sendo defasado, não confiável e inseguro, em alguns lugares, e em outros mais caros, porém seguros como a Rede de distribuição Subterrânea (RDS).

O consumo domiciliar de energia elétrica, é segunda maior fonte de uso de toda a energia elétrica gerada no país, perdendo apenas para a indústria. O uso diário de energia elétrica e a necessidade que temos dela, motivou a elaboração deste trabalho, para uma melhor compreensão da instalação do sistema elétrico residencial e de iluminação. Permitiu também, compreender e conhecer melhor a utilização dos aparelhos elétricos domiciliares, assim como as medidas associadas com a segurança da residência e do consumidor, ao utilizar ou fazer a instalação de um aparelho ou componente elétrico, como um disjuntor ou uma tomada.

## REFERÊNCIAS

ALBANI, Katia; COSTA, Lorene. **REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA: COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE A REDE CONVENCIONAL E A COMPACTA NA REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DE UMA CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA**. 2017, 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

ALKIMIN, Stanley; LUIS, Manuel. Procedimento para descrição adequada das características de transformadores para instrumento para aplicação no setor elétrico. In: THE 9th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE, 2011, Mar del Plata.

AMAZONIA: índios Assurini relatam à justiça 40 anos de danos da Usina de Tucuruí. **Observatórios dos Direitos e Políticas Indigenistas (OBIND)**, 5 mai. 2018. 1 fotografia. Disponível em: <http://obind.eco.br/2018/05/05/amazonia-indios-assurini-relatam-a-justica-40-anos-de-danos-da-usina-de-tucuruí/>. Acesso em: 28 jan. 2021.

AURÉLIO, Marco. O transformador de tensão. **Mundo educação**. Goiânia, [201-]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-transformador-tensao-1.htm>. Acesso em: 27 jan. 2021.

BANDEIRAS tarifárias. **Equatorial Energia**, Belém, [2019]. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/minha-fatura-de-energia/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

BARBOZA, Ana Claudia *et. al.* Aquecimento em forno de micro-ondas: desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Quim. Nova**, Campinas, v. 24, n. 6, p. 901-902, mai. 2001.

BASTOS, Felipe. **ANÁLISE DE POLÍTICA DE BANIMENTO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES DO MERCADO BRASILEIRO**. 2011, 130 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético, COPPE) – Universidade do Rio de Janeiro, 2007.

BENTZ, Nádia. **ESTUDO SOBRE CRITÉRIOS PARA A ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES ELEVADORES DE ESTAÇÕES GERADORES**. 2007, 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétrica) – Universidade de São Paulo, 2007.

CARGAS elétricas. **Só física**. [S. l.], [201-]. Disponível em: <https://www.sofisica.com.br/conteúdos/Eletromagnetismo/Eletrstatica/cargas.php>. Acesso em: 02 dez. 2020.

CALLISTER, William. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 436 p.

CELPA vai adotar novo padrão de ligação de energia elétrica. **G1 Pará**, Belém, 29 mar. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2013/03/celpa-vai-adotar-novo-padrao-de-ligacao-de-energia-eletrica.html>. Acesso em: 17 dez. 2020

CERA, Luiz. **Fundamentos de sistema elétrico de potência**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria de Física, 2006. 208 p.

COMO ler meu medidor. **Equatorial Energia**, Belém, [2019]. 1 fotografia. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/como-ler-meu-medidor/>. Acesso em: 19 dez. 2020.

COSTA, Ana Clara; CARRERA, Marília. Meu ar condicionado, minha vida. **Veja**, São Paulo, 9 fev. 2014. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/meu-ar-condicionado-minha-vida/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

CUSTO real do eletrodoméstico vai além do preço na etiqueta. **Extra**, Rio de Janeiro, 25 nov. 2019. Disponível em: <https://extra.globo.com/economia/como-economizar/custo-real-do-eletrdomestico-vai-alem-do-preco-na-etiqueta-24099818.html>. Acesso em: 03 fev. 2021.

DA FONSECA, Marcelo. Primeira hidrelétrica do país foi construída em Minas há mais de 100 anos. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 18 mai. 2013. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/05/18/interna\\_gerais,389704/primeira-hidreletrica-do-pais-foi-construida-em-minas-ha-mais-de-100-anos.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/05/18/interna_gerais,389704/primeira-hidreletrica-do-pais-foi-construida-em-minas-ha-mais-de-100-anos.shtml). Acesso em: 03 fev. 2021.

*DATA and statistics. International Energy Agency (IEA).* [2020]. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?> Acesso em: 12 abr. 2020.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: Fundamentos e métodos.** 5. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

DO CARMO, Geraldo; SIMEÃO, Juliano. Alternadores: uma fonte eficiente de energia automotiva. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2018, Maceió.*

ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA. Instalação básicas de redes de distribuição protegidas. **Manual de procedimentos de redes de distribuição**, Cachoeirinha, v. 00, p. 4-7, 29 mai. 2012.

ENERGIA solar cresce 134,97% a mais no primeiro trimestre de 2019 do que em 2018. **Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR)**, São Paulo, 20 mai. 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-cresce-13497-a-mais-no-primeiro-trimestre-de-2019-do-que-em-2018.html>. Acesso em: 12 abr. 2020.

FIM da venda das lâmpadas incandescentes tem efeitos no bolso e na natureza. **Empresa Brasil de Comunicação (EBC)**. Brasília, 07 jul. 2016. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/tecnologia/2016/06/saida-das-incandescentes-tem-efeitos-no-bolso-e-na-natureza>. Acesso em: 10 mai. 2021

FIORAVANTI, Carlos. 2019 foi o ano mais quente já registrado no Brasil. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, 10 mar. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2019-foi-o-ano-mais-quente-ja-registrado-no-brasil/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

FONTES. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)**, [2018 ou 2019]. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/fontes](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes). Acesso em: 02 nov. 2020.

FONTE ATX de bancada: o guia definitivo. **Athos eletronic**, [S. l.], [201-]. Disponível em: <https://athoselectronics.com/fonte-atx-de-bancada/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

FORTES, Pedro; JARDIM, Patrick; FERNANDES, Juliana. Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar condicionado. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGET, 7., 2015, Resende: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB), 2015, p. 5-6.

FURTADO, Victor. Operários já estão reparando subestação de São Brás. **Oliberal**. Belém, 08 jan. 2019. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.oliberal.com/belem/oper%C3%A1rios-j%C3%A1-est%C3%A3o-reparando-subesta%C3%A7%C3%A3o-de-s%C3%A3o-br%C3%A1s-1.48196>. Acesso em: 16 dez. 2020.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física 3**: Eletromagnetismo e física moderna. 2. ed. São Paulo: Editora Ática, 2013. 152-185 p.

GOUVEIA, Rosimar. Leis de Ohm. **Toda matéria**, [S. l.], [201-]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/leis-de-ohm/>. Acesso em 04 dez. 2020

GRANDEZAS elétricas: volts, ampere, ohms e watts. **Nova eletrônica**, [S. l.], [201-]. 1 figura. Disponível em: <http://blog.novaeletronica.com.br/grandezas-eletricas/>. Acesso em: 02 fev. 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 3**: Eletromagnetismo. 4. ed. [S. l.]: LTC, 1984. 352 p.

LUNA, Ernesto. **UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE VTCDS APLICADO A EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS ALIMENTADOS POR CONVERSOR CA-CC**. 2005, 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MAPA dinâmico do SIN. **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)**. Rio de Janeiro [2020]. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 11 dez. 2020

MATTEDE, Henrique. Como funcionam os disjuntores? **Mundo da elétrica**. Belo Horizonte, [201-]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-disjuntores/>. Acesso em: 03 fev. 2021.



MATTEDE, Henrique. É possível ligar aparelhos 127v em 220v ou vice versa? **Mundo da elétrica**. Belo Horizonte, [201-]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/e-possivel-ligar-aparelhos-127v-em-220v-ou-vice-versa/>. Acesso em: 16 dez. 2020.

MATTEDE, Henrique. Fator de potência: O que é e como calcular! **Mundo da elétrica**. Belo Horizonte, [201-]. 1 figura. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/fator-de-potencia-o-que-e-como-calculiar/>. Acesso em: 16 mar. 2021.

MAPA do sistema elétrico brasileiro – configuração 2027. **ELETROBRAS**. Rio de Janeiro, 27 mar. 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Mapa%20do%20Sistema%20Eletrico%20Brasileiro%20Configuracao%202027.pdf>. Acesso em: 11. dez. 2020

MATRIZ energética e elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 6 set. 2020.

MELLIS, Fernando. “Vilões do curto-circuito”, benjamins e extensões estão em mais da metade das casas brasileiras. **Portal R7**, São Paulo, 05 mai. 2017. Disponível em: <https://noticias.r7.com/cidades/viloes-do-curto-circuito-benjamins-e-extensoes-estao-em-mais-da-metade-das-casas-brasileiras-05052017>. Acesso em 10 dez. 2020.

MELO, Aline. Como evitar acidentes com extensões, benjamins e filtros de linha. **Revista casa e jardim (Globo)**, Rio de Janeiro, 30 jun. 2020. Disponível em: <https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Dicas/noticia/2020/06/como-evitar-acidentes-com-extensoes-benjamins-e-filtros-de-linha.html>. Acesso em 10 dez. 2020

MENEZES, Victor. **LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELETRICA**: Aspectos técnicos, orçamentários e construtivos. 2015, 87 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Elétrica) – Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MINHA fatura de energia. **Equatorial Energia**, Belém, [2019]. 1 fotografia. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/bandeiras-tarifarias/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

MUZY, Gustavo. **SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS**. 2012, 122 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenheiro Eletricista) – Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NILSON, J. S. Uma abordagem histórica e experimental da Eletroestática, **Estação científica (UNIFAP)**, Amapá. v. 1, n. 1, p 99-113, 2011

O que é BTUs? Qual a potência certa para seu ar condicionado? **Dufrio**, Vila Velha, 22 fev. 2029. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/residencial/o-que-e-btus-qual-a-potencia-certa-para-seu-ar-condicionado/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

O Sistema Interligado Nacional. **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)**, Rio de Janeiro, [2020]. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 03 nov. 2020.

PADRÃO brasileiro de plugues e tomadas. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)**. 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pluguestomadas/index.asp>. Acesso em 16 dez. 2020.

PLANO decenal de Expansão de energia 2026. **Empresa de Energia Elétrica (EPE)**, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>. Acesso em 03 nov. 2020

REIS, Tiago. SIN: entenda como funciona o Sistema Interligado Nacional. **SUNO**, São Paulo, 21 set. 2020. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/sistema-interligado-nacional/>. Acesso em: 05 nov. 2020.

ROCHA, Helionay. **O IMPACTO DO DESCARTE E COMPARATIVO FINANCEIROS DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES, FLUORESCENTES E LEDS**. 2016, 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Elétrica) – Centro Universitário do Sul de Minas, 2016.

SER ELETRICISTA. O que é VOLT-AMPÈRE. [S. I.], 23 jan. 2020. Youtube: Ser eletricista. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=2kha1ckISzU&ab\\_channel=SerEletricista](https://www.youtube.com/watch?v=2kha1ckISzU&ab_channel=SerEletricista). Acesso em: 04 fev. 2021.

SILVA, Thiago. **UM ESTUDO DE NOVOS PARADIGMAS NA REALIZAÇÃO DE PROJETOS DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA RESIDENCIAL (AUTOMAÇÃO)**. 2011, 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SISTEMA Interligado Nacional: como funciona o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil? **Lumus**, [201-]. 1 fotografia. Disponível em: <https://lumusengenharia.com.br/blog/sistema-interligado-nacional-como-funciona-o-sistema-de-producao-e-transmissao-de-energia-eletrica-no-brasil/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

TABELA de consumo de ar condicionado para calcular seus gastos. **Dufrio**, Vila Velha, 11 fev. 2020. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/tabela-consumo-ar-condicionado/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

TEIXEIRA, Mariane. O que é resistência elétrica? **Brasil Escola**, Goiânia, [201-]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-resistencia-eletrica.htm>. Acesso em: 31 ago. 2020.

VELASCO, Giuliana. **ARBORIZAÇÃO VIÁRIA X SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**: avaliação dos custos, estudos das podas e levantamento de problemas fitotécnicos. 2003, 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

QUANTOS quilômetros de linha de transmissão de energia temos no Brasil? **Centro Brasileiro de Infraestrutura (CEIB)**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quantos-quilometros-de-linha-de-transmissao-de-energia-temos-no-brasil/>. Acesso em: 03 nov. 2020.