



Sala da Eletricidade

Livia Aceto Ferraz dos Santos
Antônio Carlos de Castro
Salette Linhares Queiroz

SALA DA ELETRICIDADE

Roteiro Didático 7

Lívia Aceto Ferraz dos Santos

Antônio Carlos de Castro

Salete Linhares Queiroz

Universidade de São Paulo
Centro de Divulgação Científica e Cultural
São Carlos (SP)
2021

Autores:

Lívia Aceto Ferraz dos Santos

Antônio Carlos de Castro

Saete Linhares Queiroz

Diagramação/fotografias:

José Braz Mania

Gustavo Herdeiro de Faria

Santos, Lívia Aceto Ferraz dos

S237 Sala da Eletricidade: Roteiro Didático 7 / Lívia Aceto Ferraz dos Santos; Antônio Carlos de Castro; Saete Linhares Queiroz. São Carlos, SP: USP/CDCC, 2021.

32 p.

ISBN: 978-65-993104-8-5

1. Material Didático. 2. Ciências – Estudo e Ensino. 3. Didática. 4. Educação. I. Santos, Lívia Aceto Ferraz dos, II. Castro, Antônio Carlos de, III. Queiroz, Saete Linhares.

CDD – 371.32

Catálogo elaborado por Silvelene Pegoraro - CRB-8^a/4613

APRESENTAÇÃO

O Centro de Divulgação Científica e Cultural da Universidade de São Paulo (CDCC/USP) completou 40 anos em 2020. Dentre as atividades de cultura e extensão oferecidas desde os seus primórdios, ainda na década de 1980, estão as visitas monitoradas. Estas são reconhecidas como potencialmente capazes de oferecer subsídios à realização de práticas que favorecem o entendimento de conceitos chave da ciência, assim como dos seus impactos na sociedade. No CDCC, as visitas são realizadas tendo em vista a difusão do conhecimento científico, com ênfase na educação ambiental, astronomia e física, buscando estimular a troca de informações, ideias e experiências.

Atualmente, o CDCC oferece visitas ao prédio sede, que compreende Área de Exposição de Ciências (que inclui a Sala da Eletricidade, aqui apresentada) e Quintal Agrocológico, ao Observatório Dietrich Schiel e a campo. A Trilha da Natureza da Universidade Federal de São Carlos, o Bosque Santa Marta, a Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de São Carlos e a Central de Valorização de Resíduos de São Carlos são os diferentes roteiros que compõem as visitas a campo. Os números que traduzem a participação do público nas visitas são grandiosos e incluem milhares de estudantes da Educação Básica de São Carlos, além de público espontâneo.

É com o objetivo de divulgar entre os profissionais que atuam no âmbito da educação formal e não formal de ensino aspectos relacionados às referidas visitas, tais como a natureza dos espaços percorridos e dos temas abordados, que o CDCC lança esta série de Roteiros Didáticos. A sua produção é fruto do trabalho da equipe de funcionários, monitores e estagiários, e de parcerias estabelecidas com instituições governamentais e não governamentais.

Com este Roteiro Didático, e os demais da série, grupos de educadores que prezam pelo ensino e divulgação da ciência encontram elementos para guiá-los nas suas decisões frente às abordagens de ensino a adotar antes, durante e após as visitas monitoradas de seus alunos oferecidas pelo CDCC.



Salete Linhares Queiroz
Diretora do CDCC

HISTÓRICO

O CDCC possui um vasto conjunto de artefatos que permite a realização de experimentos que são apreciados pelo público em visitas ao local e, desde a década de 1980, parte deles esteve disponível em espaço denominado de Sala da Física. Em 2012, com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Processo 559397/2009-7), este espaço foi reestruturado, passando a abordar uma temática específica: energia elétrica. Na ocasião, foi possível restaurar as janelas, confeccionar novos móveis, além de remodelar e obter artefatos que passaram a compor a exposição sobre a referida temática. De fato, uma célula fotovoltaica, um gerador eólico e uma roda d'água foram adquiridos, tendo sido dispostos na área externa do prédio. A partir de então, a denominação anterior conferida ao espaço foi substituída por Sala da Eletricidade.

Mais recentemente, em 2017, foram adicionados seis painéis à Sala da Eletricidade, cujos recursos para a construção foram provenientes do 1º Edital Santander/USP/FUSP de Fomento às Iniciativas de Cultura e Extensão. Nessa perspectiva, atualmente, a exposição referente à energia elétrica está delineada da seguinte forma: no interior da Sala da Eletricidade estão dispostos seis painéis e um conjunto de sete experimentos com potencial de comunicar conceitos envolvendo os fenômenos eletromagnéticos e consumo de energia. Na parte externa do prédio, estão dispostos três aparatos (geradores de energia solar, eólica e hidráulica), tendo em vista a promoção de discussões sobre as fontes de energia e seus impactos ambientais, bem como sobre os aspectos tecnológicos que envolvem sua aplicação.

INTRODUÇÃO

O conhecimento científico associado à eletricidade permitiu o desenvolvimento de máquinas e instrumentos responsáveis por uma revolução sem precedentes na forma como o ser humano vive e interpreta o mundo. Este conhecimento é fruto de um longo processo de aprendizagem, desencadeado, muitas vezes, a partir de simples curiosidades.

No início do século XIX, já era conhecido que um raio podia magnetizar um pedaço de ferro, no entanto, grande parte da comunidade científica era resistente a relacionar causas elétricas a efeitos magnéticos. Em 1819, Hans Oersted montou um experimento que indicava a influência da corrente elétrica na criação de campos magnéticos.

Motivado pelas descobertas de Oersted, Faraday buscou por uma influência contrária: do magnetismo na eletricidade. Em 1831, ele descreveu tal efeito nomeando-o de indução eletromagnética e demonstrou experimentalmente como ocorria a transformação de energia elétrica em energia mecânica (o princípio de funcionamento do motor). As ideias de Faraday também contribuíram para a formação dos conceitos de campo e de que partículas podem interagir à distância por meio de seus campos.

Em 1862, Maxwell, um cientista com excelente arsenal matemático e que admirava o trabalho de Faraday, publicou uma compilação aperfeiçoada do conhecimento existente sobre eletromagnetismo, resumida em quatro equações. A consolidação das leis e teorias sobre eletromagnetismo abriram caminho para o surgimento de tecnologias totalmente revolucionárias, como o telégrafo sem fio,

patenteado, em 1897, por Marconi.

Nas palavras do físico brasileiro Marcelo Gleiser, em seu livro *Dança do Universo: dos Mitos de Criação ao Big Bang*: “Embutida na formulação do eletromagnetismo encontramos uma profunda mudança no modo como a realidade física é descrita. Na física newtoniana, a realidade física é descrita em termos de partículas e forças, mas, com Faraday e Maxwell, a entidade importante na descrição da realidade física passa a ser o campo. Após a introdução do conceito de campo, a física jamais seria a mesma” (p.241).

Com a descrição dos campos eletromagnéticos se propagando à velocidade da luz, novos estudos foram conduzidos até se concluir que a natureza da luz também é ondulatória. Ou seja, a luz também pode ser compreendida como uma onda eletromagnética, gerada a partir de cargas elétricas em movimento.

A partir do século XIX, os campos elétricos e magnéticos foram utilizados para explicar fenômenos da luz, como reflexão, refração, difração e polarização. Esses conhecimentos foram fundamentais para o desenvolvimento de geradores, motores, transformadores, aquecedores, lâmpadas, telefones, rádios, televisores, computadores e todos os outros aparelhos elétricos que povoam a nossa vida.

Na Sala da Eletricidade do CDCC (Figura 1), o visitante tem contato com experimentos que tratam sobre fenômenos eletromagnéticos reais, modelados em leis fundamentais da natureza. Seu foco está nos fenômenos, e não nos objetos expostos. A apresentação dos fenômenos e do conteúdo textual, nos painéis que cercam a sala

expositiva, foi elaborada com o intuito de permitir a abordagem de tópicos relevantes da relação entre eletricidade e magnetismo, e de aplicações de efeitos eletromagnéticos. A geração, a transmissão e a distribuição da energia elétrica disponível para consumo nas indústrias, empresas e em nossas casas torna-se, assim, um objeto de reflexão, favorecendo a percepção de que as decisões que forem socialmente tomadas no futuro próximo com relação à produção e consumo da energia elétrica terão impacto profundo na vida das pessoas e na sua relação com a natureza.



Figura 1 – Visão panorâmica da Sala da Eletricidade

A visita de público espontâneo e de grupos agendados à Sala da Eletricidade ocorre com duração variável, de acordo com cada situação. Não há indicação de ordem para que se percorra a exposição, pois seus

experimentos formam uma identidade de grupo, voltada ao tratamento de fenômenos eletromagnéticos gerados por diferentes circunstâncias. Apenas um experimento é restrito à manipulação do monitor, por requerer domínio de seu funcionamento, o gerador de Van de Graaff. Todos os demais podem ser explorados a gosto pelo visitante.

OBJETIVOS DAS VISITAS À SALA DA ELETRICIDADE

- Fomentar um debate social sobre a geração e utilização da energia elétrica no cenário nacional e regional;
- Promover reflexão sobre a realidade física do eletromagnetismo em que estamos inseridos;
- Apresentar exemplos de aplicações de conceitos do eletromagnetismo no cotidiano;
- Relacionar conceitos de eletromagnetismo a outras áreas do conhecimento;
- Contribuir com a formação dos monitores, alunos de graduação.

ROTEIRO

A Sala da Eletricidade é composta por sete instrumentos e seis painéis, que permitem a abordagem de temas, tais como:

- Consumo de energia elétrica;
- Produção, transmissão e distribuição de energia elétrica;
- Campo eletromagnético;
- Fatos e processos históricos relacionados à eletricidade.

Discorre-se, a seguir, sobre os temas mencionados, tendo em vista a apresentação de esclarecimentos acerca de cada um deles.

Consumo de energia elétrica

Uma das experiências mais diretas que temos com a eletricidade é por meio do uso de eletrodomésticos nas residências. A instalação *Consumo de eletrodomésticos* e os painéis associados permitem uma reflexão sobre as características do consumo elétrico desses aparelhos e suas implicações diretas, como o custo da conta de energia elétrica.

No experimento ilustrado na Figura 2 é abordado o conceito de potência elétrica de um equipamento, valor calculado a partir da quantidade de energia elétrica consumida dividida pelo intervalo de tempo de uso do equipamento. Apertando os botões, o visitante pode ligar ou desligar diversos aparelhos de uso comum em uma residência e observar a potência elétrica por meio de uma coluna luminosa. Quanto maior a potência consumida pelo aparelho, maior o comprimento da coluna luminosa acesa. Assim é fácil perceber as diferenças de consumo.



Figura 2 – A quantidade de luzes acesas na coluna luminosa representa a potência elétrica de oito eletrodomésticos: micro-ondas; ventilador; geladeira; televisão; ferro de passar roupa; secador de cabelo; chuveiro elétrica; máquina de lavar roupa

A conta de energia elétrica contabiliza a energia consumida. Assim, é necessário considerar a potência do aparelho e o tempo que ficou ligado. Pode-se demonstrar, por uma relação matemática simples, que um longo intervalo de tempo de uso de um equipamento de baixa potência elétrica, como o ventilador, pode ter o mesmo consumo de energia elétrica que um equipamento de alta potência, como o ferro de passar roupa, em uso por um curto intervalo de tempo.

O painel *Consumo doméstico* (Figura 3) detalha as informações presentes na conta de energia elétrica doméstica, na qual a energia consumida é o elemento principal do cálculo do valor a ser pago. O painel e a instalação permitem uma discussão sobre o uso consciente da energia elétrica, o desperdício, as possibilidades de economia nas residências e a escolha dos eletrodomésticos.



Figura 3 – Painel *Consumo doméstico*: explica as bandeiras tarifárias e identifica quais eletrodomésticos são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica em uma hipotética residência brasileira

No painel *Novas formas de geração e consumo de energia* (Figura 4), está detalhado o significado das informações presentes na etiqueta de eficiência energética do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), que acompanha equipamentos elétricos vendidos em território nacional. Aqui é possível destacar aos

visitantes a importância da verificação dessa etiqueta no momento da aquisição de um produto elétrico, pois esta trata sobre um fator que terá influência direta na conta de energia elétrica.



Figura 4 – Painel *Novas formas de geração e consumo de energia*: aborda a geração de energia elétrica fotovoltaica, inclusive em ambientes residenciais, e a etiqueta de eficiência energética do INMETRO, que está presente nos aparelhos eletrodomésticos

O valor da eficiência energética representa quantos por cento da energia elétrica total consumida pelo equipamento é, de fato, utilizada para seu funcionamento. Isso porque parte da energia elétrica consumida por um aparelho elétrico é revertida em energias que não contribuem para seu funcionamento, como a liberação de calor e ruído, o atrito entre peças em movimento e a vibração de peças.

Produção, transmissão e distribuição de energia elétrica

A energia elétrica é tão importante em nossas vidas porque pode ser produzida e disponibilizada de maneira muito eficiente e pode ser usada com grande versatilidade na produção de diversos efeitos por meio de transformações de formas de energia. Assim, a energia elétrica disponível em uma tomada ou bateria pode ser usada em um aquecedor (energia térmica), em movimento em um motor (energia mecâni-

ca), em som em um aparelho de som (energia acústica), em luz em uma lâmpada ou televisão (energia luminosa), em radiação eletromagnética em um micro-ondas e nos diversos transmissores dos telefones celulares etc.

Mas como essa energia está disponível na tomada? Ela tem que ser “produzida”. Isto é, alguma forma de energia deve ser transformada em energia elétrica e depois levada até os consumidores. Para a produção em larga escala a energia é produzida em usinas e, quando estão distantes, transmitida para os centros urbanos onde deve ser distribuída para os consumidores. Cada uma dessas etapas – produção, transmissão e distribuição – tem características que vale a pena conhecer.

O dispositivo básico da maioria das formas de geração de energia elétrica é o gerador elétrico. Na Figura 5 vemos a instalação na Sala de Eletricidade em que um pequeno gerador pode ser acionado por meio de uma manivela para produzir energia elétrica e acender uma pequena lâmpada.



Figura 5 – Gerador elétrico: um dínamo é acionado por meio de uma manivela, transformando a energia mecânica em energia elétrica. O brilho da luz varia de acordo com a velocidade de rotação da manivela

O funcionamento do gerador elétrico está relacionado com a indução eletromagnética. O ímã em movimento gera corrente elétrica na bobina que está em repouso. No caso do gerador elétrico da Figura 5, a

situação é inversa, o ímã está em repouso e a bobina gira. A variação do campo magnético no interior da bobina gera uma corrente elétrica na bobina. Os fios da bobina estão ligados à lâmpada, que acende.

O visitante fornece a energia mecânica e, variando a quantidade de energia, pode controlar a energia elétrica que alimenta a lâmpada. Quanto mais rapidamente girar a manivela, maior será o brilho da lâmpada: uma demonstração de que a energia se conserva.

Os geradores que transformam energia mecânica em energia elétrica são a base de quase todas as formas de geração comercial – o gerador fotovoltaico é uma exceção. Diversos tipos de usinas elétricas como hidrelétricas, termoelétricas, atômicas (que é um tipo especial de termoelétrica) e eólicas usam esse tipo de gerador.

No CDCC, existem três formas de geração de energia elétrica para fins didáticos: hidráulica, solar e eólica. Todas são monitoradas por um sistema eletrônico que mostra em tempo real, no monitor do painel *Eletricidade produzida no CDCC* (Figura 6, à esquerda), a quantidade de energia elétrica gerada. No painel não se destaca a quantidade de energia produzida – os geradores não são de potências comparáveis – mas como a quantidade varia no tempo. A energia hidráulica é produzida de forma contínua – pelo menos enquanto há água no reservatório. A energia solar só pode ser captada durante o dia e está sujeita à interferência da cobertura de nuvens. Já a eólica, em São Carlos, sofre grandes e frequentes variações. Isso demonstra que as usinas solares e eólicas precisam contar com formas de armazenamento da energia para os momentos em que não existe luz ou vento disponível, o que encarece o projeto.

Na Figura 6, no centro e à direita, também podem ser observadas as imagens dos painéis *Geração de energia elétrica no Brasil* e *Transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil*. O primeiro trata da participação das principais formas de geração de energia elétrica usadas para suprir a demanda do território nacional, evidenciando a grande participação da energia hidrelétrica, com suas vantagens e problemas, mas que é uma das responsáveis pelo baixo custo que a energia elétrica pode ter no país. O segundo aborda como está estruturada a rede de transmissão e quais são as etapas da distribuição da energia elétrica até chegar ao consumidor final. Com base nas informações presentes no painel, pode-se tratar também da diferença entre corrente alternada e contínua e do conceito de transformador.



Figura 6 – Títulos dos painéis, da esquerda para a direita: *Eletricidade produzida no CDCC*, *Geração de energia elétrica no Brasil* e *Transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil*

Uma das características da energia elétrica que a fazem tão versátil é a possibilidade de transmiti-la a grandes distâncias. Isso só é viável porque suas características podem ser mudadas com facilidade. Conforme mencionado no tópico sobre o consumo dos eletrodomésticos, a potência elétrica, isso é a velocidade com que a energia elétrica é transmitida, depende de dois fatores: a tensão e a corrente elétrica. A potência que está sendo transmitida é simplesmente o produto dessas duas grandezas, ou seja, podemos aumentar a tensão e reduzir a corrente, ou o inverso para transmitir a mesma potência. E por que isso é importante? Em toda linha de transmissão ocorrem perdas. A perda mais importante é por calor e ela ocorre sempre que uma corrente elétrica percorre um condutor. Então, para a transmissão da energia elétrica é necessário minimizar a corrente. Para a mesma potência transmitida isso implica em aumentar a tensão.

Felizmente, isso pode ser conseguido com bastante eficiência pelos transformadores. Um transformador pode ser pensado como um gerador de energia elétrica – geradores transformam uma forma qualquer de energia em energia elétrica. Nesse caso, ele muda as características da energia elétrica: aumentando a tensão e reduzindo a corrente ou diminuindo a tensão e aumentando a corrente, mas com pouquíssima perda de energia.

Nas longas distâncias entre as usinas e os centros consumidores a energia elétrica viaja por redes de transmissão nas quais a tensão pode ser de centenas de milhares de volts. Chegando ao seu destino, transformadores nas subestações reduzem a tensão para algumas dezenas de milhares de volts para a distribuição. Perto dos consumidores,

outros transformadores reduzem novamente a tensão para as conhecidas faixas de 110V e 220V, que usamos em casa.

Os transformadores não possuem peças móveis e só podem funcionar com corrente alternada, ou seja, com correntes elétricas que variam no tempo de forma periódica. Um período importante na história da eletricidade foi quando a transmissão e distribuição de energia elétrica passou a ser feita em corrente alternada.

Para linhas de transmissão muito longas a corrente alternada pode ser um problema porque uma parte da energia é perdida na forma de radiação eletromagnética. Nesses casos, a transmissão por corrente contínua é uma alternativa. Isso pode ser feito com a inclusão de estações conversoras na linha de transmissão. A corrente alternada de alta tensão que sai dos transformadores na usina é convertida em corrente contínua (retificadores) e depois de transmitida é convertida novamente em corrente alternada (inversores) para ter a tensão reduzida por outros transformadores.

Campo eletromagnético

O desenvolvimento do conceito de campo eletromagnético foi uma das grandes conquistas da ciência e abriu as portas para um progresso tecnológico extraordinário.

Cargas elétricas criam campos elétricos e os dipolos magnéticos criam campos magnéticos. Esses campos são percebidos por outras cargas elétricas ou dipolos magnéticos como forças. Ainda existem outras três correlações importantes: aparecem forças sobre as cargas elétricas quando o campo magnético em que estão sofre variações ou quando se movem em um campo magnético e variações em campos

elétricos geram campos magnéticos e variações em campos magnéticos geram campos elétricos. Os campos elétrico e magnético são tão relacionados que podemos tratá-los como uma só entidade: o campo eletromagnético. Esse intrincado conjunto de fenômenos permitiu a construção de uma teoria que explica a luz e um imenso espectro de radiações em termos de variações de campos elétricos e magnéticos se propagando no espaço: são as ondas eletromagnéticas.

Os experimentos detalhados a seguir abordam as características dos campos elétricos e magnéticos, bem como a relação entre eles, enquanto a *Linha do tempo* fornece uma visão de uma sucessão de fatos e processos históricos relacionados à eletricidade.

Gerador Van de Graaff

A Figura 7 ilustra o gerador de Van de Graaff. Para ficar de cabelos em pé basta permanecer com as mãos na esfera metálica, enquanto o gerador está em funcionamento. A sensação da eletricidade estática é sentida por muitos visitantes também nos pelos do braço. Aqui temos uma excelente oportunidade para motivar os visitantes ao estudo das cargas elétricas e tipos de eletrização. Os cabelos ficam em pé e os pelos do braço ficam eriçados porque a esfera do gerador está carregada eletricamente. O visitante se posiciona sobre uma base isolante e se mantém em contato com a esfera. As cargas acumuladas na esfera fluem para o corpo do visitante. Como cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, elas se espalham pelo corpo para as posições mais afastadas, acumulando-se principalmente nas extremidades: dedos, nariz e pontas dos cabelos e pelos. Como os cabelos e pelos são leves, eles se eriçam, afastando-se uns dos outros pela ação da força de repulsão. O

mesmo efeito pode ser observado nas fitas de papel que estão sobre a esfera.



Figura 7 – Gerador de Van de Graaff: experimento que chama a atenção dos visitantes, pois possibilita sentir no corpo, de forma segura, os efeitos da eletricidade estática

O gerador de Van de Graaff funciona, portanto, usando o princípio segundo o qual cargas elétricas de mesmo sinal se repelem. Uma correia de borracha é carregada na base do aparelho e transporta as cargas para o interior da esfera metálica. Uma vez dentro da esfera, que é condutora, as cargas se afastam o máximo possível umas das outras, ocupando a superfície externa da esfera, onde se acumulam. Enquanto a correia transportar cargas para dentro da esfera elas se acumularão na superfície da esfera, mas ocorrem perdas. Com o aumento da carga, aumenta o campo elétrico em torno da esfera e uma parte começa a fluir pelo suporte isolante e pelo ar, limitando a carga máxima da esfera. Essas fugas de carga são bastante influenciadas pela umidade relativa

do ar. Em dias com umidade relativa alta, o efeito eletrostático é menos intenso porque as moléculas de água no ar, nas superfícies dos isolantes que suportam a esfera e na própria correia reduzem sua resistência elétrica. Isso aumenta a velocidade com que as cargas escapam da esfera, impedindo os intensos efeitos que podem ser observados em dias mais secos. Este é um dos motivos do efeito do cabelo arrepiado variar ao decorrer dos dias.

Aproximando um corpo da esfera podemos observar uma faísca saltando entre a esfera e o corpo. Usamos uma pequena esfera conectada eletricamente à terra para produzir essas faíscas e também para garantir que a esfera fique descarregada quando desejarmos.

Plasma

Uma delicada faísca rosada em movimento de subida é a principal característica do experimento ilustrado na Figura 8 em funcionamento. Aqui é possível abordar os conceitos de campo elétrico, potencial elétrico, corrente elétrica e rigidez dielétrica.



Figura 8 – Plasma: quando o visitante aperta o botão do experimento, uma faísca surgirá entre as duas hastes do experimento. Este fenômeno tem o mesmo princípio físico da formação de relâmpagos

Na Figura 8, cada haste metálica dentro do tubo de acrílico é chamada de eletrodo. Quando acionamos o botão,

ligamos, por meio de uma chave eletromagnética, um transformador que aplica uma diferença de potencial elétrico de alguns milhares de volts entre os eletrodos. Podemos pensar que um eletrodo é carregado com cargas elétricas negativas e o outro, com cargas positivas. A consequência dessa disposição de cargas é o surgimento de um campo elétrico entre os eletrodos. Esse campo é mais intenso nas regiões onde os eletrodos estão mais próximos.

O ar atmosférico mantém o isolamento entre as cargas elétricas situadas nos eletrodos até certa intensidade do campo elétrico, chamada de rigidez dielétrica. As moléculas do ar são, normalmente, neutras. Assim, não são aceleradas pelo campo elétrico e não há movimento de carga entre os eletrodos. Mas existe uma pequeníssima quantidade de moléculas que não são neutras e que são aceleradas pelo campo elétrico. Quando o campo elétrico for suficientemente forte, essas moléculas adquirem velocidade (energia) suficiente para arrancar elétrons de moléculas neutras quando se chocam com elas. Essas novas moléculas carregadas são também aceleradas pelo campo elétrico e chocam-se com outras produzindo ainda mais: um efeito cascata. Em muito pouco tempo o número de moléculas carregadas e elétrons é bastante grande para que o ar deixe de ser isolante e torne-se um bom condutor de eletricidade. Esse movimento de cargas é o que se chama de corrente elétrica.

Uma parte da energia que as moléculas adquirem ao serem aceleradas é transferida nos choques para todas as outras moléculas do ar na região, ou seja, o ar se aquece bastante. Esse ar muito quente é o que podemos ver na instalação: a faísca. Essa transformação de energia elétrica em calor acontece sempre que uma corrente passa por um

material condutor e chama-se de Efeito Joule. Como a faísca é mais quente que o ar atmosférico ao seu redor, sua densidade é mais baixa e ela flutua, subindo entre os eletrodos enquanto produz um ruído característico. O barulho desse experimento em operação vem da faísca que aquece o ar e ele se expande: a mesma explicação do barulho de um trovão.

A faísca rosada representa um estado da matéria chamado plasma. Nesse estado, o número de moléculas carregadas é suficiente para que o gás se comporte como um bom condutor elétrico. No nosso ambiente terrestre esse estado não é muito comum, mas é o estado mais comum no universo. As estrelas, por exemplo, são imensas bolas de plasma.

Anel saltitante

No experimento ilustrado na Figura 9 é possível constatar como a corrente elétrica gera um campo magnético e como um campo magnético variável pode gerar corrente elétrica.



Figura 9 – Anel saltitante: o anel inteiro sofre repulsão pelo campo magnético variável da bobina

Frente à instalação ilustrada na Figura 9, o visitante pode escolher entre dois anéis de alumínio, um deles inteiro e o outro com uma fenda, para colocar na base do cilindro que forma o corpo da mesma. Apenas o anel inteiro é atirado para cima.

Ao acionar o botão, a bobina na

base do cilindro, logo abaixo do local onde o anel é colocado, é ligada à eletricidade. Uma corrente elétrica percorre a bobina e, como consequência, surge um campo magnético. Esse é um dos principais fenômenos eletromagnéticos: uma corrente elétrica, passando por um condutor, produz um campo magnético ao redor do condutor. O fato de o condutor estar enrolado em uma bobina, intensifica o campo magnético. Tanto a corrente como o campo magnético não atingem imediatamente seu valor máximo, mas variam rapidamente até atingirem esse valor. Na Figura 10 está representado o campo magnético (linhas brancas) gerado pela bobina que recebe corrente elétrica (seta azul).

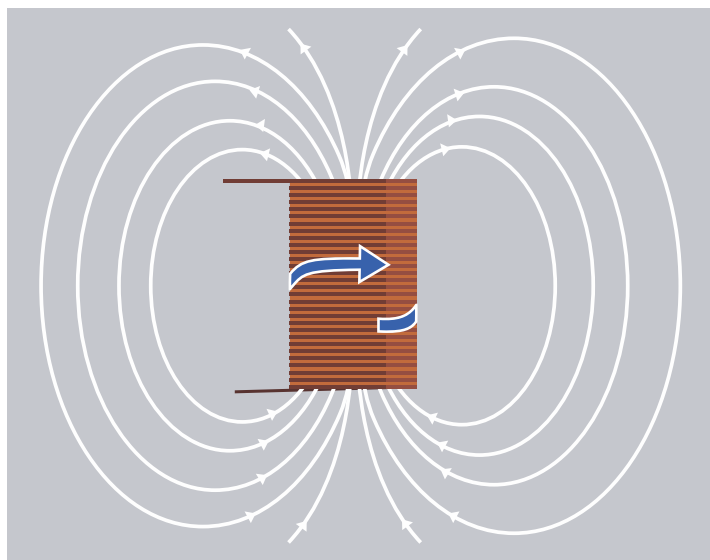


Figura 10 – Representação das linhas de campo magnético de uma bobina atravessada por uma corrente elétrica no sentido indicado pela seta azul (Imagem elaborada por Felipe Rhein Felipe, 2021)

O anel de alumínio, colocado logo acima da bobina, está dentro desse campo magnético que varia rapidamente. Então ocorre um

segundo fenômeno muito importante do eletromagnetismo: cargas elétricas são aceleradas por um campo magnético variável. O alumínio contém elétrons que podem se movimentar com muita liberdade dentro do material. Esses elétrons são acelerados pelo campo magnético variável, ou seja, surge uma corrente elétrica que percorre o anel. Mas corrente elétrica gera campo magnético! Então, surge um segundo campo magnético e que se opõe ao campo magnético que o gerou. É uma situação semelhante ao tentarmos aproximar dois ímãs pelos polos de mesmo nome: eles se repelem.

O efeito do campo magnético que cresce rapidamente poderia ser obtido por um ímã que se aproxima rapidamente do anel e que também faria surgir uma corrente e um campo magnético em oposição, provocando a repulsão entre o ímã e o anel. Esse princípio é usado nos geradores eletromagnéticos como dínamos e alternadores.

Uma questão importante é: por que o campo magnético induzido, isto é, produzido pela corrente no anel, se opõe ao campo que o criou? Por que eles não poderiam ser alinhados, o que provocaria uma atração entre eles? A resposta relaciona-se ao princípio da conservação da energia. Energia não é criada ou destruída, ela é sempre a mesma. Se o campo gerado não se opusesse ao que o gerou eles se reforçariam, fazendo com que a corrente no anel e na bobina ficassem ainda maiores, aumentando ainda mais os campos, e assim por diante. Isso criaria uma situação em que os campos e as correntes cresceriam indefinidamente, o que não é observado. O princípio da conservação da energia é um dos princípios fundamentais da ciência física.

Como mencionado anteriormente, neste experimento existem duas

opções de anel metálico, um inteiriço e outro com uma fenda. No anel inteiriço a corrente pode circular e gerar o campo magnético correspondente. A fenda no outro anel impede que ele seja percorrido por uma corrente. Sem corrente não há campo magnético nem repulsão e o anel com fenda não salta.

O anel inteiriço e a bobina funcionam como eletroímãs. No cotidiano, encontram-se eletroímãs em motores, portões, campainhas e guindastes.

Levitador magnético

O experimento ilustrado na Figura 11 é composto por um disco de alumínio que sofre a influência da força magnética do pequeno ímã que se encontra na extremidade da haste metálica.

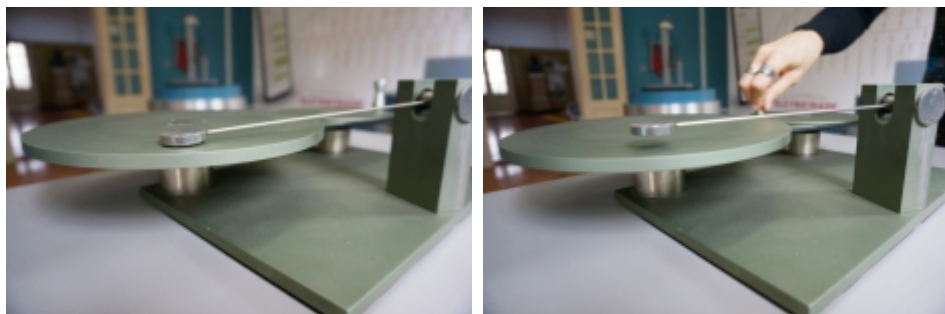


Figura 11 – Disco de alumínio associado a um pequeno ímã, que se encontra na extremidade da haste metálica: ao girar o disco, o ímã sofre repulsão do campo magnético gerado no disco

Conforme ilustra a Figura 11, a haste metálica está presa a um eixo e suporta o ímã em uma extremidade e um contrapeso na outra. O contrapeso está posicionado de forma a quase equilibrar o ímã. Assim, mesmo uma pequena força é capaz de fazer o ímã “levitar”. Esse efeito ocorre quando fazemos o disco girar.

O efeito de levitação é observado porque o material que constitui o disco é metálico. Metais são caracterizados por terem alguns elétrons fracamente ligados aos núcleos dos átomos. Assim, eles possuem grande liberdade de movimento e respondem facilmente a efeitos eletromagnéticos.

Quando o disco gira, alguns elétrons livres do metal se aproximam do campo magnético gerado pelo ímã, enquanto outros se afastam. Nos dois casos, temos cargas elétricas que estão em presença de campos magnéticos variáveis e que, portanto, são aceleradas. Então, surgem correntes elétricas no interior do disco que, por sua vez, geram campos magnéticos. O caminho percorrido por essas correntes bem como os campos magnéticos gerados não tem uma forma muito simples, mas o resultado, como pode ser observado, é um campo magnético capaz de repelir o ímã.

As correntes que se formam em um metal ao se mover perto de um ímã são chamadas de Correntes de Foucault. Esse efeito tem diversas aplicações como os freios magnéticos e os sistemas de levitação para trens de alta velocidade.

Bobina de Tesla

A bobina de Tesla (Figura 12) está baseada no conceito de que uma corrente elétrica de alta frequência (da ordem de mega-hertz) gera na bobina primária um campo eletromagnético variável, o qual induz um segundo campo eletromagnético na bobina secundária, cujo número de espiras é muito maior. O resultado é um campo eletromagnético mais intenso na bobina secundária capaz de acender uma lâmpada

fluorescente. Em essência este é o princípio físico de um transformador de tensão elétrica porque a tensão elétrica que é aplicada à bobina primária é aumentada na bobina secundária.

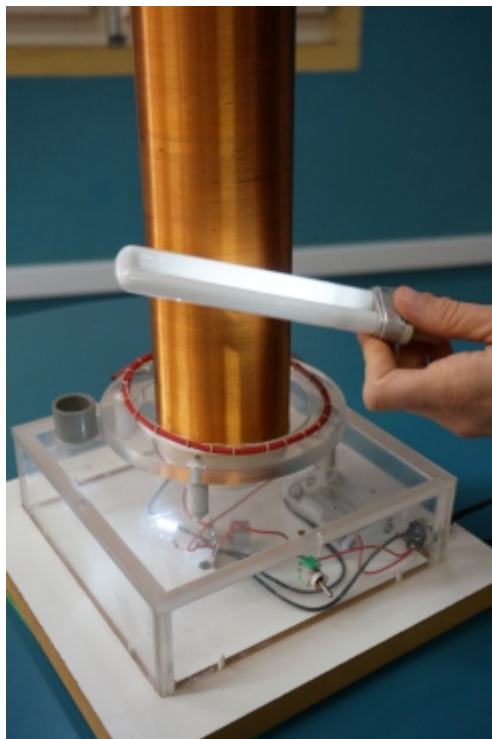


Figura 12 – Bobina de Tesla: a bobina primária, pequena e composta de fios vermelhos, envolve a bobina secundária que é grande e composta de fios de cobre

A explicação do funcionamento da lâmpada fluorescente, conforme ilustra a Figura 12, está no âmbito da física moderna, pois recai sobre o conceito de elétrons que recebem energia, mudam de orbital e emitem luz ao retornarem para seu orbital de origem. A radiação emitida pela bobina de Tesla interage com os átomos de mercúrio

que estão no interior da lâmpada fluorescente. Os elétrons nos átomos, quando retornam à sua situação normal, emitem radiação ultravioleta. Os átomos de fósforo, que revestem a parede interna da lâmpada, absorvem essa radiação ultravioleta e emitem luz visível. Esta é a luz que se enxerga no interior da lâmpada. É interessante salientar que nem todas as lâmpadas funcionam assim. As lâmpadas de filamento e as de LED emitem luz por outros princípios físicos.

A bobina de Tesla pode ser entendida como uma antena, afinal, é uma emissora de radiação eletromagnética. Ao variar a tensão elétrica e a quantidade de espiras entre as bobinas, chega-se à frequência da radiação desejada.

Linha do tempo

Por fim, cabe destacar o painel *Linha do tempo* (Figura 13), com dimensão aproximada de 5 metros de largura por 2 metros de altura, que ocupa um local privilegiado na Sala da Eletricidade.

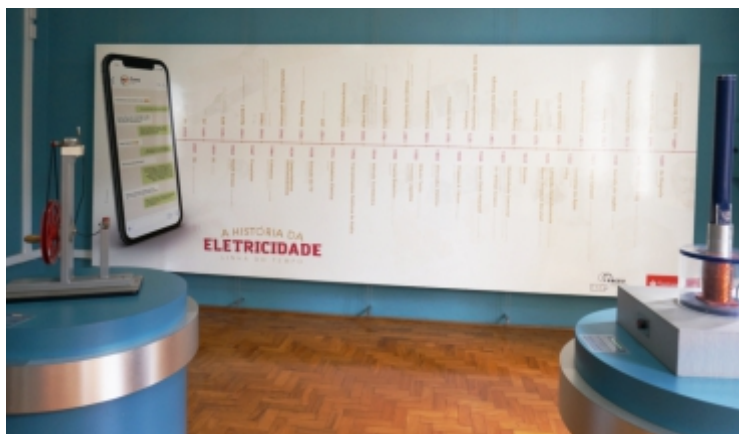


Figura 13 - Painel *Linha do tempo*

O painel ilustrado na Figura 13 registra grandes descobertas e invenções científicas sobre a eletricidade, a partir, principalmente, da apresentação de informações textuais.

A linha começa em 600 a.C., com a descrição de Tales de Mileto sobre a atração do âmbar com outros materiais, e termina em 2009, com a implementação da tecnologia 4G de dados móveis. O painel pode servir de base para uma discussão sobre quais são os marcos recentes e

esperados envolvendo o eletromagnetismo. Alguns exemplos que podem ser citados de marcos recentes são a evolução das baterias de íons de lítio, o domínio de técnicas de produção de materiais supercondutores elétricos, a ampliação do mercado de veículos elétricos, o surgimento de computadores quânticos (que recai sobre o eletromagnetismo em nível microscópico) e a implementação do 5G no Brasil.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CHERMAN, A. Sobre os ombros de gigantes: uma história da física. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2004.

CONTIER, D. Relações entre ciência, tecnologia e sociedade em museus de ciências (Dissertação). Mestrado em Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

GLEISER, M. A dança do universo: dos mitos de criação ao Big Bang. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

RIVAL, M. Os grandes experimentos científicos. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 1997.

SALVETTI, A. R. A história da luz. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

WAGENSBERG, J. O gozo intelectual: teoria e prática sobre a inteligibilidade e a beleza. Campinas: Editora da Unicamp, 2009.



USP CAEG CONSÓRCIOS ACADÊMICOS
PARA A EXCELÊNCIA DO
ENSINO DE GRADUAÇÃO

ISBN: 978-65-993104-8-5

CD



9 786599 310485



Centro de Divulgação Científica e Cultural
Rua Nove de Julho, 1227 - Centro
13560-042 São Carlos - SP
Telefone: 16 3373 9772 | www.cdcc.usp.br