



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA

EDLA CARINE PESSOA MARINHO

**APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE ELETRICIDADE,  
ABORDANDO COMO ALICERCE A EDUCAÇÃO POR PROJETOS**

Caruaru  
2018

EDLA CARINE PESSOA MARINHO

**APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE ELETRICIDADE,  
ABORDANDO COMO ALICERCE A EDUCAÇÃO POR PROJETOS**

Dissertação ou Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática

**Área de concentração:** Educação em Ciências e Matemática

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

M338a Marinho, Edla Carine Pessoa.  
Aprendizagem significativa no ensino de eletricidade, abordando como alicerce a educação por projetos. / Edla Carine Pessoa Marinho. – 2018.  
126f. ; il. : 30 cm.

Orientador: Ernesto Arcenio Valdéz Rodrigues.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, 2018.  
Inclui Referências.

1. Educação (Pernambuco). 2. Método de projeto de ensino (Pernambuco). 3. Razão prática. 4. Aprendizagem. 5. Circuitos elétricos. I. Rodrigues, Ernesto Arcenio Valdéz (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-303)

EDLA CARINE PESSOA MARINHO

**APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE ELETRICIDADE,  
ABORDANDO COMO ALICERCE A EDUCAÇÃO POR PROJETOS**

Dissertação ou Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Aprovada em: 23/04/2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Roberto Araújo Sá (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ana Paula Freitas da Silva (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho à minha família pelo exemplo de humanismo e dedicação e apoio incondicional em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por permitir concluir mais uma etapa, superando todos os obstáculos e comemorando mais uma vitória. Segundo a meu pai, Ednaldo Marinho, minha mãe, Célia Pessoa, que sempre me apoiaram e me deram forças para que eu continuasse e concluísse com êxito.

Muito obrigada a minhas tias, Bibi Marinho e Andrea Marinho, por sempre me ouvir nos momentos difíceis e sempre mostrar uma possível saída.

Agradeço ao meu orientador Ernesto Rodriguez por gentilmente ter me guiado no decorrer deste trabalho, dando o apoio necessário para o desenvolvimento do mesmo.

Agradeço a meus amigos, Edu Torres, Luiz Alberto, Millena Amorim e Ygor Murillo, pelos fins de semanas incríveis e renovadores.

Obrigada a minha prima, Paula Marinho, e meus primos, Edson Marinho e Eder Marinho, pelos momentos de músicas, viagens e muita parceria.

Um obrigada a minha irmã, Heloysa Marinho, por sempre acreditar na minha competência e a me incentivar a voos cada vez maiores.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, por permitir um ambiente cheio de harmonia e alegria, fazendo os meus dias leves e felizes.

Um obrigada a minha amiga Laís Amanda (in Memoriam), por sempre acreditar no meu êxito profissional.

Obrigada aos meus discentes participantes, por dedicar a nós um tempo que tenho certeza que são preciosos em seu cotidiano.

## RESUMO

Este trabalho é dedicado à aprendizagem significativa no ensino de Eletricidade. Sendo uma das áreas da Física que possui mais estudos referentes a dificuldades de aprendizagem, a eletricidade tem toda importância evidenciada para o avanço das ciências e tecnologias. Essa dificuldade pode estar relacionada com a forma com que a eletricidade vem sendo ensinada. Portanto, buscamos investigar os níveis de aprendizagem de conceitos de eletricidade, segundo a taxonomia de Bloom no contexto da Educação por Projetos onde as etapas de construção dos circuitos impressos foram mapeadas utilizando a metodologia de Ilhas de Racionalidade. A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas: A construção de questionários para a coleta de dados, a intervenção na escola com 15 discentes do 3º Ano do Ensino Médio e a aplicação e análise dos questionários de acordo com a Taxonomia de Bloom e evidenciados a luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Os resultados decorrentes deste trabalho indicam que a intervenção realizada, contribuiu satisfatoriamente em todas as etapas, já que o grupo não possuía um conhecimento prévio formal e à proposta de Educação por Projetos permitiu que alunos diferenciassem progressivamente o conceito de Eletricidade e fossem capazes de aplicá-lo a uma situação real.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação por projetos. Ilhas de racionalidade. Taxonomia de Bloom. Aprendizagem significativa. Circuitos impressos.

## **ABSTRACT**

This work is dedicated to meaningful learning in the teaching of Electricity. Being one of the areas of Physics that has more studies related to learning difficulties, electricity has all the importance evidenced for the advancement of sciences and technologies. This difficulty may be related to the way electricity is being taught. Therefore, we seek to investigate the learning levels of electricity concepts, according to the Bloom taxonomy in the context of Education by Projects where the construction stages of printed circuits were mapped using the Islands of Rationality methodology. The methodology of the research was divided into three stages: The construction of questionnaires for data collection, the intervention in the school with 15 students of the 3rd Year of High School and the application and analysis of the questionnaires according to the Bloom Taxonomy and evidenced to light of Ausubel's Significant Learning Theory. The results of this work indicate that the intervention performed satisfactorily in all stages, since the group did not have a prior formal knowledge and the Education for Projects proposal allowed students to progressively differentiate the concept of Electricity and be able to apply it, to a real situation.

**KEYWORDS:** Education by projects. Islands of rationality. Taxonomy of Bloom.  
Significant learning. Printed circuits.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação do movimento de elétrons em um condutor	28
Figura 2 –	Associação de resistores em série	31
Figura 3 –	Associação de resistores em paralelo	31
Figura 4 –	Associação de resistores mista	32
Figura 5 –	Discentes: 04 e 09. (Utilização do amperímetro e voltímetro em um circuito misto)	45
Figura 6 –	Discentes: 03 e 07. (Circuito misto)	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Temas e resumos dos textos que serão apresentados aos estudantes da educação básica	41
Quadro 2 –	Temas e resumos dos episódios apresentados aos estudantes da educação básica	42
Quadro 3 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	48
Quadro 4 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	49
Quadro 5 –	1º Questionário - Respostas dos discentes	49
Quadro 6 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	50
Quadro 7 –	1º Questionário - Respostas dos discentes	50
Quadro 8 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	51
Quadro 9 –	1º Questionário - Respostas dos discentes	52
Quadro 10 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	52
Quadro 11 –	1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto	53
Quadro 12 –	1º Questionário - Respostas dos discentes	53
Quadro 13 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	54
Quadro 14 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	55
Quadro 15 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	55
Quadro 16 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	56
Quadro 17 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	57
Quadro 18 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	58
Quadro 19 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	58
Quadro 20 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	59

Quadro 21 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	60
Quadro 22 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	60
Quadro 23 –	2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto	61
Quadro 24 –	2º Questionário - Respostas dos discentes	62
Quadro 25 –	Comparações das respostas dos discentes do antes e depois da ação da intervenção	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Tensão (U) x Corrente (i) de um resistor	30
Gráfico 2 –	Respostas dada pelos Discentes: 02, 10, 11, 12 e 15.	44

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 –	Construção dos circuitos impressos	46
Fotografia 2 –	Testando um LED utilizando uma bateria de carregador de celular	46
Fotografia 3 –	Circuito impresso finalizado	47

## LISTA DE SIGLAS

IR	Ilhas de Racionalidade
D.D.P	Diferença De Potencial
U	Tensão Elétrica
R	Resistência Elétrica
i	Intensidade de Corrente Elétrica
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
Req	Resistência Elétrica Equivalente
SI	Sistema Internacional de Unidades

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1	TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	22
2.2	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS	24
2.3	ASSIMILAÇÃO DE CONCEITOS	25
2.3.1	Diferenciação progressiva	25
2.3.2	Reconciliação integrativa	25
2.4	APRENDIZAGEM MECÂNICA	26
2.5	TIPOS DE APRENDIZAGEM	27
2.5.1	Representacional	27
2.5.2	Conceitual	27
2.5.3	Proposicional	28
2.6	CONCEITOS FÍSICOS DO CONTEÚDO DE ELETRICIDADE	28
2.6.1	Intensidade de corrente elétrica	28
2.6.2	Diferença de potencial (d.d.p) ou tensão elétrica	29
2.6.3	Resistência elétrica	29
2.6.3.1	<i>Primeira lei de Ohm</i>	30
2.6.3.2	<i>Associação de resistores</i>	30
2.6.3.3	<i>Associação em série</i>	31
2.6.3.4	<i>Associação em paralelo</i>	31
2.6.3.5	<i>Associação mista</i>	32
2.7	EDUCAÇÃO POR PROJETOS	32
2.8	ILHAS DE RACIONALIDADE	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>48</b>
4.1	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	48
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE A – 1º QUESTIONÁRIO – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO APLICADO ANTES DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>69</b>

<b>APÊNDICE B – 2º QUESTIONÁRIO – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO APLICADO DEPOIS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A – ESTRUTURAÇÃO DA TAXONOMIA DE BLOOM DO DOMÍNIO COGNITIVO</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO B – TEXTOS SOBRE A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Analisando o processo de ensino/aprendizagem, uma das questões recorrentes ao conhecimento, está relacionado ao ensino como transmissão de conhecimentos, agindo como um agente desmotivador para discente.

Fora do processo de aprendizagem, o discente não encontra espaço para interação, socialização e compartilhamento de conhecimentos. Dessa forma, não modifica seus conhecimentos prévios, muitas vezes errôneos, influenciados por sua formação política, socioeconômica e histórica, levando a um desenvolvimento de entendimentos superficiais e um conhecimento fragmentado e difuso (FIGUEIRÊDO e JUSTI, 2011). Essa postura atingiu em especial a aprendizagem das Ciências e da Matemática. Portanto, como trabalhar os conceitos de forma que despertem o interesse do discente, para que aconteça à aprendizagem?

Esse questionamento antecede a decisão do docente quanto à organização de sua metodologia. Discutido com frequência no âmbito acadêmico, esse questionamento está presente nos diálogos entre docente e formadores de docentes, uma vez que, motiva-se construções coletivas de aprendizagens, outras cria-se expectativas em receber o conhecimento “estático” (CAMPANARIO, 2002).

A aprendizagem vai além de uma aula, seja teórica ou experimental. Aprender é um processo em que as competências e habilidades são adquiridas ou modificadas, como resultado de um processo de observação, análise e raciocínio, onde se explora os conhecimentos prévios, associando a acontecimentos, criando novas relações e construindo significados particulares. Dessa maneira, quanto mais organizada sua cognição, o discente terá maior facilidade para construir significados.

A construção de significados não se dá através de uma apreensão literal da informação, mas sim de uma percepção substantiva do material apresentado se configurando como uma aprendizagem significativa (TAVARES, 2005). Portanto, em uma aprendizagem significativa não acontece apenas a permanência da estrutura do conhecimento, mas sim sua possível utilização em outros contextos diferentes daquele em que ele se efetivou.

A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) tem como destaque o conhecimento prévio, ao descrever o processo de aprendizagem. Para promover a aprendizagem significativa, Masini e Moreira (2001) afirmam que inicialmente é

preciso estabelecer uma organização prévia dos conceitos, através de organizadores prévios. Esses organizadores têm como função principal elaborar um “link” entre o que aprendiz já sabe e o que ele precisa saber. Portanto, para aprender de maneira significativa, o discente deve querer relacionar o novo conhecimento ao seu conhecimento prévio de forma organizada e desenvolver a capacidade de transferir esse conhecimento para novas situações.

Partindo desse pressuposto de que os novos conhecimentos se relacionam com o conhecimento prévio, definimos a aprendizagem significativa, como processo no qual só aprendemos a partir daquilo que já conhecemos. Segundo Moreira (1997), para Ausubel a aprendizagem significativa é um mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento. Além disso, Ausubel (1968) leva em consideração, para uma aprendizagem significativa, o lado afetivo: o qual o aprendiz demonstre disposição para querer relacionar de maneira substantiva e não-arbitraria o novo material à sua estrutura de conhecimento.

A aprendizagem significativa também depende que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo. Conforme Moreira (1999b), o material potencialmente significativo é aquele que tem relação com a estrutura cognitiva do aprendiz de maneira não-arbitrária e não literal.

Outro questionamento também recorrente no meio acadêmico está relacionado com o garantir de bons resultados. Partindo do pressuposto que “fazer bem feito” por parte da docência garante um bom resultado, remete a ideia de que um bom ensino garante a aprendizagem de um discente, envolvido no processo o qual, ele participa.

De acordo com Lemos (2011):

São raros os trabalhos que discutem explicitamente a relação entre o fazer docente e o processo de aprendizagem do aluno, ou melhor, entre os aspectos do evento educativo que influenciaram o tipo de aprendizagem realizada (ou não realizada) pelo aluno (LEMOS, 2011, p. 26).

Esse questionamento ainda abrange o fato de que muitos docentes acreditam que os discentes aprendem tudo aquilo que foi ministrado em sala em um lapso temporal, e sempre que necessário eles irão utilizar os conceitos.

Considerando que o docente ensina e o discente aprende e reproduz, podemos então nos referir que as coisas estão finalizadas e no seu lugar adequado. Dessa forma caracterizando o ensino baseado nas ideias tradicionalistas, onde o

conhecimento é apenas detido pelo docente. Segundo Ronca (1996, p.05), “Se o papel do professor é dar aulas, enquanto ele dá a sua aula, o aluno faz o quê?”.

Vivemos em um mundo em constantes mudanças, então tratar a aprendizagem como algo finalizado, que não estará exposto a qualquer tipo de mudança, acaba afastando o discente do processo de aprendizagem. Por isso é necessário que ele seja a parte fundamental desse processo, que participe de uma forma objetiva, simples e compartilhada, ao invés de ficar apenas observando as aulas de uma forma estática. Moreira (1999a) relata que uma teoria de educação, para Novak, deve levar em consideração que o ser humano pensa, sente e age, assim, qualquer evento educativo é, na realidade aprendizagem significativa, uma troca de significados e sentimentos entre docente e aprendiz.

O discente precisa sair do papel de passivo para ser o protagonista de seu processo de aprendizagem. O docente por sua vez, poderá trazer um diálogo mais acessível, utilizando de uma linguagem mais próxima da realidade vivida no âmbito acadêmico. Dessa maneira, fortalece e amplia o conhecimento prévio do discente, incentivando-o no processo de aprendizagem, garantindo autonomia nos objetivos que se desejam alcançar e oferecendo suporte diante das novas situações problemas. Gasparin (2001) afirma que os discentes:

São jovens que vivenciam a paixão, o sentimento, a emoção, o entusiasmo, o movimento. Anseiam por liberdade para imaginar, conhecer, tudo ver, experimentar, sentir. O pensar e o fazer, o emocional e o intelectual, estão entrelaçados, de maneira que estão inteiros em cada coisa que fazem (GASPARIN. 2001, p. 8).

O choque de realidade às vezes limita a criticidade do discente, uma vez que os jovens deixam seu cotidiano de lado, e passam a conviver com as regras escolares, quando ingressam no ambiente acadêmico, que por muitas vezes, não há espaços para emoção e sentimentos. Portanto, o docente deve assumir uma postura de mediador entre o discente e o conhecimento para uma aprendizagem significativa.

Pietrocola (1999) aponta que a intensificação nas estratégias de construção do conhecimento é importante para os discentes na medida em que eles possam perceber que o conhecimento científico aprendido na escola serve como forma de interpretação do mundo que os cerca. Porém, uma das indagações recorrentes entre os discentes é o porquê de determinado conceito proposto ser ensinado, e quais aplicações desse conceito influenciam no decorrer de sua vida?

Consideramos que o assunto de eletricidade, que faz parte da Proposta Curricular para a 3ª série do Ensino Médio, tem uma grande importância evidenciada e facilidade de uso. A partir de suas aplicações, tornou-se possível a criação, transmissão e armazenamento de energia elétrica. Os eletrônicos, por exemplo, foi um marco nas descobertas e nos proporcionaram um avanço tecnológico, contribuindo para um mais simples modo de viver. Porém dentre os assuntos que os discentes têm dificuldades específicas na aprendizagem da Física, está o conteúdo de eletricidade.

Para Dorneles, Araujo e Veit, (2006), a eletricidade é uma das áreas da Física que possui mais estudos referentes a dificuldades de aprendizagem. Estes estudos incluem dificuldades conceituais, concepções alternativas que muitas vezes têm origem na necessidade de que o ser humano tem de construir explicações para compreender o mundo em que vive e com o qual interagem, raciocínios errôneos que os discentes costumam apresentar no estudo de circuitos elétricos simples e uso indiscriminado da linguagem (DORNELES, 2005).

Consideramos que alguns conceitos são relevantes para o estudo da eletricidade, as cargas elétricas em movimento, ou seja, o estudo da corrente elétrica, as propriedades dos circuitos, que são diferença de potencial, resistência e associação de resistores. Para Shaffer & McDermott (1992b), os significados associados pelos discentes a um conceito formal da Física são frequentemente muito diferentes daqueles que um Físico atribui a esse mesmo conceito, em especial os significados atribuídos aos conceitos de diferença de potencial, resistência elétrica e corrente elétrica na linguagem cotidiana diferem dos significados aceitos cientificamente para estas grandezas (DUIT e VON RHÖNECK, 2005; PACCA et. al., 2003).

Os discentes têm uma grande dificuldade de relacionarem os conceitos físicos estudados no âmbito acadêmico com a eletricidade que está sendo vivenciada no cotidiano. Essa dificuldade pode estar relacionada com a forma com que a eletricidade vem sendo ensinada, já que na maioria dos casos, as aulas de físicas são apenas uso de fórmulas, visando que o discente interpretará a questão pensando em que fórmula usar. Esse tipo de ensino trata os conceitos como meros dados de memorização. Portanto, não ajuda o discente a pensar, argumentar, criar e tomar suas próprias decisões, frente a situações problemas.

Dessa forma, os conceitos são reproduzidos em curto prazo e aplicados apenas a situações conhecidas. Essas informações são decoradas de forma arbitrária e literal. A esse conceito de aprendizagem, denomina-se de aprendizagem mecânica, onde os novos conhecimentos possuem pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes já disponíveis na estrutura cognitiva do discente.

Como um possível caminho para uma aprendizagem significativa, utilizamos a educação por projetos, que tem como base o aprendizado centrado no discente, que sai do papel de receptor passivo, para ser o protagonista responsável pelo seu aprendizado. Diferentemente do ensino tradicional, os docentes atuam como tutores e têm a oportunidade de conhecer bem os estudantes, fortalecendo a interação entre ambos. Essa técnica é característica do racionalismo, onde o conhecimento é produto de um processo dedutivo, destacando o conhecimento prévio como um dos princípios.

Contudo, é importante salientar que o trabalho com projetos deve se desenvolver por períodos prolongados e culminar com a produção de um produto (JONES et.al., 1997; THOMAS et.al., 1999; SCARBROUGH et.al., 2004). Nesta perspectiva, Fourez (2005) propõe que as atividades nas quais se exercitaria o conhecimento por projetos sejam orientadas por uma metodologia de trabalho: as Ilhas de Racionalidade (IR). Uma Ilha de Racionalidade designa uma representação teórica apropriada de um contexto e de um projeto, permitindo comunicar e agir sobre o assunto. A teorização proposta na Ilha de Racionalidade de acordo com Fourez é quase sempre interdisciplinar, e esses conhecimentos que são utilizados para construir a representação têm no modelo teórico o meio de comunicar o que vai ser feito sobre a situação (NEHRING et.al., 2002).

Segundo Laburú, Silva e Vidotto (2005, p. 30) afirmam que “falar em melhoria da qualidade das escolas, de modo que sejam privilegiados o ensino e a aprendizagem, obrigatoriamente, é falar em avaliação”. Dessa forma, há a necessidade de construção de um novo olhar avaliativo, centrado na aprendizagem possibilitando a inversão da lógica competitiva em cooperativa.

Para possibilitar um olhar diagnóstico capaz de demonstrar evidências da aprendizagem de questões complexas e priorizar a ação do discente como sujeito do processo, há necessidade de desenvolver procedimentos avaliativos que não

seguem à risca um paradigma, uma vez que estamos tratando da compreensão da natureza Ciência, evolução de conceitos, conhecimentos realmente construídos.

Dessa forma, nesta pesquisa dedicamo-nos a propor a utilização da metodologia de Educação por Projetos, como uma forma de contextualizar os conteúdos e interdisciplinaridade das disciplinas, fundamentada no diálogo e na ação de forma criativa, crítica, inovadora e reflexiva. E portanto no conteúdo de eletricidade/circuito simples investigar se haverá aprendizagem significativa na construção desse conceito pelo discente, utilizando a Educação por Projetos. Assim a questão de pesquisa que buscamos responder é:

Qual o aprendizado de eletricidade com foco em circuitos impressos que estudantes do 3ºano do Ensino Médio da Escola em Referência Professor Francisco Joaquim de Barros Correia conseguem desenvolver em uma proposta de Educação por Projetos?

Com o propósito de alcançar essa resposta, buscamos nesta pesquisa investigar os níveis de aprendizagem do conteúdo de eletricidade, segundo a taxonomia de Bloom no contexto da Educação por projetos. Nesse sentido, os objetivos específicos são:

- Classificar os níveis de aprendizagem em relação aos conceitos de eletricidade, segundo a Taxonomia de Bloom.
- Investigar a contribuição da Educação por Projetos para o domínio dos conceitos de eletricidade.
- Mapear as etapas de construção dos circuitos impressos utilizando a metodologia de Ilhas de Racionalidade.
- Relacionar as aprendizagens alcançadas na proposta de Educação por Projetos à Teoria da Aprendizagem Significativa.

Desta forma, passaremos a apresentar os referenciais teóricos na qual se baseou a produção educacional deste trabalho: a teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, a Educação por Projeto proposto por Dewey e os conceitos físicos do conteúdo de Eletricidade. Apresentamos em seguida à metodologia utilizada para a realização deste trabalho envolvendo os discentes dos terceiros anos do ensino médio da Escola em Referência do interior do Agreste Pernambucano, como se dará o desenvolvimento do instrumento e sua coleta de dados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nossa proposta consiste em apresentar os aspectos da teoria de Aprendizagem Significativa desenvolvida por David Ausubel, destacando os tipos de aprendizagens possíveis. Nas seções seguintes apresentaremos a aprendizagem que se desenvolve na educação baseada em projetos, o conceito físico do conteúdo de Eletricidade e as Ilhas de Racionalidade proposta por Fourez, como uma forma de orientar as práticas da aprendizagem por projetos.

### 2.1 TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A teoria de Ausubel tem como principal conceito a aprendizagem significativa. Para Ausubel, para acontecer a aprendizagem significativa é necessário que o aprendiz consiga relacionar uma nova informação, de maneira não-litera e não arbitrária, com um conhecimento prévio adequado, que tenha relevância na estrutura de conhecimento do indivíduo. Ausubel define essa estrutura de conhecimento, como conceito de subsunção, ou simplesmente subsunção (MOREIRA, 1999b).

O conhecimento prévio, de acordo com a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, é aquilo que o discente já detém como conhecimento, organizado de uma certa forma em qualquer modalidade de conhecimento. Esse conhecimento prévio é um forte influenciador para a aprendizagem significativa, é a ponte para construção do conhecimento, onde as novas informações integram-se a aquilo que o aprendiz já conhece. Para Ausubel, segundo Moreira (1999b, p. 152), "... o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo".

Para o aprendiz o conhecimento prévio é fundamental para o adquirir de novos conhecimentos. Eles servem como âncora, porém nessa interação, o conhecimento prévio também se modifica. Podemos destacar como conhecimentos prévios, os conhecimentos procedimentais, afetivos e contextuais. Conforme a aprendizagem passa a ser significativa, os conhecimentos prévios adequados relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz, os subsunções, vão ficando mais elaborados e capazes de ancorar novas informações (AUSUBEL, 2003).

A fim de facilitar a aprendizagem sobre um conceito desconhecido, são utilizados os organizadores prévios. É necessário estabelecer uma organização prévia dos conceitos, através dos organizadores prévios, para promover a aprendizagem significativa (MASINI e MOREIRA, 2001).

Moreira (2006) define organizadores prévios como:

Materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. ... Eles podem tanto fornecer “ideias âncora” relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem (MOREIRA, 2006, p. 137).

Os organizadores prévios têm como principal função elaborar uma ponte entre o que o discente já sabe e o que ele precisa saber. Dessa forma, o aprendiz deve utilizar os organizadores prévios, para aprender significativamente um conhecimento. É afirmado por Ausubel, (1980) que a utilização de organizadores prévios é a principal estratégia para manipular a estrutura cognitiva, promovendo aprendizagem significativa.

A Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel prioriza a aprendizagem cognitiva e propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem. Essa teoria de aprendizagem é construtivista, pois o processo de aprendizagem se dá por construção, onde o sujeito é o agente principal de seu processo de aprendizagem, ele constrói ao invés de simplesmente armazenar. O sujeito é levado a encontrar suas próprias respostas, e a partir de suas ações, como elemento estruturante do seu conhecimento, vai estabelecendo relações com os objetos e construindo as características do mundo.

A mente do sujeito deve estar ativa de modo a desenvolver o processo de assimilar um novo conhecimento ao conhecimento prévio relevante. Quando o sujeito reflete, apodera e aplica em outro contexto, esse conceito ganha significado e se torna mais complexo. Para o autor, aprendizagem é a organização e integração do conteúdo aprendido numa edificação mental ordenada, estrutura cognitiva (AUSUBEL, 1968).

A aprendizagem significativa é promovida através da interação entre os materiais de aprendizagem e os conhecimentos prévios ativados para dar-lhes sentido, modificando dessa forma o conhecimento prévio, fazendo surgir um novo conhecimento.

Contudo, é frequente que o conhecimento prévio que os discentes detêm sobre os fenômenos naturais não estejam de acordo com os conceitos científicos, com as teorias e leis que servem para descrever o mundo em que vivem. Desta forma, os discentes tentam compreender uma nova situação científica a partir do seu conhecimento prévio, acaba gerando um conhecimento errôneo que não reflete em uma compreensão científica. Por essa razão, Pozo e Crespo (2009) afirmam que este é um dos problemas fundamentais para aprendizagem de ciência.

## 2.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Quando se interpreta qualquer situação apresentada, a partir dos conhecimentos prévios, os discentes assimilam o conhecimento científico ao conhecimento cotidiano, ao contrário de interpretar os conhecimentos prévios em função dos conhecimentos científicos. Exemplo: Quando um discente é questionado sobre um fenômeno natural, ele responde a partir de sua realidade, baseado no seu senso comum. Portanto, os conhecimentos prévios não correspondem a um conhecimento científico correto e são conhecidos por concepções alternativas (POZO e CRESPO, 2009).

As concepções alternativas podem ser de origem sensorial, cultural e escolar:

- origem sensorial (são concepções espontâneas, na tentativa de dar significado às atividades cotidianas, o discente utiliza certas regras simplificadoras, reduzindo a complexidade do mundo sensorial);
- origem cultural (são concepções alternativas originadas no contexto social, considerando que a escola não é o único meio de transmissão cultural, os discentes chegam ao âmbito escolar, induzidos por algumas crenças socialmente aceitas).
- origem escolar (são concepções alternativas que surgem nos materiais e atividades didáticas. As apresentações deformada e simplificada dos conceitos, presentes nos livros e na explicação do docente originam os erros conceituais levando os discentes à assimilação errônea (POZO e CRESPO, 2009).

## 2.3 ASSIMILAÇÃO DE CONCEITOS

A maioria das crianças no processo de escolarização, já possui um conjunto adequado de conceitos que permitem a aprendizagem significativa. A formação de conceitos no desenvolvimento da idade escolar, em sua maioria é formada através da assimilação.

A assimilação do conceito acontece quando um conceito é assimilado sob um mais inclusivo existente na estrutura cognitiva. O conceito mais inclusivo com o qual ela se relaciona, é modificado pela interação, existente no cognitivo, promovendo a aprendizagem significativa. A assimilação de conceitos, ocorre através de duas formas: diferenciação progressiva e reconciliação integrativa .

### 2.3.1 Diferenciação progressiva

Em relação ao princípio de diferenciação progressiva, AUSUBEL (2003) afirma que:

(...) a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstração, generalidade e inclusão”, de “(...) regiões de maior inclusão para as de menor, cada uma delas ligada ao degrau mais acima na hierarquia, através de um processo de subsunção (...) de conceitos e de proposições menos inclusivos, bem como características de dados informativos específicos (AUSUBEL, 2003, p. 60; 166).

Dessa maneira é notório que para o autor existe uma maior facilidade em termo de aprendizagem de conceitos, quando o sujeito percebe a relação de subordinação de conceitos, partindo do mais inclusivo para os mais específicos e não o processo inverso, a partir das especificidades para chegar ao conceito mais inclusivo. Portanto, na diferenciação progressiva, a assimilação parte de um conceito mais geral para conceitos específicos, como se utiliza nas construções de mapas conceituais, onde se tem o conceito geral no topo e dele saem as ramificações com conceitos mais específicos.

### 2.3.2 Reconciliação integrativa

No princípio de reconciliação integrativa, há uma organização da hierarquia considerando as relações entre as informações, de modo que se apresenta

algo mais específico relacionando com o mais incluso, pontuando as semelhanças e diferenças, em uma conexão entre conceitos que antes não era perceptível. Ou seja, consiste em perceber as semelhanças e particularidades de modo que o conceito mais inclusivo é alargado. AUSUBEL (2003, p. 170) conceitua esse princípio como a “(...) capacidade de discriminação das diferenças entre os novos materiais de aprendizagem e ideias aparentemente análogas, mas frequentemente conflituosas, na estrutura cognitiva do aprendiz”.

## 2.4 APRENDIZAGEM MECÂNICA

Além da aprendizagem significativa, existe outra maneira de se aprender: aprendizagem mecânica. Para Ausubel (2003), essa aprendizagem ocorre quando não há interação entre uma nova informação com o conhecimento prévio, ou seja, as novas informações não interagem ou pouco interagem com as informações relevantes existentes na estrutura cognitiva. Portanto, a nova informação é armazenada de maneira arbitrária e o aprendiz só consegue transmitir o conhecimento da mesma maneira como foi apresentada. No entanto, a aprendizagem mecânica é sempre necessária quando o aprendiz adquire novos conhecimentos numa nova área, esses conhecimentos mecânicos passam a ser utilizados como âncoras, de forma a propiciar um subsunçor sobre o conteúdo considerado. Dessa forma os subsunçores vão ficando cada vez mais complexos. Por isso Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica, como sendo uma dicotomia (MOREIRA, 1999b).

Moreira (2013) resume o processo de aprendizagem da seguinte forma:

1. Um novo conhecimento interage com algum conhecimento prévio, especificamente relevante, e o resultado disso é que esse novo conhecimento adquire significado para o aprendiz e o conhecimento prévio adquire novos significados, fica mais elaborado, mais claro, mais diferenciado, mais capaz de funcionar como subsunçor para outros novos conhecimentos;
2. Durante um certo período de tempo, a fase de retenção, o novo conhecimento pode ser reproduzido e utilizado com todas suas características, independente do subsunçor que lhe deu significado em um processo de interação cognitiva;
3. No entanto, simultaneamente, tem início um processo de obliteração cujo resultado é um esquecimento (residual) daquele que era um novo conhecimento e que foi aprendido significativamente. Isso quer dizer que aprendizagem significativa não é sinônimo de “nunca esquecer” ou “daquilo que não esquecemos”;
4. A assimilação obliteradora é a continuidade natural da aprendizagem significativa. Mas essa obliteração não leva a um esquecimento total. Ao

contrário, o novo conhecimento acaba “ficando dentro do subsunçor” e a reaprendizagem é possível e relativamente fácil e rápida (MOREIRA, 2013, p. 6).

De acordo com Moreira, algumas vantagens são descritas em relação aprendizagem mecânica. O conhecimento uma vez que adquirido de forma significativa é armazenada e recordado por mais tempo, mesmo que a informação original seja esquecida, os conteúdos serão aprendidos de uma maneira mais fácil. E uma vez esquecida à informação, há uma facilidade para uma aprendizagem posterior – a reaprendizagem.

## 2.5 TIPOS DE APRENDIZAGEM

Segundo Ausubel (2003), a aprendizagem significativa é diferenciada em três tipos: representacional, conceitual e proposicional.

### 2.5.1 Representacional

A aprendizagem representacional acontece quando o símbolo significa apenas o referente que representa. Por exemplo, se para o sujeito a palavra televisão significa somente a televisão que ele tem em casa, ele não tem o conceito de televisão, e sim uma representação de televisão. Ausubel enfatiza que essa aprendizagem é significativa porque tais representações podem relacionar-se de forma não arbitrária, já que desde que nascemos tudo tem um nome e este significa um referente concreto.

### 2.5.2 Conceitual

A aprendizagem conceitual está muito relacionada com a aprendizagem representacional. Ela ocorre quando o sujeito percebe regularidades em eventos ou objetos. Retomando o exemplo anterior, quando um sujeito tem o conceito de televisão, e o símbolo televisão representa infinitos objetos com característica e propriedades em comuns, e não apenas como no caso da aprendizagem representacional. Uma vez construído um conceito, o sujeito se libera de referentes específicos, e esse conceito passa a ser representado por um símbolo.

### 2.5.3 Proposicional

Na aprendizagem proposicional, o fundamental não é aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, mas sim aprender o significado de ideias por meio desses conceitos em forma de proposição (MOREIRA, 1999b). Nesse tipo de aprendizagem a atribuição de significados a um novo conhecimento implica na interação com vários conhecimentos já existentes na cognição. Invés de utilizar um determinado subsunçor para a interação é necessário um conhecimento mais amplo que o sujeito já tem em determinado campo de conhecimento. Por exemplo: para entender algumas fórmulas da disciplina de física não basta ter apenas os conceitos envolvidos e sim um conhecimento mais amplo de Física.

## 2.6 CONCEITOS FÍSICOS DO CONTEÚDO DE ELETRICIDADE

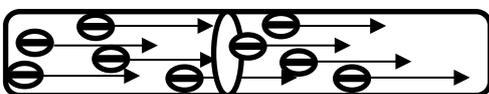
A eletricidade é um termo geral que abrange uma variedade de fenômenos resultantes da presença e do fluxo de carga elétrica. Alguns conceitos importantes que dizem respeito à eletricidade são: intensidade de corrente elétrica, diferença de potencial elétrico e resistência elétrica.

### 2.6.1 Intensidade de corrente elétrica

Quando uma lâmpada é conectada a uma pilha através de fios, a lâmpada acende. Isso porque os elétrons são acelerados pela diferença de potencial entre os polos positivo e negativo da pilha, constituindo a corrente elétrica, que ao passar pelo filamento da lâmpada faz com que esta acenda.

A intensidade de corrente elétrica ( $i$ ) (Figura 1) é definida como a quantidade de carga ( $\Delta Q$ ) que passa por uma seção transversal do fio por unidade de tempo ( $\Delta t$ ).

Figura 1: Representação do movimento de elétrons em um condutor



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

Fonte: Autor (2018)

No Sistema Internacional de Medidas (SI), a unidade de corrente elétrica é o ampère (A), definido como 1 coulomb/1 segundo.

### 2.6.2 Diferença de potencial (d.d.p) ou tensão elétrica

O que significa uma bateria ter uma tensão de 6V?

O campo elétrico realiza trabalho ao transportar carga entre dois pontos do circuito. Exemplo: Se a carga (Q) for transportada de M para N e receber a energia  $\tau$ , dizemos que entre os pontos M e N, existe uma tensão,  $U_{MN}$ , escrita por:

$$U_{MN} = \frac{\tau}{Q}$$

No SI, a unidade de tensão elétrica é o volt (V) definido como 1 joule/1coulomb.

Portanto, uma tensão de 6V significa que a força elétrica realiza um trabalho de 6J, para transportar uma carga de 1C entre dois polos.

### 2.6.3 Resistência elétrica

A resistência elétrica (R) decorre de colisões dos elétrons com outros elétrons e com átomos do material pelo qual a corrente elétrica circula.

O resistor é o dispositivo que em um circuito tem a função de oferecer resistência à passagem da corrente elétrica. É representado por esse símbolo no circuito:



A resistência elétrica é uma propriedade de muitos dispositivos. O filamento de uma lâmpada incandescente, por exemplo, nada mais é que um resistor que atinge uma alta temperatura com a passagem da corrente elétrica. A unidade de medida de resistência elétrica no SI, é o ohm ( $\Omega$ ), definido por:

$$1 \text{ ohm (} 1\Omega \text{)} = 1 \text{ volt (} 1\text{V)} / 1 \text{ ampère (} 1\text{A)}$$

### 2.6.3.1 Primeira lei de Ohm

A Primeira Lei de Ohm postula que um condutor ôhmico (resistência constante) mantido à temperatura constante, a intensidade de corrente elétrica ( $i$ ) será proporcional à diferença de potencial (d.d.p) aplicada entre suas extremidades.

A lei é representada pela seguinte fórmula:

$$\frac{U}{i} = R = \text{constante}$$

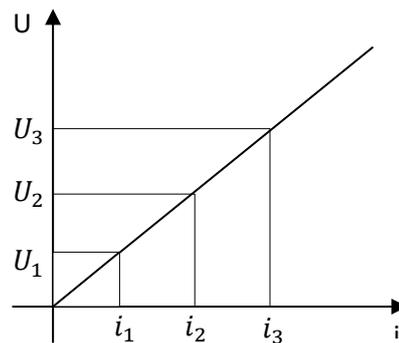
U: diferença de potencial (d.d.p) ou tensão elétrica, medido em Volts (V)

R: resistência elétrica, medida em Ohm ( $\Omega$ )

i: intensidade de corrente elétrica, medida em Ampère (A)

Graficamente isso pode ser expresso através de uma reta (Gráfico 1):

Gráfico 1: Tensão (U) x Corrente (i) de um resistor



Fonte: Autor (2018)

A tangente pode ser matematicamente expressa da seguinte forma:

$$R = \frac{\Delta U}{I}$$

Ou seja, a tangente será igual ao valor da resistência elétrica do circuito.

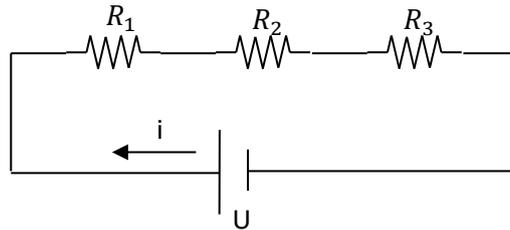
### 2.6.3.2 Associação de resistores

Associação de Resistores é um circuito que apresenta dois ou mais resistores. Há três tipos de associação: em série, em paralelo e mista. Ao analisar um circuito podemos encontrar o valor do resistor equivalente, ou seja, o valor da resistência que sozinha poderia substituir todas as outras sem alterar os valores das demais grandezas associadas ao circuito.

### 2.6.3.3 Associação em série

Os resistores nessa associação são ligados em sequência. Isso faz com que a corrente elétrica seja a mesma ao longo do circuito, enquanto a tensão elétrica varia para cada resistor (Figura 2).

Figura 2: Associação de resistores em série



Fonte: Autor (2018)

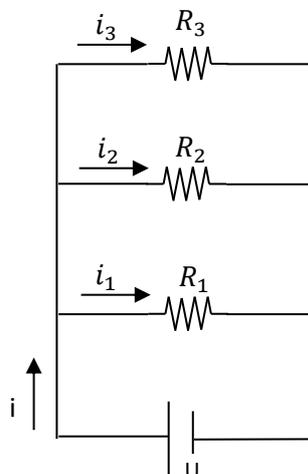
A resistência equivalente ( $R_{eq}$ ) do circuito corresponde à soma das resistências de cada resistor presente no circuito:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

### 2.6.3.4 Associação em paralelo

Nesse tipo de associação os resistores estão submetidos a mesma tensão elétrica, enquanto a corrente elétrica é dividida pelo ramo do circuito (Figura 3).

Figura 3: Associação de resistores em paralelo



Fonte: Autor (2018)

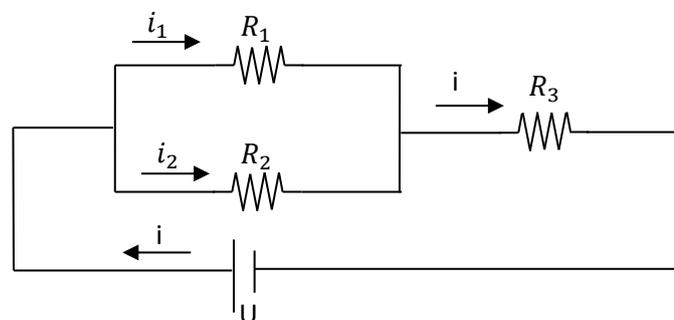
A resistência equivalente ( $R_{eq}$ ) do circuito corresponde à soma dos inversos das resistências de cada resistor presente no circuito:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### 2.6.3.5 Associação mista

Nessa associação os resistores são ligados em série e em paralelo. Para resolvermos esse tipo de circuito, primeiro encontramos o valor correspondente à associação em paralelo e em seguida somamos aos resistores em série (Figura 4).

Figura 4: Associação de resistores mista



Fonte: Autor (2018)

## 2.7 EDUCAÇÃO POR PROJETOS

A metodologia de ensino por projeto por volta dos anos trinta foi proposta inicialmente por Dewey (1968), na abordagem da Escola Nova. Nesta aprendizagem o projeto deve ser considerado como um recurso destinado a dar vida ao conteúdo tornando a escola mais atraente. Segundo Hernández (1988, p.49) o trabalho por projeto “não deve ser visto como uma opção puramente metodológica, mas como uma maneira de repensar a função da escola”.

A escola além de ensinar os conteúdos, torna-se um lugar com diversidades culturais conectando os saberes dos discentes com os saberes sociais. Com grande importância no desenvolvimento do ser na sociedade, a escola demonstra o valor do conhecimento e sua utilidade para vivência de mundo.

Nesse cenário, a educação por projetos surge como uma metodologia que valorize a participação do discente e do docente no processo de

ensino/aprendizagem, onde o docente deixa de ser o único responsável pela aprendizagem e passa a ser um orientador do discente. Para Dewey (1959):

Podemos e fazemos transmitir “ideias” preparadas, ideias “feitas”, aos milheiros; mas geralmente não nos damos muito trabalho para fazer com que a pessoa que aprende participe de situações significativas onde sua própria atividade origina, reforça e prova ideias – isto é, significações ou relações percebidas. Isso não quer dizer que o docente fique de lado, como simples espectador, pois o oposto de fornecer ideias já feitas e matéria já preparada e de ouvir se o aluno reproduz exatamente o ensinado, não é inércia e sim a participação na atividade. Em tal atividade compartilhada, o professor é um aluno e o aluno é, sem saber, um professor – e, tudo bem considerado, melhor será que, tanto o que dá como o que recebe a instrução, tenham ao menos consciência possível de seu papel (DEWEY, 1959, p. 176).

Essa educação de projetos permiti que o discente aprenda, reconhecendo sua autoria naquilo que ele está fazendo, por meio de situações problemas que tanto impulsionam a contextualizar conceitos já conhecidos como descobrir novos conceitos desenvolvidos ao longo do projeto.

É importante ressaltar que o discente traz consigo uma formação cultural, histórica e econômica que devem ser valorizadas. Essa valorização se dá a partir do seu decidir, debater, opinar, construir sua autonomia no exercício de sua cidadania, reconhecendo-se como sujeito que produz e desfruta de cultura. Nessa circunstância, os projetos permitem uma aprendizagem significativa por meio da participação ativa dos discentes, vivenciando, refletindo e tomando atitudes diante dos fatos nas situações problemas.

Nessa perspectiva, Moura e Barbosa (2006), afirma que a pedagogia de projetos:

São projetos desenvolvidos por alunos em uma (ou mais) disciplina (s), no contexto escolar, sob a orientação do professor, e têm por objetivo a aprendizagem de conceitos e desenvolvimento de competências e habilidades específicas. Esses projetos são conduzidos de acordo com uma metodologia denominada Metodologia de Projetos, ou Pedagogia de Projetos. [...] os projetos de trabalho são executados pelos alunos sob a orientação do professor visando a aquisição de determinados conhecimentos, habilidades e valores (MOURA e BARBOSA, 2006, p. 6).

A interdisciplinaridade vista na pedagogia de projetos de forma potencializada, ocorre porque os projetos permitem romper as barreiras disciplinares, favorecendo o aprendizado em conjunto numa situação contextualizada da aprendizagem.

Vale ressaltar também, a importância do docente como intervenção no processo de aprendizagem, garantindo que os conceitos utilizados na realização do projeto sejam compreendidos, sistematizados e formalizados pelo discente. Ao

mesmo tempo que o discente reconhece seu protagonismo no projeto, ele precisa também sentir a presença do docente que propicia a construção do conhecimento através do questionar, ouvir e orientar.

Ao docente compete resgatar as experiências do discente auxiliando na identificação, reflexão e na concretização das ações mediante as reflexões. É preciso também saber estimular a fim de que se torne interesse do grupo em geral, dessa forma o estudo envolverá a todos de maneira ativa e participativa. Para Lemos (2000):

Consideramos que os projetos constituem uma peça central para complementar uma filosofia construtivista dentro da sala de aula, pois, para se obter uma aprendizagem mais significativa, não basta apenas adquirir conhecimentos teóricos informativos, necessita-se ir além, para direcionar e utilizar toda a informação adquirida. Diante de conteúdos e fatos, é preciso saber analisá-los, criticá-los e sintetizá-los, de modo a planejar ações e resolver problemas. Os aspectos básicos da aplicação dos projetos no ensino relacionam-se a uma total interação do educando com a situação de aprendizagem e com o planejamento em função da realidade, levando em consideração as características dos alunos, da escola e da sociedade (LEMOS, 2000, p. 58).

Portanto, esse tipo de estratégia pedagógica permite ao discente que ele discuta sobre uma problemática de seu cotidiano ou de um assunto relacionado com os estudos de certa disciplina, envolvendo o uso dos meios de difusão do conhecimento hoje disponíveis. Além de ser um modo de aprender baseado na interdisciplinaridade, o discente gera confronto de ideias, desenvolvendo competências interpessoais e aprendendo de forma colaborativa com os demais.

## 2.8 ILHAS DE RACIONALIDADE

Nesse contexto, a presente pesquisa apresenta o desenvolvimento de uma proposta de educação por projetos, em que as etapas para a construção de circuitos impressos, sejam organizadas sobre a metodologia de Ilhas de Racionalidade, com o propósito de verificar a aprendizagem em torno de um projeto interdisciplinar, uma vez que esse projeto aborda conceitos geométricos (formato da placa utilizada, desenho do circuito), químicos (corrosão na placa com o Percloro de Ferro) e físicos (associação de resistores).

Uma Ilha de Racionalidade (IR) é caracterizada por uma representação teórica de um contexto e de um projeto, permitindo a autonomia, comunicação, domínio e responsabilidade frente a um assunto. A teoria imposta pela Ilha de Racionalidade, de acordo com Fourez, é quase sempre interdisciplinar. Os

conhecimentos que são utilizados para construção das Ilhas de Racionalidade, têm no modelo teórico o meio de relatar o que vai ser feito sobre a situação (NEHRING et.al., 2002).

Algumas propostas são necessárias para a construção de uma Ilha de Racionalidade, uma vez que o trabalho deve ser delimitado para que atinja um fim. Composta por oito etapas, e para cada uma, um objetivo a ser cumprido, mesmo sendo apresentadas de maneira linear, elas são móveis e abertas, podendo em alguns casos serem suprimidas e/ou revisitadas quantas vezes forem necessárias. Elas servem como um esquema de trabalho, de modo a evitar que ela se torne tão abrangente que não se consiga chegar ao final (NEHRING et.al., 2002).

A primeira etapa de Ilhas de Racionalidade, “Elaborar um clichê da situação estudada”. As equipes levantaram todos os tipos de perguntas possíveis, gerais e específicas. Nesse momento serão refletidas as ideias prévias do grupo, as concepções e as dúvidas sobre a situação proposta, pelo docente. No desenvolvimento dos circuitos impressos, essa etapa se constituirá de questões envolvendo, a quantidade de LEDs, a cor do LED, a quantidades de resistores, a tensão utilizada, etc. Por ser uma etapa de questionamento espontâneo, algumas perguntas das que surgiram devem ser respondidas e outras podem ser desconsideradas, tendo sempre como foco o desenvolvimento da IR.

Nessa etapa da IR “Elaborar o panorama espontâneo”, busca ampliar o clichê a partir da formulação pelo docente e pelos discentes, de refinamento de questões, levantamento de normas e restrições, que serão abordados na listagem das especialidades e dos especialistas envolvidos com a situação (PINHEIRO, 2002). Essa etapa os discentes trabalham no sentido de organizar as próximas ações. Caracterizada pela autonomia dos discentes ante o projeto, ainda não se faz apelo aos especialistas, porém a interação com docente é fundamental, pois o mesmo, defini as questões relacionadas com o projeto a ser desenvolvido.

Na etapa três, “Consulta aos especialistas e às especialidades”, busca-se definir quais especialistas da lista serão consultados. Os membros da equipe podem atuar como especialistas internos ao projeto. Ocorre o envolvimento com diversas áreas do conhecimento (PINHEIRO, 2002). As etapas de uma IR não são isoladas, no caso do projeto de circuitos impressos, a equipe define quais dos

especialistas serão consultados para desvendar algumas questões em aberto (denominadas de “caixas-preta” na IR).

Já na quarta etapa da IR, “Indo à prática”, procura-se um aprofundamento, definido pelo projeto e pelos produtores da ilha de racionalidade na qual ocorre o confronto entre a própria experiência e as situações concretas, onde saímos do abstrato para o concreto. Esse momento se caracteriza pela maior aproximação entre o contexto estudado e o cotidiano. Na construção dos circuitos impressos, essa etapa caracteriza-se pela definição e desenvolvimento, do tamanho da placa a ser utilizada (geometria), quantidade de LEDs (matemática e física), tipo de associação no circuito elétrico (Física), cor utilizada nos LEDs (Física) e quantidade de resistores (matemática e física).

Dando continuidade as etapas, a próxima etapa da IR, configura-se pela “Abertura aprofundada de alguma caixa preta para buscar princípios disciplinares”, é marcada pela disciplina específica dentro de uma proposta multidisciplinar. Essa etapa é caracterizada pelo estudo aprofundado de algum conceito abordado, presente na abertura das caixas-pretas. Qual tipo de associação, a instalação dos LEDs, de resistores, a intensidade de corrente elétrica etc., demonstra todo o conhecimento específico aplicado à eletricidade.

Na etapa seis, “Esquematizando a situação pensada”, houve a elaboração de uma síntese, que pode ser um diagrama ou um resumo, contendo os principais aspectos escolhidos pela equipe, contendo os principais pontos da ilha de racionalidade e especificando novas caixas-pretas que podem ser abertas. Essa etapa se caracteriza, no projeto dos circuitos impressos, pela etapa em que a placa já deverá estar pronta e novos questionamentos serão lançados sobre o protótipo, como a intensidade da luz e a tensão fornecida para o LED. Após esses processos, é possível dar uma representação da situação estudada.

A sétima etapa da IR “Abrir algumas caixas pretas sem a ajuda de especialistas”, é marcada pelo aprofundamento de algumas questões sem consultar especialistas, que podem não estar disponíveis. Todos nós construímos intuitivamente explicações para situações do cotidiano mesmo sem possuir uma base científica. Essas construções são de extrema importância, pois garantem um momento de autonomia da equipe. Essa etapa será atingida com a construção de hipóteses, o que definirá a autonomia da equipe frente ao projeto.

A oitava e última etapa, constitui em elaborar uma “síntese da IR”, apresentação do “produto final”. Essa etapa será concluída, com a confecção de circuitos impressos.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo descreveremos sobre a Taxonomia de Bloom e como foi elaborado os dois questionários baseados nessa Taxonomia. Também retrataremos como foi realizada a intervenção pedagógica, os materiais e recursos utilizados para o desenvolvimento do projeto interdisciplinar dos circuitos impressos.

A presente pesquisa se caracteriza por uma pesquisa exploratória com delineamento quase experimental. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar mais informações sobre o assunto pesquisado, possibilitando sua definição e seu delineamento. Através de diversas técnicas, a pesquisa exploratória pode ser realizada, geralmente com uma pequena amostra, que permite ao pesquisador definir o seu problema de pesquisa e formular a sua hipótese com mais precisão. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008). O delineamento quase experimental é marcado pelo processo de observação antes e depois de um dado tratamento (APPOLINÁRIO, 2006). O pesquisador tenta preparar um delineamento para o ambiente mais próximo do mundo real, e terá participação ativa durante a intervenção na escola, onde o mesmo será tutor do projeto.

A metodologia da pesquisa está dividida em três etapas: A construção de questionários para a coleta de dados, tendo como base a Taxonomia de Bloom; a intervenção na escola e a aplicação e análise dos questionários de acordo com a Taxonomia de Bloom e evidenciados a luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel.

No presente trabalho apresentamos a aprendizagem alcançada por discentes da educação básica em uma proposta de Educação por Projetos. Foi proposto aos 15 discentes do 3º ano do Ensino Médio da Escola em Referência Professor Francisco Joaquim de Barros Correia, o desenvolvimento de circuitos impressos, enquanto projeto interdisciplinar. Os discentes foram nomeados, utilizando uma numeração de 01 a 15. Como critério de inclusão, todos os discentes matriculados no 3º ano do Ensino Médio poderiam participar da pesquisa, porém os 15 primeiros que se inscreveram foram os classificados. Caso os classificados faltassem mais de dois encontros durante a intervenção, estariam classificados para o critério de exclusão.

No primeiro contato com os discentes para desenvolvimento dos circuitos impressos foi aplicado um questionário (Apêndice A), composto com seis questões, cada questão construída de acordo com as competências da Taxonomia de Bloom (Anexo A), a fim de avaliar a aprendizagem alcançada. Esse primeiro questionário foi para levantar o conhecimento prévio dos discentes sobre os conteúdos que seriam abordados no projeto. Ao término do projeto, no último encontro, foi aplicado outro questionário (Apêndice B), que também foi composto por seis questões, e essas questões também foram construídas de acordo com a Taxonomia de Bloom. Descreveremos a seguir como foram elaborados os dois questionários, o processo de análise dos mesmos e como foi desenvolvido o projeto de circuitos impressos.

Conforme Araujo (2005):

Para avaliar a ocorrência de uma aprendizagem significativa, devemos buscar evidências que o aprendiz está compreendendo genuinamente um conceito, ou seja, que ele está atribuindo a ele significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Entretanto, um estudante após uma longa experiência em fazer exames pode se habituar a memorizar proposições e fórmulas, mas também, causas, exemplos, explicações e formas de resolver “problemas exemplares”. Deste modo, Ausubel propõe que a melhor maneira de evitar a “simulação de aprendizagem significativa” é utilizar questões e problemas que sejam novos e não familiares ao estudante e que requeiram máxima transformação do conhecimento existente (ARAUJO, 2005, p 71).

Portanto, foram feitas duas avaliações: um instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto (Anexo B), que foi elaborado expondo os discentes à resolução de problemas reais; e o outro instrumento de avaliação foi aplicado ao término do projeto (Anexo C) para verificar o avanço da aprendizagem abordando as relações entre diferença de potencial elétrico (d.d.p), resistência elétrica, intensidade de corrente elétrica e associação de resistores.

Ilhas de Racionalidade elaborada por Gerard Fourez (2005) foi a metodologia utilizada para o desenvolvimento da proposta de educação por projetos. Acerca do conteúdo de eletricidade, evidenciam-se os conceitos específicos de d.d.p, resistência elétrica, intensidade de corrente elétrica e associação de resistores, para o desenvolvimento de circuitos impressos. Com o propósito de auxiliar a aprendizagem dos discentes do Ensino Médio, foram construídas questões contextualizadas (Apêndice) que visam motivar e instigar o discente a pensar sobre a situação problema. Para classificar e categorizar as aprendizagens alcançadas pelos discentes, utilizamos a Taxonomia de Bloom.

Com o objetivo de auxiliar a identificação e declaração dos objetivos ligados ao desenvolvimento cognitivo, a Taxonomia de Bloom, compreende a aquisição do conhecimento, competência e atitude, visando facilitar o planejamento do processo de ensino e aprendizagem (FERRAZ & BELHOT, 2010). Segundo Alves (2013):

“O estabelecimento de objetivos numa sala de aula é importante e essencial tanto para alunos como para professores. Aos alunos permite identificar o que deverão saber no final da aula/unidade e ao professor saber quais os pontos que deverão ser alvo de avaliação.” (ALVES, 2013, p.6).

A etimologia da palavra taxonomia provém do grego táxis (ordem) e nómos (lei). Uma taxonomia é o estudo científico responsável pela classificação sistemática de diferentes elementos de uma área específica. É o ato de dar nomes, classificar e identificar.

Alves (2013) evidencia o uso das taxonomias:

“As taxonomias de objetivos educacionais consistem num conjunto de categorias gerais e específicas que incluem todas as possíveis metas de aprendizagem que se podem atingir no processo de ensino-aprendizagem, facilitando a formulação de objetivos pelo facto de se basearem num sistema onde as metas de aprendizagem podem ser descritas por mudanças comportamentais nos alunos (Domingos et al., 1987).” (ALVES, 2013, p.6).

Líder de um grupo formado pela associação Americana de Psicologia, Benjamin Bloom foi um educador norte-americano que criou uma “classificação de objetivos de processos educacionais”. Ele e seus colegas criaram uma divisão de objetivos educacionais em três partes: cognitiva, afetiva e psicomotora. O domínio cognitivo é dentre estes três, o mais frequentemente usado.

A Taxonomia de Bloom do Domínio Cognitivo tem como ideia central um arranjo hierárquico do mais simples (conhecimento) para o mais complexo (avaliação). Tem como estrutura seis níveis cognitivos crescentes, de forma que para adquirir uma nova habilidade pertencente a outro nível, o discente tem que dominar a habilidade no nível anterior. Esses níveis cognitivos são divididos em: compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação. Cada nível cognitivo tem seus subníveis e estão descritos no Anexo A. Desde que foi publicada, a Taxonomia de Bloom tem oferecido uma base sólida na evolução de currículos de Escolas do mundo inteiro (ANDERSON & KRATHWOHL, 2001). Dessa forma, evidenciando sua relevância na área educacional.

A intervenção foi realizada no período 08 de agosto a 09 de outubro de 2017, com um encontro semanal com duração de 1h40min, com discentes do terceiro

ano do ensino médio da Escola em Referência Professor Francisco Joaquim de Barros Correia, do interior do Agreste Pernambucano. No primeiro encontro os discentes alvo da intervenção responderam uma avaliação diagnóstica composta de seis questões (Apêndice A), cada questão desenvolvida de acordo com um nível da taxonomia de Bloom. Como já dito, esse primeiro questionário buscou conhecer as noções dos discentes referentes aos conceitos de eletricidade (d.d.p, resistência e corrente elétrica), uma vez que o assunto já tinha sido estudado pelos discentes na segunda unidade do ano decorrente.

Na semana seguinte, tiveram início o desenvolvimento das 8 etapas propostas para a construção da IR. Na etapa de elaboração da situação clichê, os discentes foram divididos em três grupos, onde cada grupo recebeu um texto sobre “a História da Eletricidade”. Textos esses transcritos de um documentário da British Broadcasting Corporation (BBC), dividido em três partes, referido no Anexo D. Os textos trazem a história da eletricidade e o desenvolvimento das pesquisas. Os discentes puderam perceber como foram revelados os mistérios da eletricidade, pensar na transformação do mundo, nos avanços das pesquisas sobre eletricidade e conhecer sobre as transformações da sociedade a partir da energia elétrica, mostrando os efeitos e descobertas dos cientistas. Além de conhecer um pouco mais sobre Faraday, Galvani, Volta e suas contribuições para eletricidade.

Os discentes foram questionados sobre os textos, expondo suas ideias, levantando os pontos relevantes, os cientistas e suas contribuições citadas no texto. O debate contribuiu para um primeiro contato com o tema na intervenção. Os textos estão apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1** - Temas e resumos dos textos que foram apresentados aos estudantes da educação básica.

Tema do texto	Resumo do texto
<p>1. BBC - A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Fâsca - Episódio 01  <b>BBC FOUR. Shock and Awe: The Story of Electricity. Disponível em: &lt;<a href="http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.1.pdf">http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.1.pdf</a>&gt;. Acesso em: 27 de maio de 2017.</b></p>	<p>O cientista mais famoso da época, Humphry Davy, construiu um equipamento elétrico de oito metros, a maior pilha já inventada. O texto também traz um elo curioso entre a vida e a eletricidade.</p>
<p>2. BBC - A História da Eletricidade – A Era da Invenção - Episódio 02  <b>BBC FOUR. Shock and Awe: The Story of Electricity. Disponível em: &lt;<a href="http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.2.pdf">http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.2.pdf</a>&gt;. Acesso em: 27 de maio de 2017.</b></p>	<p>O texto fala sobre a transformação do mundo, permitindo gerar quantidades aparentemente ilimitadas de energia elétrica, e fala ainda como os avanços nas pesquisas sobre eletricidade</p>

	tornaram as cidades iluminadas e o cotidiano mais dinâmico.
<b>3. BBC - A História da Eletricidade - Revelações e Revoluções - Episódio 03 BBC FOUR. Shock and Awe: The Story of Electricity. Disponível em: &lt;<a href="http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.3.pdf">http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/IE/NG/HISTORIA.ELETRICIDADE.3.pdf</a>&gt;. Acesso em: 27 de maio de 2017.</b>	O texto fala sobre as transformações da sociedade a partir da energia elétrica, mostrando os feitos e descobertas dos cientistas.

Fonte: O autor (2017)

Dando continuidade na etapa um da IR, os discentes assistiram a vídeos da coleção “viagem na eletricidade”. Coleção de origem francesa, que trata a eletricidade de maneira muito simples, didática e divertida. Dentre os 26 vídeos dessa coleção os discentes assistiram aos três primeiros onde foram questionados, com o objetivo de fazê-los expressar, espontaneamente, sobre a eletricidade em situações cotidianas. Os discentes também perceberam que algumas questões do primeiro questionário, foram respondidas erroneamente, assim que terminaram de assistir aos vídeos, surgindo alguns debates entre os discentes sobre, d.d.p., resistência elétrica, corrente elétrica e suas respectivas relações e fórmulas. A sequência de vídeos é apresentada no Quadro 2.

**Quadro 2** - Temas e resumos dos episódios apresentados aos estudantes da educação básica.

<b>Tema do episódio</b>	<b>Resumo do episódio</b>
<b>1. Aula 1 de eletricidade - As Fontes de Corrente</b>	Desenvolvimento do conceito de energia elétrica e as diversas fontes de geração de energia.
<b>2. Aula 2 de eletricidade - Entre o Mais e o Menos</b>	Convenção da corrente elétrica, o conceito de diferença de potencial e a demonstração de como funciona um circuito simples.
<b>3. Aula 3 de eletricidade - Os Três Mosqueteiros</b>	Mostra as relações: corrente, potência e diferença de potencial; corrente, resistência e diferença de potencial, além de mostrar o efeito de um curto-circuito.

**Anzo. Viagem na eletricidade – Coleção Francesa. Disponível em: <[http://www.youtube.com/watch?v=Kst1OKvXAIY&list=PLYfrhgvQ39rW\\_WIYQgEK04nr5rSz1rgGP](http://www.youtube.com/watch?v=Kst1OKvXAIY&list=PLYfrhgvQ39rW_WIYQgEK04nr5rSz1rgGP)>. Acesso em: 23 mai. 2017.**

Fonte: O autor (2018)

Na terceira semana a sala foi dividida em grupos de cinco pessoas, e algumas questões foram propostas pelo autor e foram respondidas pelos discentes. A seguir, são apresentadas as respostas dos discentes<sup>1</sup> para cada uma das questões.

**Questão1: Por que a iluminação da rua acende durante a noite e se apagam ao amanhecer?**

“A luz acende por um sensor de luminosidade, que detecta a ausência de luz do sol e ativa a lâmpada do poste. Pois não é necessário ligar as lâmpadas durante o dia” (Discentes – 02; 10; 11; 12; 15).

Muitos discentes conseguiram explicar o funcionamento da iluminação pública. Com relação a esse questionamento tivemos um debate bastante aceitável.

**Questão 2: Por que existem iluminações ligadas aos 220 volts e outras ligadas aos 110 volts?**

“Cada região possui utilização de meios para a fabricação de energia, havendo uma proporcionalidade entre a corrente e a tensão” (Discentes – 01; 05; 06; 13; 14).

Os discentes já tinham um certo entendimento sobre a variação de tensão em algumas regiões. Mas a justificativa dessa variação por regiões eles não citaram. Uma vez que, a escolha do sistema de 110 volts ou de 220 volts dependeu das primeiras empresas e de uma análise de custos: a quantidade de consumidores por metro quadrado, o dinheiro para a instalação e para os materiais necessários, como transformadores e cabos.

**Questão 3: O chuveiro elétrico tem duas opções para ser ligado, inverno ou verão. Qual a distinção entre ambas as opções?**

“ Porque no inverno existe uma necessidade de utilizar a água quente com maior quantidade de volts, já no verão utilizamos a água mais fria, ocorrendo assim a utilização de menos volts” (Discentes – 03; 04; 07; 08; 09).

No terceiro item, os grupos levantam algumas concepções alternativas de origem sensorial, que tenta explicar o fenômeno a partir da mudança de temperatura dada pela mudança da chave do chuveiro, onde concluem que ao mudar estariam mudando a d.d.p. De acordo com o conhecimento científico essa mudança

---

<sup>1</sup> As respostas dos discentes foram transcritas integralmente.

de temperatura da água, quando modificada a chave de inverno para verão, se dá pelo trecho da resistência que é percorrido pela corrente.

**Questão 4: Diga qual a diferença de potencial de: uma pilha, uma bateria de carro?**

“ A d.d.p. da bateria do carro será bem maior, além de disponibilizar (voltagem) uma maior quantidade de energia” (Discentes – 03; 04; 07; 08; 09).

O item quatro, foi classificado como uma questão do cotidiano dos discentes já que os três grupos ao debater suas respostas, justificaram que a d.d.p. da bateria é maior que a da pilha, assim a bateria possui uma maior energia.

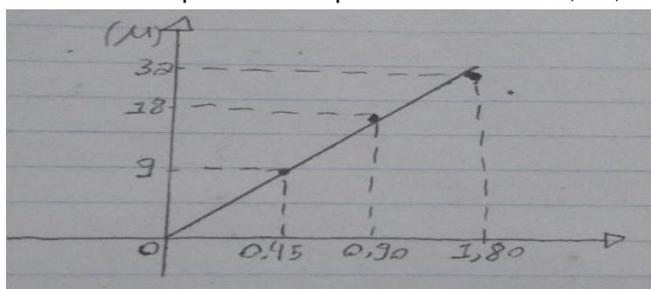
**Questão 5: Se ligarmos um secador de 220 volts, em uma tomada de 110 volts, o que acontece? E se ligarmos um secador de 110 volts, em uma tomada de 220 volts, o que acontece? Justifique.**

“ O secador não funcionará, pois a tomada não possui voltagem suficiente. Entrará em curto circuito, já que a tomada terá voltagem maior” (Discentes – 02; 10; 11; 12; 15).

Para finalizar esse encontro o último item, de acordo com o debate os discentes citaram “o uso do secador” e os grupos chegaram ao mesmo conceito nas suas respostas.

Na quarta semana os discentes conheceram e utilizaram, os resistores, os medidores elétricos, amperímetros e voltímetros. Continuaram com os grupos formados e cada grupo mediu resistência elétrica, diferença de potencial e intensidade de corrente elétrica de alguns sistemas. Os dados foram anotados e os discentes fizeram a relação entre diferença de potencial, resistência e corrente elétrica (Gráfico 2). Em seguida os dados analisados foram levantados pelos grupos, e a relação entre a resistência elétrica, corrente elétrica e diferença de potencial elétrico foi discutida.

Gráfico 2: Respostas dada pelos Discentes: 02, 10, 11, 12 e 15.

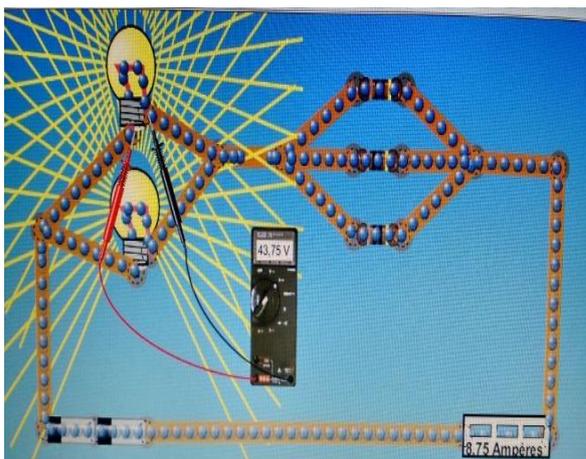


Fonte: Autor (2017)

De acordo com o gráfico podemos perceber a relação entre d.d.p (U), corrente elétrica (i) e resistência elétrica (R), através da tangente da reta. Por ser uma reta, temos uma equação do primeiro grau, onde o coeficiente angular da reta é a resistência elétrica (R). Os discentes também citaram a proporcionalidade entre as grandezas (U, i e R).

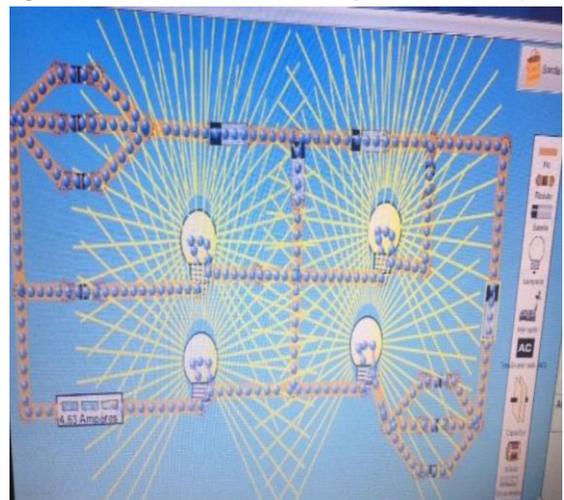
Na quinta semana, os discentes foram apresentados ao simulador PhET (“PhET”, [s.d.]), desenvolvido pela Universidade do Colorado. Nesse portal existem diversos softwares de física, produzidos em Flash ou HTML5. No caso de eletricidade utilizamos o simulador chamado de “Kit de Construção de Circuito (DC), Laboratório Virtual” o qual oferece a construção de circuitos com resistores, lâmpadas, baterias e medidores elétricos como amperímetro e voltímetro. Na utilização do simulador os discentes puderam vivenciar um pouco da teoria de forma virtual, onde por unanimidade relataram o quanto estava sendo importante para sua aprendizagem aquele aplicativo. Ao simular os circuitos elétricos produzidos por eles, perceberam como ocorria curto circuito, mediram a intensidade de corrente e a diferença de potencial em vários pontos do circuito (Figura 5). De forma gráfica viram que o movimento ordenado dos elétrons aumentava quando adicionava gerador em série ou quando aumentava a diferença de potencial do gerador (Figura 6).

Figura 5: Discentes: 04 e 09. (Utilização do amperímetro e voltímetro em um circuito misto)



Fonte: Simulador PhET - Kit de Construção de Circuito (DC)

Figura 6: Discentes: 03 e 07. (Circuito misto)



Fonte: Simulador PhET - Kit de Construção de Circuito (DC)

Após a utilização do simulador foram confeccionadas placas de iluminação com LED e resistores em circuitos impressos. Com a proposição de novos

questionamentos, foi construída a etapa de elaboração do panorama espontâneo. Nessa etapa, observou-se o aparecimento de algumas dúvidas, fez-se necessário a abertura de uma caixa-preta, ou seja, responder ao questionamento. Para isso, utilizou-se da consulta ao especialista ou especialidade tendo como base os conceitos que envolvem circuito elétrico.

A fim de gerar o confronto entre a própria experiência e as situações concretas, os discentes apresentaram placas com circuito em série, em paralelo e misto, havendo simultaneamente discussões sobre as características de cada tipo de associação e as consequências no cálculo de diferença de potencial, corrente elétrica e resistência, construindo, assim, a etapa “indo à prática”. E novas caixas-pretas surgiram. “Por que os LEDs não acendem quando muda o circuito? (Fotografia 1)”, “Qual a voltagem necessária para que os LEDs brilhem, mas não cheguem a queimar (Fotografia 2)?”, “Qual a necessidade do resistor em um ponto determinado do circuito?”, “Por que alguns LEDs acendem e outros não?”, “Por que os LEDs não acendem, será devido a algum ponto de curto circuito?”. O processo de busca de respostas a questionamentos leva a elaboração de hipóteses e propicia a abertura aprofundada das caixas-pretas.

Fotografia 1: Construção dos circuitos impressos



Fonte: Autor (2017)

Fotografia 2: Testando um LED utilizando uma bateria de carregador de celular



Fonte: Autor (2017)

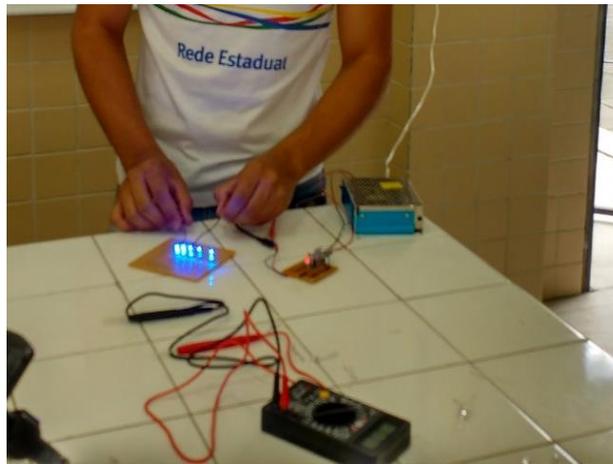
A sexta semana iniciou com um debate em grupo sobre as placas de iluminação produzidas pelos discentes. O debate foi tutorado pela pesquisadora envolvida no projeto, propiciando um esquema geral, que assinala os aspectos

importantes abordados na trajetória de construção das etapas desenvolvidas até o momento e auxiliando na “esquematisação global da tecnologia”.

Na sétima semana, a fim de construir a sétima e penúltima etapa da IR, caracterizada pela “abertura de algumas caixas-pretas sem a ajuda de especialistas”, os discentes foram divididos em grupos para produzir os circuitos impressos (produto final). Algumas questões surgiram entre os grupos. “Qual tipo de associação utilizar para que os LEDs tenham maior brilho?”, “Quantos resistores necessários para diminuir o brilho do LED sem que o mesmo não ficasse sem acender?”. As respostas para essas investigações foram propostas pelo grupo e apresentadas na semana posterior.

Na oitava semana, a última etapa da construção da IR, a síntese, foi realizada oralmente. Assim os discentes ressaltaram os pontos de destaque do material produzido, levando em consideração o porquê de cada associação produzida (Fotografia 3).

Fotografia 3: Circuito impresso finalizado



Fonte: Autor (2017)

Para finalizar foi aplicado um novo instrumento para coleta de dados e análise da aprendizagem. A análise de dados será de acordo com a Taxonomia onde os conceitos construídos durante o projeto serão evidenciados a luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo apresentam-se os resultados obtidos através da aplicação dos instrumentos avaliativos, para discutir a aprendizagem dos discentes na educação por projetos a luz da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

### 4.1 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

No início da Educação por Projetos na escola, foi aplicado o primeiro questionário (Apêndice A) para um grupo de 15 discentes do terceiro ano do ensino médio. A seguir apresentamos cada uma das questões que compõe o primeiro questionário, com seus objetivos e a referida Categoria de Bloom. Em seguida a análise das respostas dos discentes para as referidas questões. A identidade dos discentes foi preservada, desta forma foram nomeados como, Discente 01, Discente 02, ..., Discente 15.

A primeira questão do instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto remete a algum tipo de experiência relacionada à Eletricidade (Quadro 3).

Quadro 3 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 1:</b>	<b>Você já fez alguma experiência relacionada à Eletricidade? Qual?</b> <input type="checkbox"/> Sim _____ <input type="checkbox"/> Não
<b>Objetivo:</b>	Descrever possíveis experiências vividas pelo discente relacionadas à eletrônica, e quais conhecimentos o mesmo pode ter adquirido nas mesmas.
<b>Categoria de Bloom:</b>	3. Aplicação - Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Da totalidade dos discentes, apenas dois responderam “sim” à questão 1. Dessa forma, observou-se que a maioria não participou de nenhuma experiência com eletricidade.

A segunda questão envolve o entendimento de quatro termos, são eles: tensão, corrente elétrica, “amperagem” e “voltagem” (Quadro 4).

Quadro 4 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 2:</b>	<b><i>Diariamente somos envolvidos num universo de aparelhos elétricos, seja o celular, o computador, a TV, etc. Cada um deles tem suas especificidades. Mas daí surgem algumas perguntas: o que é tensão e corrente? O que é voltagem e amperagem? Identifique as diferenças entre esses quatro termos?</i></b>
<b>Objetivo:</b>	<i>Espera-se que os discentes identifiquem as diferenças de acordo com os conceitos de cada termo.</i>
<b>Categoria de Bloom:</b>	<i>1. Conhecimento - Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria nível é trazer à consciência esses conhecimentos (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</i>

Fonte: Autor (2018)

Nenhum dos discentes conseguiu conceituar o termo tensão elétrica. Dois compreendem que existe relação entre corrente elétrica e tensão, mas conceitua de forma equivocada cada um dos termos. Dessa forma, percebemos que nenhum deles traz esses conceitos como conhecimentos prévios. As definições sobre esses conceitos apresentada pelos 4 discentes (discentes 01, 02, 06 e 12), no Quadro 5 demonstram que há algumas concepções alternativas.

Quadro 5 – 1º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 2	Respostas
<b>Discente 01</b>	Tensão é a soma das intensidades da corrente; Corrente é a elétrica é o lugar onde os elétrons circulam juntos entre si; Voltagem é a intensidade da corrente; Amperagem é o sentido dos elétrons na corrente.
<b>Discente 02</b>	Tensão é a capacidade de carga elétrica do circuito; Corrente é o local de passagem da eletricidade.
<b>Discente 06</b>	Tensão é a força total da corrente; Corrente é o fio que transporta átomos; Voltagem é a intensidade final da corrente; Amperagem é o sentido que átomos tomam na corrente.
<b>Discente 12</b>	Não sei.

Fonte: O autor (2018)

A terceira questão remete a um dispositivo capaz de emitir luz de forma eficiente e econômica, o LED (Quadro 6).

Quadro 6 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 3:</b>	<b>A energia elétrica é um dos recursos mais importantes que usamos em nossa casa. A economia de energia é uma das obrigações dos consumidores. As lâmpadas por exemplo, são itens importantes nesta análise. Existem basicamente três tipos de lâmpada que são as incandescentes, fluorescentes e LED. O que você entende sobre as lâmpadas de LED? Dê exemplos de sua utilização no dia-a-dia.</b>
<b>Objetivo:</b>	1. Espera-se que os discentes conceituem o termo LED.; 2. Espera-se que os discentes conheçam a aplicação desse termo no cotidiano.
<b>Categoria de Bloom:</b>	2. Compreensão - Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto. Nessa categoria, encontra-se a capacidade de entender a informação ou fato, de captar seu significado e de utilizá-la em contextos diferentes (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Na terceira questão cinco discentes conceituaram de forma correta o termo LED, sete exemplificam seu uso e oito relacionam o termo LED como uma tecnologia mais econômica. Porém nenhum responde de forma integral e correta ao que a questão propõe. Nota-se que o LED é um componente conhecido pelos discentes, mas não há compreensão de sua definição e de seu uso, ou seja, ou os discentes conceituavam de forma correta ou citava sua aplicação (Quadro 7). Dessa forma, não constituem um conhecimento científico, apenas concepções alternativas de origem cultural (POZO e CRESPO, 2009).

Quadro 7 – 1º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 3	Respostas
<b>Discente 03</b>	A lâmpada LED é uma forma de economia elétrica, assim diminuindo a intensidade dela.
<b>Discente 05</b>	Lâmpadas LEDs: são lâmpadas que tem uma grande capacidade de iluminar o ambiente, e um baixo consumo de energia. São utilizadas em aparelhos eletrônicos e baladas.

<b>Discente 09</b>	Lâmpadas de LED são utilizadas por economizaram energia e serem opções para substituir os outros exemplos de lâmpadas.
<b>Discente 13</b>	As lâmpadas de LED são mais econômicas do que as outras lâmpadas, por ter uma característica de esquentar menos que as demais. Elas são utilizadas em iluminação de aparelhos de automotivos e até mesmo na iluminação de ambientes (seu custo também é mais caro que as outras lâmpadas) e entre outras possibilidades de uso da mesma.
<b>Discente 15</b>	As lâmpadas LED são mais econômicas. Estão presente em TVs e para iluminação de casos.

Fonte: O autor (2018)

Para a questão 4 (Quadro 8) o discente teria que responder a duas perguntas: a primeira com relação a variação da tensão e a segunda sobre o significado da tensão.

Quadro 8 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 4:</b>	<b>No Brasil existe duas tensões na rede elétrica: 110V e 220V. Isso causa muitos transtornos, dúvidas e confusões aos usuários que estão se mudando ou construindo uma nova casa. O que pode ocorrer se uma pessoa não leva em consideração a tensão de sua rede elétrica e utiliza um eletrodoméstico sem verificar o seletor do aparelho (110V – 220V) antes de ligá-lo a rede elétrica? Para você qual o significado da palavra tensão?</b>
<b>Objetivo:</b>	1. Espera-se que os discentes conceituem o termo voltagem; 2. E descreva a importância desse conceito na tecnologia.
<b>Categoria de Bloom:</b>	4. Análise - Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas inter-relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto estudado (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Dos 15 discentes apenas um responde sobre a variação de tensão elétrica. E nenhum consegue conceituar o termo tensão (Quadro 9). Essas concepções alternativas criadas pelos discentes para explicar o termo voltagem, tem duas origens, uma sensorial, que tenta explicar a partir da “energia” que o aparelho

suporta, e a escolar a qual utilizam o termo d.d.p., que é sinônimo de tensão, como definição para tensão (POZO e CRESPO, 2009).

Quadro 9 – 1º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 4	Respostas
<b>Discente 05</b>	Depende se for um aparelho projetado para uma tensão de 110V e for ligado em uma tensão de 220V ele queima, porque a intensidade da corrente será mais do que o sistema suporta. E se o aparelho de 220V de tensão for ligado em uma tensão de 110V ele não ligará, porque a intensidade da corrente será insuficiente.
<b>Discente 08</b>	Intensidade de voltagem
<b>Discente 10</b>	Diferença de potencial elétrico (Voltagem)
<b>Discente 11</b>	D.d.p. é a diferença de potencial.

Fonte: O autor (2018)

A questão 5 (Quadro 10) do questionário pede a descrição de um circuito envolvendo LEDs.

Quadro 10 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 5:</b>	<p><b>Numa das faces do circuito impresso são colocados os componentes e na outra face são feitas as ligações através de um método de impressão e corrosão de uma película fina de cobre. Supondo que o retângulo abaixo representa a face da placa onde são feitas as ligações, desenhe um circuito, envolvendo uma fonte de energia e LEDs. (No circuito desenhado os LEDs deverão acender).</b></p> 
<b>Objetivo:</b>	Espera-se que nessa questão o discente descreva como funciona um circuito que deverá conter LEDs e uma fonte de energia para que os LEDs acendam.
<b>Categoria de Bloom:</b>	5. Síntese - Habilidade de agregar e juntar parte com a finalidade de criar um novo todo. Essa habilidade envolve a produção de uma comunicação única (tema ou discurso), um plano de operações (propostas de pesquisas) ou um conjunto de relações abstratas (esquema para classificar informações). Combinar partes não organizadas para formar um "todo" (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Dos 15 discentes que participaram da intervenção, apenas seis conseguiram responder corretamente à questão 5 do primeiro questionário, evidenciando que a maioria não tem conhecimento prévio sobre montagem de circuito impresso.

Para a última questão do primeiro questionário (Quadro 11), tratamos de questionar sobre a passagem da corrente elétrica através do corpo humano, o que denomina-se de choque elétrico.

Quadro 11 - 1º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado antes do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 6:</b>	<b>O choque elétrico é a passagem de uma corrente pelo corpo tornando-se um condutor elétrico. Essa condução de corrente varia de acordo com a intensidade de volts com que a pessoa é submetida, podendo levar a morte. Analisando a situação, o que deve ser feito para socorrer uma pessoa que está levando um choque elétrico?</b>
<b>Objetivo:</b>	1. A interrupção da corrente elétrica, desligando a corrente no disjuntor ou na caixa de fusíveis; 2. Utilizar um objeto não condutor para mover a vítima; 3. Pedir ajuda; 4. Aplicar os primeiros socorros para manter a vítima viva até a chegada do socorro médico.
<b>Categoria de Bloom:</b>	6. Avaliação - Habilidade de julgar o valor do material (proposta, pesquisa, projeto) para um propósito específico. O julgamento é baseado em critérios bem definidos que podem ser externos (relevância) ou internos (organização) e podem ser fornecidos ou conjuntamente identificados. Julgar o valor do conhecimento (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Apenas cinco discentes não conseguiram desenvolver uma solução para o evento proposto. Dez responderam corretamente ao que foi pedido (Quadro 12). Nessa perspectiva a maioria dos discentes possuem conhecimento prévio sobre “choque elétrico”, dessa forma facilitando a aprendizagem de conhecimentos futuros.

Quadro 12 – 1º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 6	Respostas
<b>Discente 03</b>	Desligando a geral. Para o corpo deixar de ser um condutor elétrico.

<b>Discente 08</b>	Desligar a fonte de energia e depois ligar para o socorro.
<b>Discente 11</b>	Desligando a chave geral da casa ou tentar retirá-la com um isolante.
<b>Discente 13</b>	Desligar o disjuntor e evitar contato com a vítima durante o acontecido.
<b>Discente 15</b>	Desligando a chave geral da casa.

Fonte: O autor (2018)

Após a intervenção do projeto na escola, e do desenvolvimento dos circuitos impressos, um novo questionário também composto de seis questões foi aplicado ao grupo de discentes.

A primeira questão do 2º questionário (Quadro 13), remete ao conceito de associação de resistores.

Quadro 13 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 1:</b>	<b>Em uma residência sabemos que todos os aparelhos elétricos são conectados a um único circuito elétrico. E é por isso que podemos conectar dois ou mais aparelhos, utilizando apenas um circuito. Qual o tipo de associação utilizada na sua residência? Justifique sua resposta.</b>
<b>Objetivo:</b>	O discente deverá citar o tipo de associação utilizada e justificar.
<b>Categoria de Bloom:</b>	4. Análise - Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas inter-relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto estudado (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Fonte: Autor (2018)

Todos os discentes citaram o circuito em paralelo, porém cinco deles justificaram o uso desse circuito de maneira errônea ou incompleta. Onze discentes, justificaram o uso do circuito em paralelo, para que a tensão fosse a mesma para todos os aparelhos. O discente 04 justifica o uso da associação em paralelo, para não sobrecarregar todo o circuito, ocasionando uma resistência maior na corrente.

Portanto, além dele caracterizar a associação em paralelo, ele também utiliza das características da associação em série, quando em seu texto remete o aumento de resistência. O discente 09, também em sua resposta deixa evidente a relação entre corrente elétrica e d.d.p. no circuito em paralelo (Quadro 14). Dessa forma fica evidente os objetivos alcançados pela proposta da Taxonomia de Bloom, uma vez que, compreende a aquisição do conhecimento, competência e atitude.

Quadro 14 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 1	Respostas
<b>Discente 04</b>	São utilizados em paralelo para não sobrecarregar todo o circuito ocasionando uma resistência maior na corrente.
<b>Discente 09</b>	A associação é feita em paralelo, para permitir maior quantidade de aparelhos em um circuito, onde a intensidade da corrente possa ser ajustada.
<b>Discente 10</b>	Paralelo, para que a tensão dos aparelhos seja a mesma.
<b>Discente 14</b>	Em paralelo. A corrente se divide podendo ser utilizada em várias entradas.

Fonte: O autor (2018)

Essa segunda questão (Quadro 15), também foi utilizada no 1º questionário (Quadro 10) por apresentar uma situação teórica similar a prática realizada pelos discentes no projeto, porém nesse segundo questionário a questão traz o conceito de associação de resistores de forma que a intensidade de corrente tenha o maior valor.

Quadro 15 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

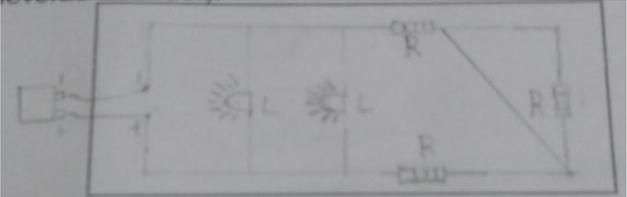
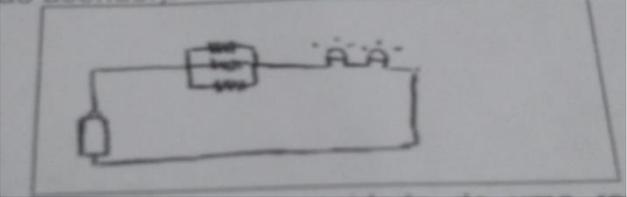
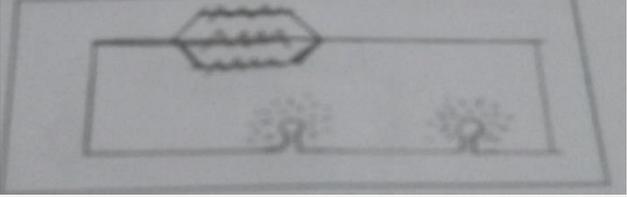
<p><b>Questão 2:</b></p>	<p><b><i>Numa das faces do circuito impresso são colocados os componentes e na outra face são feitas as ligações através de um método de impressão e corrosão de uma película fina de cobre. Supondo que o retângulo abaixo representa a face da placa onde são feitas as ligações, desenhe um circuito, envolvendo uma fonte de energia, 3 resistores (usado basicamente para limitar a corrente elétrica) e 2 LEDs, de forma a obter o maior brilho para os LEDs. (No circuito desenhado os LEDs deverão acender).</i></b></p> <div data-bbox="1007 1944 1353 2056" style="border: 1px solid black; height: 50px; width: 217px; margin: 0 auto;"></div>
--------------------------	---

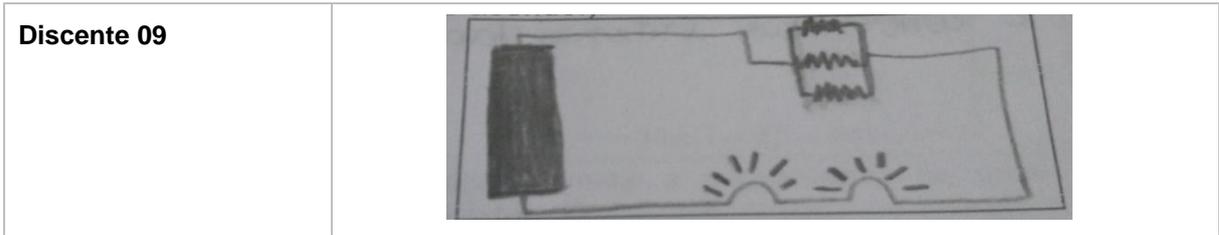
<b>Objetivo:</b>	<i>Espera-se que nessa questão o discente escolha a melhor forma para o circuito, com o intuito de alcançar a proposta da questão, que é o obter o maior brilho para os LEDs.</i>
<b>Categoria de Bloom:</b>	<i>6. Avaliação - Habilidade de julgar o valor do material (proposta, pesquisa, projeto) para um propósito específico. O julgamento é baseado em critérios bem definidos que podem ser externos (relevância) ou internos (organização) e podem ser fornecidos ou conjuntamente identificados. Julgar o valor do conhecimento (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</i>

Fonte: Autor (2018)

Para essa questão observamos um significativo desenvolvimento da aprendizagem por parte dos discentes. Pois essa questão foi aplicada no questionário 1 (Quadro 10), e apenas seis conseguiram responder corretamente. No pós-teste todos conseguiram montar um circuito impresso, porém além da montagem a questão pedia que os LEDs obtivessem maior brilho. Dessa forma nove, conseguiram montar seu circuito conforme as características propostas pela questão (Quadro 16), mostrando todo conhecimento construído ao decorrer da intervenção e demonstrando a importância da Educação por Projetos para o desenvolvimento de competências e habilidades no conteúdo de Eletricidade.

Quadro 16 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

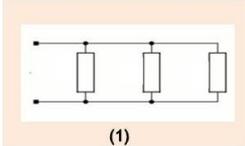
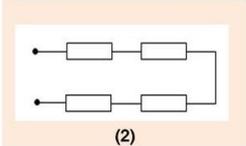
Questão 2	Respostas
<b>Discente 02</b>	
<b>Discente 03</b>	
<b>Discente 04</b>	



Fonte: O autor (2018)

Nessa questão 3 (Quadro 17), trabalhamos o conceito de associação de resistores levando em consideração o maior valor para a resistência equivalente do circuito.

Quadro 17 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

<p><b>Questão 3:</b></p>	<p><i>Em muitos casos práticos tem-se a necessidade de uma resistência maior do que a fornecida por um único resistor. Em outros casos, um resistor não suporta a intensidade da corrente que deve atravessá-lo. Dessa forma utilizam-se vários resistores associados entre si. Os resistores podem ser associados em série, em paralelo ou numa associação mista. Abaixo estão representadas duas formas de associação de resistores.</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  <p>(1)</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  <p>(2)</p> </div> </div> <p><i>Se os terminais das associações forem conectados a uma fonte de energia elétrica, em qual ocorrerá maior resistência à passagem de corrente elétrica? (Observação: os resistores de ambas as associações possuem o mesmo valor).</i></p>
<p><b>Objetivo:</b></p>	<p><i>Espera-se que discentes definam em qual circuito a resistência será maior.</i></p>
<p><b>Categoria de Bloom:</b></p>	<p><i>5. Síntese - Habilidade de agregar e juntar parte com a finalidade de criar um novo todo. Essa habilidade envolve a produção de uma comunicação única (tema ou discurso), um plano de operações (propostas de pesquisas) ou um conjunto de relações abstratas (esquema para classificar informações). Combinar partes não organizadas para formar um "todo" (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</i></p>

Fonte: Autor (2018)

Dos 15 discentes, apenas um respondeu errado ao proposto. Os demais acertaram a questão, justificando que a resistência equivalente do circuito em série é

maior que o do circuito em paralelo, pois as resistências são somadas (Quadro 18). Observamos aqui, que para os discentes que não conseguiam nem conceituar os termos de d.d.p. e corrente elétrica, agora conseguem identificar a relação entre eles em circuitos. Esse resultado remete a intervenção ao qual foram submetidos os discentes. Podemos perceber que em pouco tempo os discentes diferenciam progressivamente o conceito de circuito, sendo capazes de discernir sobre associações em paralelo, série e mista.

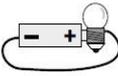
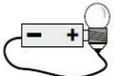
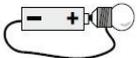
Quadro 18 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 3	Respostas
<b>Discente 02</b>	O circuito 2, porque ele está em série, portanto, tem maior resistência que o circuito 1 que está em paralelo.
<b>Discente 05</b>	No 2, pois o circuito está em série, ou seja, a resistência total será a soma das resistências, já o circuito 1 está em paralelo e sua resistência é dado pela razão das resistências do circuito.
<b>Discente 10</b>	No 2, pois encontra-se em série e o Req será a soma.
<b>Discente 12</b>	No desenho 2, pois em série soma-se a resistência e em paralelo a resistência é dada pela soma da razão dos resistores.

Fonte: O autor (2018)

Já nessa questão 4 (Quadro 19), utilizamos de forma aplicada o conceito de diferença de potencial para o funcionamento do circuito.

Quadro 19 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

<p><b>Questão 4:</b></p>	<p><i>Se fizermos fluir uma corrente elétrica em um circuito muito simples com uma pilha e uma lâmpada, esta acenderá. Considerando essas quatro ligações, identifique em qual (ais) situação (ões) a lâmpada vai acender?</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>I</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>II</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>III</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>IV</p> </div> </div>
<p><b>Objetivo:</b></p>	<p><i>Espera-se que os discentes visualizem que a corrente elétrica depende das características da fonte, e para sua circulação o circuito deverá</i></p>

	<i>estar fechado, ou seja, a lâmpada só acenderá se os dois polos do gerador estiverem conectados a ela, um polo conectado a base e outro polo conectado a rosca.</i>
<b>Categoria de Bloom:</b>	<i>1. Conhecimento - Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria nível é trazer à consciência esses conhecimentos (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</i>

Fonte: Autor (2018)

Com relação a essa questão, dois discentes não responderam, onze responderam corretamente e dois responderam à questão de forma incompleta (Quadro 20). Dessa forma, os discentes desenvolveram conhecimentos específicos na área de eletricidade, pois alcançaram o objetivo proposto pela Taxonomia de Bloom demonstrando “não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto estudado” (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).

Quadro 20 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 4	Respostas
<b>Discente 05</b>	Na situação II e IV pois, para uma lâmpada acender é necessário está ligada a polos diferentes, ou seja, um polo da lâmpada ligado ao da pilha e o outro polo ligado ao polo que testou da pilha.
<b>Discente 06</b>	II e IV
<b>Discente 11</b>	II e IV
<b>Discente 15</b>	II e IV iram ligar

Fonte: O autor (2018)

Para a questão 5 (Quadro 21) trouxemos a proporção entre as grandezas físicas: intensidade de corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica.

Quadro 21 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

<b>Questão 5:</b>	<b><i>Se a d.d.p. aplicada sobre um fio se manter constante e a resistência por algum fator, diminuir, a intensidade de corrente através dele, aumenta? Justifique sua resposta.</i></b>
<b>Objetivo:</b>	<i>Espera-se que os discentes expliquem a relação entre d.d.p., resistência elétrica e intensidade de corrente elétrica.</i>
<b>Categoria de Bloom:</b>	<i>2. Compreensão - Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto. Nessa categoria, encontra-se a capacidade de entender a informação ou fato, de captar seu significado e de utilizá-la em contextos diferentes (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</i>

Fonte: Autor (2018)

Quatro discentes não conseguem chegar ao objetivo da questão 5, enquanto 11 desenvolveram a competência e habilidades necessárias para a questão (Quadro 22). Além de alcançar o objetivo proposta pela Taxonomia de Bloom, os discentes assimilam os conceitos promovendo a aprendizagem significativa por meio da diferenciação progressiva, quando eles partem da relação entre as grandezas na primeira lei de Ohm, demonstrando a proporcionalidade entre a diferença de potencial, corrente elétrica e resistência elétrica.

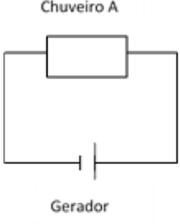
Quadro 22 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 5	Respostas
<b>Discente 02</b>	Sim, porque o circuito diminuindo a resistência ele permitirá um maior fluxo de partícula portadoras de carga elétrica
<b>Discente 03</b>	Sim, pois ao diminuir a resistência a corrente estará cada vez mais livre, aumentando a intensidade.
<b>Discente 04</b>	Sim, pois se a resistência diminuir a corrente irá passar mais livremente pelo condutor.
<b>Discente 05</b>	Sim, porque a d.d.p. é proporcional ao produto entre corrente (i) e resistência (R), se a mesma permanecer constante e a resistência diminuir conseqüentemente a corrente aumenta.
<b>Discente 12</b>	Sim, pois a d.d.p. é dada pela multiplicação da resistência com a intensidade, assim, se uma diminui, a outra aumenta.
<b>Discente 15</b>	Se a resistência diminuir a corrente aumenta, pois a energia aplicada para mover os elétrons não sofrerá resistência.

Fonte: O autor (2018)

Para finalizar o segundo questionário, a questão 6 (Quadro 23) traz a importância do conceito de eletricidade para entender o funcionamento do chuveiro elétrico, mostrando a relação da teoria/prática.

Quadro 23 - 2º Questionário – Instrumento de avaliação aplicado depois do desenvolvimento do projeto

<p><b>Questão 6:</b></p>	<p><b>Dado um circuito simples, com um gerador que alimenta um chuveiro A. Aplicando seus conhecimentos sobre eletricidade, dentre os sistemas a seguir, o que aquecerá mais rápido a água é:</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Chuveiro A</p> <p>Gerador</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Um resistor em série (10Ω)</li> <li>2. Dois resistores em paralelo (10Ω)</li> <li>3. Dois resistores em série (10Ω)</li> <li>4. Um resistor em série (20Ω)</li> <li>5. Dois resistores em paralelo de (20Ω)</li> </ol> <p><b>Demonstre sua resposta, usando o conceito de associação de resistores.</b></p>
<p><b>Objetivo:</b></p>	<p>Espera-se que os discentes determinem que o sistema que aquece mais rapidamente a água é aquele que possui menor resistência equivalente.</p>
<p><b>Categoria de Bloom:</b></p>	<p>3. Aplicação - Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias (FERRAZ &amp; BELHOT, 2010, p. 426).</p>

Fonte: Autor (2018)

Nessa última questão, um discente não respondeu, dois não chegaram ao objetivo proposto e doze desenvolveram a as competências e habilidades necessária para resolver a questão proposta (Quadro 24). Para o objetivo da questão era necessário que os discentes tivessem construído significativamente alguns conceitos necessários para o desenvolvimento da questão. De maneira satisfatória, a maioria conseguiu alcançar esse desenvolvimento, assimilando os conceitos por meio da reconciliação integrativa, uma vez que partiram das especificidades entre os tipos de circuitos para chegar ao termo mais inclusivo, que era a intensidade de corrente elétrica.

Quadro 24 – 2º Questionário - Respostas dos discentes

Questão 6	Respostas
<b>Discente 02</b>	II. Porque, resistores em paralelos permite uma menos resistência e como isso um maior fluxo de partículas portadoras de carga elétrica e isso ocasionará em um aquecimento mais rápido do chuveiro, portanto, dois resistores em paralelo de (10Ω) aquecerá mais rápido, por serem em paralelo e por já ter uma resistência de 10Ω, mais baixa que as outras alternativas.
<b>Discente 03</b>	II. Será dois resistores em paralelo porque quanto menos a resistência maior a intensidade.
<b>Discente 07</b>	Dois resistores em paralelo de 10Ω
<b>Discente 13</b>	O que vai esquentar o chuveiro mais rápido é os dois resistores de (10Ω em paralelo)
<b>Discente 14</b>	Ponto 2

Fonte: O autor (2018)

Em seguida apresentamos os resultados dos dois questionários (Quadro 25), comparando os conceitos de intensidade de corrente, diferença de potencial e resistência elétrica, descritos pelos alunos antes de depois da ação da intervenção.

Quadro 25 – Comparações das respostas dos discentes do antes e depois da ação da intervenção

Conceitos	1º questionário	2º questionário
<b>Intensidade da corrente elétrica</b>	Cinco discentes relatam que corrente elétrica é o local de passagem da eletricidade.  Dez discentes relatam de forma errônea sobre esse conceito	Catorze discentes conseguem relacionar voltagem, corrente elétrica e resistência.
<b>Diferença de potencial</b>	Nenhum dos discentes consegue definir o conceito de d.d.p. ou tensão elétrica.	Onze discentes identificam que se a d.d.p se mantiver constante, existe uma proporcionalidade entre corrente elétrica e resistência elétrica.
<b>Resistência elétrica</b>	O conceito não foi evidenciado no 1º questionário (Anexo B)	Os quinze discentes identificam o circuito paralelo adequado em para uma residência.  Os quinze discentes circuitos com associação em série, paralelo e mista.

Fonte: O autor (2018)

Os discentes mostram através da análise dos questionários aplicados, que adquiriram conhecimento científico e conseguiram assimilar esse conhecimento com os fenômenos que acontecem no seu cotidiano. Desenvolvendo dessa forma uma mudança conceitual, implicando em aprendizagem significativa.

O ato de projetar as ações para cada etapa das IR, propuseram para os discentes a abertura para o desconhecido e flexibilizaram o reformular de metas para as ações projetadas. Uma maneira diferente de motivar a compreensão dos conhecimentos, possibilitando o decidir, o opinar, o debater, construindo autonomia e o compromisso com o social.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender o tema de eletricidade com ênfase em circuitos elétricos requer dominar alguns conceitos, como corrente elétrica, diferença de potencial elétrico, resistência elétrica, circuito em série, paralelo e misto. Todos esses conceitos são abstratos e não palpáveis.

Os resultados decorrentes deste trabalho indicam que a intervenção realizada, contribuiu satisfatoriamente em todas as etapas, já que o grupo não possuía um conhecimento prévio formal e à proposta de Educação por Projetos permitiu que alunos diferenciasssem progressivamente o conceito de circuito e fossem capazes de aplicá-lo a uma situação real. É constatada a evolução em relação aos níveis de aprendizagem dos conceitos, que inicialmente eram inexistentes. Desta forma, os resultados mostraram que houve aprendizagem significativamente dos discentes.

Evidente a importância da Educação por Projetos, pelos resultados positivos obtidos nessa pesquisa, como estratégia pedagógica poderosa para o aprendizado. Deseja-se que a intervenção aqui apresentada sirva de orientação a docentes ao se deparar com esse conteúdo. Contudo sabemos que não existe “receitas prontas” para atingir com eficácia todos os discentes.

O presente trabalho permitiu refletir sobre a contribuição proporcionada pelo aprendizado baseado em projetos, motivando os discentes ao aprendizado, permitindo refletir e modificar o conhecimento existente construído e reconstruindo novos significados, evidenciando a contribuição dada pela teoria de Ausubel. Confirmando que após a intervenção os discentes conseguem relacionar diferença de potencial, intensidade de corrente elétrica e resistência elétrica, os novos significados foram necessários para o processo de construção de circuitos impressos, consolidando todo um aprendizado específico de eletricidade.

A aprendizagem se torna mais fácil para os discentes quando os objetivos da aprendizagem estão bem definidos. Por isso é essencial diagnosticar as ideias prévias dos discentes sobre o novo conhecimento, já que a aprendizagem de novos conhecimentos depende dos que já foram assimilados. Essa é uma etapa essencial que deve fazer parte de estratégias de ensino.

Foi possível observar o envolvimento dos discentes da educação básica e o posicionamento ativo na condução das atividades desde o primeiro momento. Os

textos sobre eletricidade apresentado no (Anexo B), os motivaram a conhecer sobre a eletricidade, permitindo dessa forma, refletir e modificar os conhecimentos existentes. A temática dos textos e seu contexto, permitiu debates em sala, nos quais foi possível perceber alguns conhecimentos prévios e dúvidas existentes, bem como discutir a relevância do tema para aprendizagem de Ciências e de Mundo.

Ratificando Pietrocola (1999), pudemos observar que a intensificação nas estratégias de construção do conhecimento permitiram aos discentes perceber que o conhecimento científico aprendido na escola serve como forma de interpretação do mundo que os cerca. Além disso, a aprendizagem por investigação, permitiu que o conhecimento fosse construído de forma significativa.

Ao decorrer do processo de simulação de circuitos e de fabricação desses circuitos, evidenciou-se todo aprendizado específico da física aplicado a circuito impressos, o qual foi construído a partir de questionamentos, levantamento de hipóteses e processos investigativos.

Posicionar o discente como responsável no desenvolvimento do projeto, evidenciou o engajamento dos mesmos. A análise dos registros, fruto da educação por projetos propôs ao discente, situações novas que requereram máxima transformação do conhecimento existente. Nesse contexto, promove-se uma aprendizagem mais significativa de acordo com o desenvolvimento das habilidades e competências da Ciência envolvida, uma vez que eles são motivados a desenvolver espontaneamente atividades investigativas, trabalhando autonomamente e desenvolvendo a tomada de decisão.

Finalizamos este trabalho ressaltando a importância da Educação por Projetos motivando os discentes ao aprendizado e a ser protagonista de sua aprendizagem. Os alunos percebem que o conhecimento científico aprendido na escola serve como forma de interpretação do mundo que os cerca, isso permite refletir e modificar o conhecimento existente.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F. T. L. F. O Professor e a sua prática educativa - Uma Abordagem Reflexiva. Tese De Mestrado. Universidade De Trás Os Montes E Alto Douro, 2013.
- ANDERSON, L. W. & KRATHWOHL, D.R. A Taxonomy For Learning, Teaching And Assessing: A Revision Of Bloom's Taxonomy Of Educational Objectives. New York: Longman, 2001.
- APPOLINÁRIO, F. Metodologia da Ciência: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- ARAÚJO, I. S. **Simulação e Modelagem Computacionais como Recurso Auxiliares no Ensino de Física Geral**. 2005. 229f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- AUSUBEL, D. P. Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- CAMPANÁRIO, J. M. Asalto al castillo: ¿A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias?. **Enseñanza de las ciencias**. Barcelona, 20 (2), p. 315-325, 2002.
- DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte i – circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006
- DORNELES, P. F. T. **Investigação de ganhos na aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos por usuários da ferramenta computacional Modellus**. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- DEWEY, John. Democracia e Educação. 3. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.
- DUIT, R.; RHONECK, C. V. Learning and understanding key concepts of electricity. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E. L.; BARAJOS, J. (Eds.). **Connecting research in physics education with teacher education**. International Commission on Physics Education. Disponível em: <<http://www.univie.ac.at/pluslucis/Archiv/ICPE/C2.html>> Acesso em: 17 de maio de 2017.
- FERRAZ, A. P. M; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gest. Prod.**, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.
- FIGUEIRÊDO, K. L. e JUSTI, R. Uma proposta de formação continuada de professores de ciências buscando inovação, autonomia e colaboração a partir de

referenciais integrados. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n.1, p.169-190, 2011.

GASPARIN, J. L. Motivar para aprendizagem significativa. **Jornal Mundo Jovem**. Porto Alegre, n. 314, p. 8, 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HERNÁNDEZ, F. Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

JONES, B.F.; RASMUSSEN, C.M.; MOFFITT, M.C. **Real-life problem solving: A collaborative approach to interdisciplinary learning**. Washington,DC: American Psychological Association. 1997.

LABURÚ, C. E.; SILVA, D. da; VIDOTTO, L. C. Avaliação tradicional e alternativa no ensino: um estudo comparativo. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, v. 26, n. 1, p. 27-42, 2005.

LEMOS, E. S. A Aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras e avaliação. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, v.1, n. 1, p. 25-35, 2011.

LEMOS, Josemary Bosco R.; MOURA, Dácio Guimarães. Metodologia de projetos no ensino da disciplina Análise de Sistemas: relato de experiência. *Revista Educação & Tecnologia*, CEFET-MG. Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 57-61, jul/dez 2000.

MASINI, E. F. S; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel**. Editora Centauro: São Paulo, 2001.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Unb, 1999a.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1999b.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente**, 1997. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em 17 maio de 2017.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula**. Editora UNB: Brasília. 2006.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, **PPGenFis/IFUFRGS**, v. 24, n. 2, p.1-53, 2013.

MOURA, Dácio Guimarães; BARBOSA, Eduardo F. *Trabalhando com Projetos – Planejamento e Gestão de Projetos Educacionais*. Editora Vozes, Petrópolis-RJ, 2006.

NEHRING, C.M. et.al. As ilhas de racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v.2, n.1, p. 1-18, 2002.

PACCA, J. L. A.; FUKUI, A; BUENO, M. C. F.; COSTA, R. H. P.; VALÉRIO, R. M.; MANCINI, S. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 151-167, 2003.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, 4(3), 213-227, 1999.

PINHEIRO, T. de F. Experiências Interdisciplinares nas Aulas de Física da Segunda Série do Ensino Médio. In: **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Florianópolis/SC, 2002.

**PhET Interactive Simulation**. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 23 mai. 2017.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. – 5. ed. – porto Alegre: Artmed, 2009.

RONCA, Paulo Caruso. A prova operatória. Ed. Finep, São Paulo, 1996.

SCARBROUGH, H. et al. The Processes of Project-based Learning: An Exploratory Study. **Management Learning**. v. 35, n. 4, p. 491-506, 2004.

SHAFFER, P. S.; McDERMOTT, L. C. Research as a guide for curriculum development: an example from introductory electricity. Investigation of student understanding. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 11, p. 994-1003, 1992b.

TAVARES, R. Aprendizagem Significativa e o Ensino de Ciências In: **Reunião Anual da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação**, 28, 2005, Caxambu. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/ANPED-28.pdf>>. Acesso em: 17 março de 2018.

THOMAS, J.W.; MERGENDOLLER, J.R.; MICHAELSON, A. **Project-based learning: A handbook for middle and high school teachers**. Novato, CA: The Buck Institute for Education. 1999.

## APÊNDICE A - 1º QUESTIONÁRIO – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO APLICADO ANTES DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

1. Você já fez alguma experiência relacionada à Eletricidade? Qual?

- Sim \_\_\_\_\_
- Não

*Objetivo: descrever possíveis experiências vividas pelo discente relacionadas à eletrônica, e quais conhecimentos o mesmo pode ter adquirido nas mesmas.*

*Categoria de Bloom - 3. Aplicação - Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

2. Diariamente somos envolvidos num universo de aparelhos elétricos, seja o celular, o computador, a TV, etc. Cada um deles tem suas especificidades. Mas daí surgem algumas perguntas: o que é tensão e corrente? O que é voltagem e amperagem? Identifique as diferenças entre esses quatro termos?

*Objetivo: Espera-se que os discentes identifiquem as diferenças de acordo com os conceitos de cada termo.*

*Categoria de Bloom: 1. Conhecimento - Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria nível é trazer à consciência esses conhecimentos (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

3. A energia elétrica é um dos recursos mais importantes que usamos em nossa casa. A economia de energia é uma das obrigações dos consumidores. As lâmpadas por exemplo, são itens importantes nesta análise. Existem basicamente três tipos de lâmpada que são as incandescentes, fluorescentes e LED. O que você entende sobre as lâmpadas de LED? Dê exemplos de sua utilização no dia-a-dia.

*Objetivos:*

1. *Espera-se que os discentes conceituem o termo LED.;*
2. *Espera-se que os discentes conheçam a aplicação desse termo no cotidiano.*

*Categoria de Bloom - 2. Compreensão - Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto. Nessa categoria, encontra-se a capacidade de entender a informação ou fato, de captar seu significado e de utilizá-la em contextos diferentes (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

4. No Brasil existe duas tensões na rede elétrica: 110V e 220V. Isso causa muitos transtornos, dúvidas e confusões aos usuários que estão se mudando ou construindo uma nova casa. O que pode ocorrer se uma pessoa não leva em consideração a tensão de sua rede elétrica e utiliza um eletrodoméstico sem verificar o seletor do aparelho (110V – 220V) antes de ligá-lo a rede elétrica? Para você qual o significado da palavra tensão?

*Objetivos:*

1. *Espera-se que os discentes conceituem o termo voltagem;*
2. *E descreva a importância desse conceito na tecnologia.*

*Categoria de Bloom - 4. Análise - Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas inter-relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto estudado (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

5. Numa das faces do circuito impresso são colocados os componentes e na outra face são feitas as ligações através de um método de impressão e corrosão de uma película fina de cobre. Supondo que o retângulo abaixo representa a face da placa onde são feitas as ligações, desenhe um circuito, envolvendo uma fonte de energia e LEDs. (No circuito desenhado os LEDs deverão acender).



*Objetivo: Espera-se que nessa questão o discente descreva como funciona um circuito que deverá conter LEDs e uma fonte de energia para que os LEDs acendam.*

*Categoria de Bloom - 5. Síntese - Habilidade de agregar e juntar parte com a finalidade de criar um novo todo. Essa habilidade envolve a produção de uma comunicação única (tema ou discurso), um plano de operações (propostas de pesquisas) ou um conjunto de relações abstratas (esquema para classificar informações). Combinar partes não organizadas para formar um "todo" (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

6. O choque elétrico é a passagem de uma corrente pelo corpo tornando-se um condutor elétrico. Essa condução de corrente varia de acordo com a intensidade de volts com que a pessoa é submetida, podendo levar a morte. Analisando a situação, o que deve ser feito para socorrer uma pessoa que está levando um choque elétrico?

*Objetivos::*

- 1. A interrupção da corrente elétrica, desligando a corrente no disjuntor ou na caixa de fusíveis;*
- 2. Utilizar um objeto não condutor para mover a vítima;*
- 3. Pedir ajuda;*
- 4. Aplicar os primeiros socorros para manter a vítima viva até a chegada do socorro médico.*

*Categoria de Bloom - 6. Avaliação - Habilidade de julgar o valor do material (proposta, pesquisa, projeto) para um propósito específico. O julgamento é baseado em critérios bem definidos que podem ser externos (relevância) ou internos (organização) e podem ser fornecidos ou conjuntamente identificados. Julgar o valor do conhecimento (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

## APÊNDICE B - 2º QUESTIONÁRIO – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO APLICADO DEPOIS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

1. Em uma residência sabemos que todos os aparelhos elétricos são conectados a um único circuito elétrico. E é por isso que podemos conectar dois ou mais aparelhos, utilizando apenas um circuito. Qual o tipo de associação utilizada na sua residência? Justifique sua resposta.

*Objetivo: O discente deverá citar o tipo de associação utilizada e justificar.*

*Categoria de Bloom - 4. Análise - Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas inter-relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto estudado (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

2. Numa das faces do circuito impresso são colocados os componentes e na outra face são feitas as ligações através de um método de impressão e corrosão de uma película fina de cobre. Supondo que o retângulo abaixo representa a face da placa onde são feitas as ligações, desenhe um circuito, envolvendo uma fonte de energia, 3 resistores (usado basicamente para limitar a corrente elétrica) e 2 LEDs, de forma a obter o maior brilho para os LEDs. (No circuito desenhado os LEDs deverão acender).

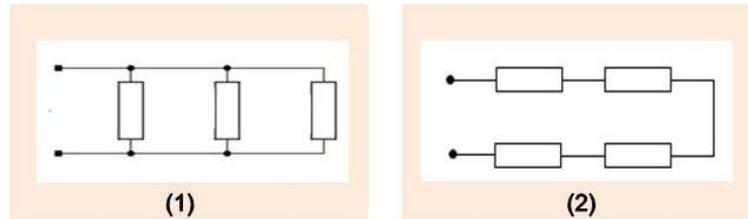


*Objetivo: Espera-se que nessa questão o discente escolha a melhor forma para o circuito, com o intuito de alcançar a proposta da questão, que é o obter o maior brilho para os LEDs.*

*Categoria de Bloom – 6. Avaliação - Habilidade de julgar o valor do material (proposta, pesquisa, projeto) para um propósito específico. O julgamento é baseado em critérios bem definidos que podem ser externos (relevância) ou internos (organização) e podem ser fornecidos ou conjuntamente identificados. Julgar o valor do conhecimento (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

3. Em muitos casos práticos tem-se a necessidade de uma resistência maior do que a fornecida por um único resistor. Em outros casos, um resistor não suporta a intensidade da corrente que deve atravessá-lo. Dessa forma utilizam-se vários resistores associados entre si. Os resistores podem ser associados em série, em

paralelo ou numa associação mista. Abaixo estão representadas duas formas de associação de resistores.

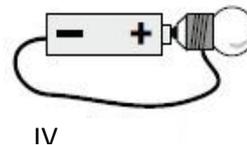
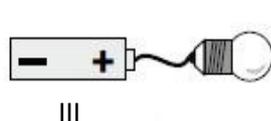
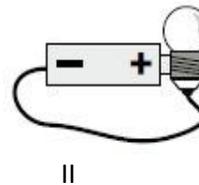
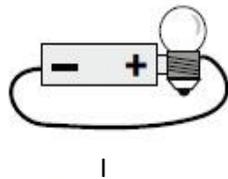


Se os terminais das associações forem conectados a uma fonte de energia elétrica, em qual ocorrerá maior resistência à passagem de corrente elétrica? (Observação: os resistores de ambas as associações possuem o mesmo valor).

*Objetivo: Espera-se que discentes definam em qual circuito a resistência será maior.*

*Categoria de Bloom - 5. Síntese - Habilidade de agregar e juntar parte com a finalidade de criar um novo todo. Essa habilidade envolve a produção de uma comunicação única (tema ou discurso), um plano de operações (propostas de pesquisas) ou um conjunto de relações abstratas (esquema para classificar informações). Combinar partes não organizadas para formar um "todo" (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

4. Se fizermos fluir uma corrente elétrica em um circuito muito simples com uma pilha e uma lâmpada, esta acenderá. Considerando essas quatro ligações, identifique em qual (ais) situação (ões) a lâmpada vai acender?



*Objetivo: Espera-se que os discentes visualizem que a corrente elétrica depende das características da fonte, e para sua circulação o circuito deverá estar fechado, ou seja, a lâmpada só acenderá se os dois polos do gerador estiverem conectados a ela, um polo conectado a base e outro polo conectado a rosca.*

*Categoria de Bloom: 1. Conhecimento - Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria nível é trazer à consciência esses conhecimentos (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

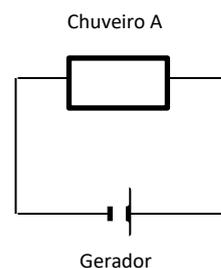
5. Se a d.d.p. aplicada sobre um fio se manter constante e a resistência por algum fator, diminuir, a intensidade de corrente através dele, aumenta? Justifique sua resposta.

*Objetivo: Espera-se que os discentes expliquem a relação entre d.d.p., resistência elétrica e intensidade de corrente elétrica.*

*Categoria de Bloom - 2. Compreensão - Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto. Nessa categoria, encontra-se a capacidade de entender a informação ou fato, de captar seu significado e de utilizá-la em contextos diferentes (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

6. Dado um circuito simples, com um gerador que alimenta um chuveiro A. Aplicando seus conhecimentos sobre eletricidade, dentre os sistemas a seguir, o que aquecerá mais rápido a água é:

1. Um resistor em série ( $10\Omega$ )
2. Dois resistores em paralelo ( $10\Omega$ )
3. Dois resistores em série ( $10\Omega$ )
4. Um resistor em série ( $20\Omega$ )
5. Dois resistores em paralelo de ( $20\Omega$ )



Demonstre sua resposta, usando o conceito de associação de resistores.

*Objetivo: Espera-se que os discentes determinem que o sistema que aquece mais rapidamente a água é aquele que possui menor resistência equivalente.*

*Categoria de Bloom - 3. Aplicação - Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426).*

## ANEXO A - ESTRUTURAÇÃO DA TAXONOMIA DE BLOOM DO DOMÍNIO COGNITIVO.

Categoria	Descrição
<b>1. Conhecimento</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria nível é trazer à consciência esses conhecimentos.</p> <p><b>Subcategorias:</b> 1.1 Conhecimento específico: Conhecimento de terminologia; Conhecimento de tendências e sequências; 1.2 Conhecimento de formas e significados relacionados às especificidades do conteúdo: Conhecimento de convenção; Conhecimento de tendência e sequência; Conhecimento de classificação e categoria; Conhecimento de critério; Conhecimento de metodologia; e 1.3 Conhecimento universal e abstração relacionado a um determinado campo de conhecimento: Conhecimento de princípios e generalizações; Conhecimento de teorias e estruturas.</p> <p><b>Verbos:</b> enumerar, definir, descrever, identificar, denominar, listar, nomear, combinar, realçar, apontar, relembra, recordar, relacionar, reproduzir, solucionar, declarar, distinguir, rotular, memorizar, ordenar e reconhecer.</p>
<b>2. Compreensão</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto. Nessa categoria, encontra-se a capacidade de entender a informação ou fato, de captar seu significado e de utilizá-la em contextos diferentes.</p> <p><b>Subcategorias:</b> 2.1 Translação; 2.2 Interpretação e 2.3 Extrapolação.</p> <p><b>Verbos:</b> alterar, construir, converter, decodificar, defender, definir, descrever, distinguir, discriminar, estimar, explicar, generalizar, dar exemplos, ilustrar, inferir, reformular, prever, reescrever, resolver, resumir, classificar, discutir, identificar, interpretar, reconhecer, redefinir, selecionar, situar e traduzir.</p>
<b>3. Aplicação</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias.</p> <p><b>Verbos:</b> aplicar, alterar, programar, demonstrar, desenvolver, descobrir, dramatizar, empregar, ilustrar, interpretar, manipular, modificar, operacionalizar, organizar, prever, preparar, produzir, relatar, resolver, transferir, usar, construir, esboçar, escolher, escrever, operar e praticar.</p>
<b>4. Análise</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas inter-relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto de estudo.</p> <p><b>Subcategorias:</b> Análise de elementos; Análise de relacionamentos; e Análise de princípios organizacionais.</p> <p><b>Verbos:</b> analisar, reduzir, classificar, comparar, contrastar, determinar, deduzir, diagramar, distinguir, diferenciar, identificar, ilustrar, apontar, inferir, relacionar, selecionar, separar, subdividir, calcular, discriminar, examinar, experimentar, testar, esquematizar e questionar.</p>
<b>5. Síntese</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de agregar e juntar partes com a finalidade de criar um novo todo. Essa habilidade envolve a produção de uma comunicação única (tema ou discurso), um plano de operações (propostas de pesquisas) ou um conjunto de relações abstratas (esquema para classificar informações). Combinar partes não organizadas para formar um "todo".</p> <p><b>Subcategorias:</b> 5.1 Produção de uma comunicação original; 5.2 Produção de um plano ou propostas de um conjunto de operações; e 5.3 Derivação de um conjunto de relacionamentos abstratos.</p> <p><b>Verbos:</b> categorizar, combinar, compilar, compor, conceber, construir, criar, desenhar, elaborar, estabelecer, explicar, formular, generalizar, inventar, modificar, organizar, originar, planejar, propor, reorganizar, relacionar, revisar, reescrever, resumir, sistematizar, escrever, desenvolver, estruturar, montar e projetar.</p>
<b>6. Avaliação</b>	<p><b>Definição:</b> Habilidade de julgar o valor do material (proposta, pesquisa, projeto) para um propósito específico. O julgamento é baseado em critérios bem definidos que podem ser externos (relevância) ou internos (organização) e podem ser fornecidos ou conjuntamente identificados. Julgar o valor do conhecimento.</p> <p><b>Subcategorias:</b> 6.1 Avaliação em termos de evidências internas; e 6.2 Julgamento em termos de critérios externos.</p> <p><b>Verbos:</b> Avaliar, averiguar, escolher, comparar, concluir, contrastar, criticar, decidir, defender, discriminar, explicar, interpretar, justificar, relatar, resolver, resumir, apoiar, validar, escrever um review sobre, detectar, estimar, julgar e selecionar.</p>

Fonte: Bloom et al. (1956), Bloom (1986), Driscoll (2000) e Krathwohl (2002), (FERRAZ & BELHOT, 2010, p. 426)

## **ANEXO B - TEXTOS SOBRE A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE**

### **TEXTO 1: A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Faísca**

No início do século XIX, em um porão em Mayfair, o cientista mais famoso da época, Humphry Davy, fabricou um dispositivo elétrico extraordinário. Quatro metros de largura, o dobro em comprimento e contendo blocos fétidos de ácido e metal, criado para gerar mais eletricidade do que jamais fora possível. Era a maior pilha elétrica que o mundo já vira. Com ela, Davy estava prestes a nos levar a uma nova era. Esse momento aconteceria em uma palestra na Royal Institution, diante dos melhores de Londres. Cheios de expectativa, eles ocupavam os assentos, esperando testemunhar uma nova e emocionante maravilha elétrica. Eles veriam naquela noite algo verdadeiramente original. Algo que se lembrariam pelo resto de suas vidas. Utilizando apenas duas hastes simples de carbono, Humphry Davy liberaria o verdadeiro potencial da eletricidade.

A eletricidade é um dos fenômenos mais incríveis da natureza, e sua manifestação mais poderosa que já vimos é o raio. Esta é a história de como imaginamos controlar esta força fundamental da natureza, e como acabaríamos nos tornando seu mestre.

É uma história de 300 anos de ideias deslumbrantes e experiências extraordinárias. É uma história de gênios heterodoxos que usaram a eletricidade para iluminar nossas cidades, para se comunicar através dos mares e do ar, para criar a indústria moderna e nos dar a revolução digital. Mas neste episódio, contaremos a história dos primeiros cientistas que começaram a revelar os mistérios da eletricidade. Eles estudaram a sua ligação curiosa à vida, construíram poderosos e estranhos instrumentos para criá-la e até sobrepujaram o próprio raio. Foram esses homens que estabeleceram as bases do mundo moderno. E tudo começou com uma faísca.

Imagine o nosso mundo sem eletricidade. Ele seria escuro, frio e silencioso. Em muitos aspectos, seria como o início do séc. XVIII, onde a nossa história começa.

Esta é a Sociedade Real em Londres. No início do séc. XVIII, após anos ignorado, Isaac Newton finalmente assumiu a sua liderança após a morte do arqui-inimigo, Robert Hooke. Newton trouxe seus apadrinhados para os principais cargos,

para ajudar a apoiar sua nova função. O novo chefe do setor de demonstrações era Francis Hauksbee, de 35 anos.

Registros da Sociedade Real, em 1705, revelam o quanto Hauksbee tentou imprimir sua personalidade nas sessões semanais, criando experiências cada vez mais espetaculares para impressionar seus mestres.

Em novembro, ele surgiu com isto. Uma esfera giratória de vidro. Ele foi capaz de retirar o ar de dentro dela usando uma nova máquina, a bomba de ar. Em sua máquina, uma manivela permitia-lhe girar a esfera. Uma a uma, as velas da sala foram apagadas. E Francis colocou sua mão sobre a esfera. A plateia estava prestes a ver algo incrível. "Dentro da esfera de vidro", começou a se formar uma estranha luz etérea, "dançando em torno da mão dele". "Uma luz jamais vista". Isso é fantástico. Vemos um belo brilho azul, está marcando a forma das minhas mãos, e depois percorrendo a bola. É como se houvesse algo vivo dentro. É difícil entender por que esta luz azul dançante representou tanto, mas temos de pensar que, na época, fenômenos naturais como este eram vistos como obra do Todo Poderoso.

Era um período em que, mesmo na teoria de Isaac Newton, Deus intervinha constantemente na condução do mundo. Para muitos, fazia sentido interpretar os fenômenos naturais como atos de Deus. Assim, quando um mero mortal interferia na obra de Deus, isto estava além da compreensão racional.

Hauksbee nunca compreendeu a importância de sua experiência. Ele perdeu o interesse na esfera brilhante e passou os últimos anos de sua vida criando experiências cada vez mais espetaculares para Isaac Newton testar suas outras teorias. Ele nunca percebeu que, involuntariamente, iniciou uma revolução elétrica.

Antes de Hauksbee, a eletricidade era uma mera curiosidade. Os gregos antigos friccionavam o âmbar, que eles chamavam de elétron, para obter pequenos choques. Até a rainha Elizabeth I ficou maravilhada com o poder da eletricidade estática em erguer penas.

Mas agora a máquina de Hauksbee produzia eletricidade com o girar de uma manivela, e podia-se vê-la. Talvez ainda mais importante, sua invenção coincidiu com o surgimento de um novo movimento que se disseminava pela Europa, chamado Iluminismo.

Os intelectuais iluministas usavam a razão para questionar o mundo e seu legado foi a política radical, arte iconoclasta e filosofia natural, ou ciência. Mas,

ironicamente, a nova máquina de Hauksbee não foi imediatamente aceita pela maioria dos intelectuais, mas por ilusionistas e mágicos de rua. Quem tinha interesse na eletricidade autodenominava-se "eletricista".

Uma história fala de um jantar com a presença de um conde austríaco. O eletricista tinha colocado algumas penas sobre a mesa e depois eletrificou um bastão de vidro com um lenço de seda. Ele surpreendeu os convidados levantando as penas com o bastão. Depois, ele passou a se eletrificar usando uma das máquinas elétricas de Hauksbee. Ele aplicou choques elétricos nos convidados, que provavelmente gritaram de prazer. Mas, para seu melhor número, ele colocou um copo de conhaque no centro da mesa, eletrificou-se de novo e o inflamou com uma faísca da ponta do seu dedo.

Havia um truque chamado a beatificação elétrica, no qual a vítima sentava em uma cadeira isolada e acima de sua cabeça pendia uma coroa de metal que não chegava a tocar a sua cabeça. Quando a coroa era eletrificada, obtinha-se uma descarga elétrica em torno dela que se assemelhava a uma auréola, por isso chamava-se beatificação elétrica. À medida que Inglaterra e a Europa ficavam alucinadas pela eletricidade, os espetáculos ficavam maiores.

Os eletricistas mais curiosos começaram a fazer perguntas mais profundas, não apenas sobre como tornar os shows maiores e melhores, mas como poderíamos controlar este poder incrível. E para alguns, poderia esta chama elétrica fazer mais do que apenas entreter?

Uma das primeiras descobertas nunca teria acontecido se não tivesse sido por um terrível acidente. Esta é a Charterhouse, no centro de Londres. Nos últimos 400 anos, tem sido uma casa de caridade para jovens órfãos e idosos. Em algum momento da década de 1720, também se tornou o lar de Stephen Gray.

Stephen Gray era um próspero tingidor de seda de Canterbury. Ele estava habituado a ver faíscas elétricas saltarem da seda e elas o fascinavam. Infelizmente, um acidente incapacitante encerrou sua carreira, deixando-o na miséria. Depois, ele recebeu uma chance de vida nova em Charterhouse e tempo para realizar suas próprias experiências elétricas.

Aqui em Charterhouse, possivelmente nesta sala, o Grande Gabinete, Stephen Gray construiu uma estrutura de madeira e na haste superior ele pendurou dois balanços usando corda de seda. Ele também tinha um aparelho como este, uma

máquina Hauksbee, para gerar eletricidade estática. Com uma grande plateia presente, ele pôs um dos órfãos que viviam aqui para se deitar entre os dois balanços. Gray colocou algumas folhas de ouro na frente do menino. Depois, ele gerou eletricidade e eletrificou o garoto por uma barra de ligação (biela).

Folhas de ouro, até penas, saltavam rumo aos dedos do garoto. Alguns espectadores afirmaram ter visto faíscas saindo dos seus dedos. Puro espetáculo. Mas para a mente curiosa e inquisitiva de Stephen Gray, isto também significava outra coisa... a eletricidade podia se mover, da máquina para o corpo do garoto, através de suas mãos. Mas a corda de seda a detinha. Significava que o misterioso fluido elétrico poderia propagar-se por algumas coisas... e outras não.

Isso levou Gray a dividir o mundo em dois diferentes tipos de substâncias, chamadas isolantes e condutoras. As isolantes detinham a carga elétrica em seu interior não a deixavam passar, como a seda, o cabelo, vidro e resina, enquanto as condutoras permitiam que a eletricidade se propagasse, como o garoto ou metais. É uma distinção fundamental até hoje.

Consideremos estas torres elétricas. Elas funcionam sob o mesmo princípio deduzido por Gray há quase 300 anos. Os fios são condutores. O vidro e objetos de cerâmica, entre o fio e o metal da torre, são isolantes que impedem que a eletricidade saia dos fios para a torre e depois ao solo. Como as cordas de seda na experiência de Gray.

Na década de 1730, a experiência de Gray pode ter aturdido todos que a viram, mas tinha um inconveniente frustrante. Por mais que tentasse, Gray não podia conter a eletricidade que gerava por muito tempo. Ela passou da máquina para o garoto e acabou rapidamente.

O próximo passo em nossa história surgiu quando aprendemos a armazenar a eletricidade. Mas isso não ocorreria na Grã-Bretanha, mas do outro lado do Canal, na Europa continental. Do outro lado do Canal, eletricitistas estavam tão ocupados quanto os britânicos, e um centro para pesquisa elétrica ficava aqui em Leiden, Holanda.

Foi aqui que um professor surgiu com uma invenção ainda considerada por muitos como a mais importante do século XVIII, que, de uma forma ou de outra, ainda pode ser encontrada em quase todo aparelho elétrico atual. O professor chamava-se Pieter van Musschenbroek.

Ao contrário de Hauksbee e Gray, Musschenbroek nasceu no meio acadêmico. Mas, ironicamente, sua descoberta não surgiu em decorrência de sua ciência rigorosa, mas devido a um simples erro humano. Ele tentava encontrar um meio de armazenar a corrente elétrica, adequada às suas demonstrações. Praticamente podemos ouvir sua linha de pensamento enquanto ele tentava descobrir isso.

Se a eletricidade é um fluido que corre, como a água, então talvez pudesse ser armazenada da mesma forma que a água. Musschenbroek foi para seu laboratório tentar criar um aparelho para armazenar a eletricidade.

Musschenbroek começou a pensar literalmente. Ele pegou uma Garrafa de vidro e encheu com um pouco de água. Depois, ele inseriu dentro dela um fio condutor... que estava conectado pela parte superior a uma máquina elétrica de Hauksbee. Ele pôs a Garrafa sobre um isolante para ajudar a manter a corrente dentro dela. Depois, ele tentou inserir eletricidade dentro da Garrafa produzida pela máquina e conduzida pelo fio até dentro da água.

Independente do que ele tentava, a corrente não ficava dentro da Garrafa. Então, um dia, por acidente, ele se esqueceu de pôr a Garrafa sobre o isolante, e a eletrificou enquanto ainda estava em sua mão. Por fim, segurando a Garrafa com uma mão, ele tocou na parte superior com a outra e recebeu um choque elétrico tão forte, que quase foi jogado ao chão. Ele escreveu: "É uma nova, mas terrível experiência, que aconselho a jamais tentar". "Nem eu que a executei e sobrevivi pela graça de Deus voltaria a repeti-la pelo reino da França". Vou seguir o conselho dele, não tocarei na parte superior, mas verei se consigo extrair uma faísca dela. A força da eletricidade que saiu da Garrafa foi maior do que tudo visto anteriormente. E ainda mais surpreendente, a Garrafa conseguia armazenar eletricidade por horas, até dias. Em homenagem à cidade onde Musschenbroek fez sua descoberta, ela foi chamada de Garrafa de Leiden. E sua fama se alastrou pelo mundo.

Rapidamente, de 1745 até o final da década, a notícia da "Garrafa de Leiden" tornou-se mundial. Espalhou-se do Japão, na Ásia Oriental, à Filadélfia, no leste dos EUA. Tornou-se uma das primeiras notícias científicas rápidas globalizadas. Mas embora a Garrafa de Leiden tenha virado um fenômeno global elétrico, ninguém tinha a menor ideia de como ela funcionava.

Tem-se uma Garrafa de fluido elétrico, e acaba-se obtendo um grande choque dela ao permitir que fluido elétrico dirija-se para a terra. Por que o choque é maior se a Garrafa está vazando? Por que o choque não é maior se todo o fluido elétrico permanecer dentro da Garrafa? Foi assim que os filósofos elétricos de meados do século XVIII encararam esse desafio.

Eletricidade era, sem dúvida, uma maravilha fantástica. Ela liberava choque e faísca. Ela agora podia ser armazenada e mover-se. Mas, o que ela era como funcionava e por que ela fazia tudo isso era um completo mistério.

Dentro de 10 anos, surgiria um avanço de alguém inesperado, de um homem política e filosoficamente em guerra com a elite governante londrina. E ainda mais chocante para a elite elétrica britânica, tal homem era um mero colonizado. Um americano.

Esta pintura de Benjamin Franklin fica aqui na Sociedade Real, em Londres. Franklin era um defensor veemente da emancipação americana que via a busca pela ciência racional, e, sobretudo pela eletricidade, como meio de acabar com a ignorância, a idolatria e com seus senhores intelectuais elitistas coloniais. Isso estava misturado com uma profunda ideia democrática igualitária que Franklin e seus aliados tinham, de que era um fenômeno aberto a todos. Era algo que a elite não compreendia, mas que eles poderiam compreender. Algo que a elite não podia controlar, mas eles podiam ser capazes de controlar. Algo que era, sobretudo, fonte de superstição. E eles, racionais, igualitários, e potencialmente democratas intelectuais, seriam capazes de explicar, sem parecer ser escravos da magia ou mistério.

Franklin decidiu usar o poder da razão para explicar racionalmente o que muitos consideravam um fenômeno mágico... o raio.

Esta talvez seja uma das mais famosas imagens científicas do século XVIII. Ela mostra Benjamin Franklin, o cientista heroico, empinando uma pipa em uma tempestade, provando que o raio é elétrico. Mas, apesar de Franklin ter proposto esta experiência, é praticamente certo que ele nunca a realizou. É mais provável que sua experiência mais importante seja outra que ele propôs, mas não executou. Na verdade, ela sequer foi feita nos EUA.

Ela foi feita aqui, em um pequeno vilarejo ao norte de Paris, chamado Marly La Ville. Os franceses adoravam Franklin, sobretudo sua política antibritânica, e eles se encarregaram de realizar sua outra experiência com o raio, sem ele.

Eu vim ao local onde aconteceu tal experiência. Em maio de 1752, George Louis Leclerc, conhecido em toda a França como o conde de Buffon, e seu amigo Thomas François Dalibard ergueram uma haste de metal de 12 m, com mais do dobro da altura desta, sustentada por três aduelas de madeira, na porta da casa de Dalibard aqui, em Marly La Ville.

A extremidade inferior da haste de metal estava dentro de uma garrafa de vinho vazia. A grande ideia de Franklin era de que a haste comprida atrairia o raio, que desceria pela haste metálica e seria armazenado na garrafa de vinho, que funcionava como uma Garrafa de Leiden. Assim, ele poderia confirmar o que o raio realmente era. Seus seguidores franceses só precisavam esperar por uma tempestade.

Então, em 23 de maio, o céu se abriu. Às 12h20, um estrondoso trovão foi ouvido enquanto o raio atingia o topo da haste. Um assistente correu até a garrafa, uma faísca saltou entre o metal e o dedo dele com um barulho alto e um cheiro de enxofre, queimando a sua mão.

A faísca revelou o que o raio realmente era. Ele era idêntico à eletricidade criada pelo homem. É difícil não enfatizar a importância deste momento. A natureza tinha sido dominada, não apenas isso, mas a própria ira de Deus tinha sido subjugada ao controle da humanidade. Era uma espécie de heresia.

A experiência de Franklin foi muito importante porque mostrou que as tempestades de raios produzem ou são produzidas pela eletricidade e que podemos subjugar essa eletricidade, que ela é uma força da natureza à espera de ser explorada.

Em seguida, Franklin voltou a sua mente racional para outra questão. Por que a Garrafa de Leiden produzia as maiores faíscas quando segurada na mão? Por que toda a eletricidade não escapava? Ao explorar sua experiência como um empresário bem-sucedido, ele viu algo que mais ninguém vira. Que como o dinheiro em um banco, eletricidade podia estar em crédito, que ele chamou de positiva, ou em débito, negativa.

Para ele, o problema da Garrafa de Leiden era de contabilidade. A ideia de Franklin era de que todo corpo tinha em torno de si uma atmosfera elétrica. E de

que havia quantidade natural de fluido elétrico ao redor de cada corpo. Se houvesse muito, chamaríamos de positivo. Se houvesse muito pouco, de negativo. E a natureza era organizada para que o positivo e o negativo estivessem sempre equilibrados, como uma economia ideal americana. A ideia de Franklin era de que a eletricidade era apenas carga positiva fluindo para anular a carga negativa. E acreditava que esta ideia simples resolveria o mistério da Garrafa de Leiden.

Conforme a Garrafa é eletrificada, a carga elétrica negativa desce pelo fio até a água. Se a Garrafa estiver sobre um isolante, uma pequena quantidade se acumula na água. Mas se a Garrafa for segurada por alguém enquanto está sendo eletrificada, a carga elétrica positiva sobe pelo seu corpo a partir do solo até o exterior da Garrafa, tentando anular a carga negativa dentro. Mas as cargas positivas e negativas são impedidas de se anularem pelo vidro que atua como isolante. Em vez disso, as cargas só fazem aumentar em ambos os lados do vidro. Assim, tocar a parte superior da Garrafa com a outra mão, forma um circuito, permitindo que a carga negativa no interior passe pela mão até a carga positiva do lado de fora, finalmente anulando-a. O movimento da carga produz um grande choque e muitas vezes uma faísca.

O equivalente moderno da Garrafa de Leiden é isto... o capacitor. É um dos componentes eletrônicos mais comuns. É encontrado em toda parte. Há diversos capacitores espalhados por esta placa de circuito de um computador. Eles ajudam a amenizar os surtos de energia, protegendo componentes sensíveis, mesmo nos circuitos elétricos mais modernos.

Resolver o mistério da Garrafa de Leiden e identificar o raio apenas como um tipo de eletricidade foram dois grandes êxitos de Franklin e do recente movimento iluminista. Mas as forças dos negócios e do comércio, que ajudaram a fomentar o Iluminismo, estavam prestes a apresentar um novo e ainda mais desconcertante mistério elétrico. Uma espécie totalmente nova de eletricidade.

Este é o Canal da Mancha. Nos séculos XVII e XVIII, boa parte da riqueza mundial passava por esta faixa de água vinda de todos os cantos do império britânico e além, a caminho de Londres. Especiarias da Índia, açúcar do Caribe, trigo da América, chá da China. Mas, é claro, não era apenas o comércio. Novas plantas e espécimes animais de todo o mundo chegavam a Londres, incluindo um que fascinava particularmente os eletricitistas.

Chamado de peixe tremelga, era objeto de histórias de pescadores. Dizia-se que seu ferrão era capaz de derrubar um adulto. Mas, quando os eletricitas começaram a investigar o ferrão, notaram que ele parecia estranhamente similar ao choque causado pela Garrafa de Leiden. Será que o ferrão era um choque elétrico?

No início, muitos classificaram o tremelga como ocultismo. Alguns disseram que era apenas a mordida do peixe. Outros que não podia ser um choque, pois sem uma faísca, não era eletricidade. Mas, para a maioria, era um novo mistério bem estranho e inexplicável. Seria preciso um dos mais estranhos e geniais personagens da ciência britânica para começar a desvendar os segredos do peixe tremelga.

Esta é a única imagem existente do patologicamente tímido, mas excepcional, Henry Cavendish. Ela só existe porque um artista desenhou seu casaco pendurado em um cabide, e depois inseriu o rosto com base na lembrança.

A família dele era incrivelmente rica. Eles eram os Devonshire que ainda são donos do Chatsworth House, em Derbyshire. Henry Cavendish decidiu ignorar a riqueza e status de sua família para viver em Londres perto de sua amada Sociedade Real onde ele poderia continuar tranquilamente com sua paixão pela ciência experimental.

Ao saber do peixe tremelga elétrico, ele ficou intrigado. Um amigo escreveu para ele... "Quanto a isso, minha primeira experiência do efeito do tremelga", eu exclamei que sem dúvida é eletricidade. "Mas como?"

Para desvendar como um ser vivo poderia produzir eletricidade, ele decidiu fabricar seu próprio peixe artificial. Este é o projeto dele. Duas Garrafas de Leiden em formato de peixe enterradas na areia. Ao tocar-se na areia, elas descarregavam, proporcionando um choque desagradável.

O modelo ajudou a convencê-lo de que o verdadeiro peixe tremelga era elétrico. Mas ainda havia um problema inquietante. Embora os peixes real e artificial de Cavendish proporcionassem choques elétricos fortes, o peixe real não faiscava. Cavendish ficou perplexo. Como poderia ser o mesmo tipo de eletricidade se elas não faziam as mesmas coisas?

Cavendish passou o inverno de 1773 em seu laboratório tentando chegar a uma resposta. Na primavera, ele teve uma ideia. A resposta genial de Cavendish foi identificar uma distinção sutil entre a quantidade de eletricidade e a sua intensidade.

O peixe real produzia o mesmo tipo de eletricidade. Ela só era menos intensa. Para um físico como eu, isto representa um divisor de águas. É o momento em que duas ideias científicas inovadoras surgem por acaso.

O que Cavendish se refere como a quantidade de eletricidade, hoje chamamos de "carga elétrica." Sua intensidade é o que chamamos de diferença de potencial elétrico ou "tensão" (voltagem).

O choque da Garrafa de Leiden era de alta tensão, mas de baixa carga, enquanto o do peixe era de baixa tensão e alta carga. E é possível mensurar isso. Escondido no fundo deste tanque, debaixo da areia, está o tremelga marmoreado, uma arraia elétrica. Conseguimos ver apenas seus olhos saindo da areia. Esta é uma fêmea adulta, eu vou tentar medir a eletricidade liberada com esta isca.

O peixe está ligado a uma haste de metal conectada a um osciloscópio para ver se consigo medir a tensão quando ela pegar a presa. Lá vai! Um choque! Mais um.

O peixe liberou um choque de cerca de 240 volts, a mesma energia da rede elétrica, mas ainda cerca de 10 vezes menor que a Garrafa de Leiden. Isso teria me dado um choque bastante desagradável só posso tentar imaginar o que deve ter sido para os cientistas do século XVIII testemunharem isso.

Um animal, um peixe, produzindo sua própria eletricidade. Cavendish mostrara que o peixe tremelga criava eletricidade, mas ele não sabia se era o mesmo tipo de eletricidade feita por uma máquina elétrica.

O choque elétrico produzido pelo tremelga é o mesmo produzido por uma máquina elétrica? Ou existem dois tipos? Um tipo gerado artificialmente ou existe uma eletricidade animal que só existe em corpos vivos? Esse foi um grande debate que dividiu opiniões por décadas.

Desse debate aguerrido surgiu uma nova descoberta. A descoberta de que a eletricidade não precisava ser um choque ou faísca breve, mas poderia ser contínua. E a geração de eletricidade contínua acabaria nos levando à nossa era moderna.

Mas o próximo passo na história da eletricidade surgiria devido a uma atroz rivalidade pessoal e profissional entre dois acadêmicos italianos. Esta é a Universidade de Bolonha, uma das mais antigas da Europa. No final do século XVIII, a cidade de Bolonha era governada pela Roma papal. A universidade era poderosa,

mas conservadora em seu pensamento. Ela estava mergulhada no cristianismo tradicional, em que Deus governa a Terra do céu e que a forma de Ele reger o mundo era ocultar para nós, meros mortais, que não foram feitos para compreendê-Lo, somente para servi-Lo. Um dos maiores destaques da universidade era o anatomista Luigi Aloisio Galvani. Mas, em uma cidade vizinha, um eletricitista rival estava prestes a criticar severamente Galvani.

Esta é Pavia, a apenas 240 km de Bolonha, mas no final do século XVIII, eram separadas politicamente. Ela fazia parte do império austríaco o que a colocava no centro do Iluminismo europeu. Liberal em seu pensamento, politicamente radical e obcecada com a nova ciência da eletricidade. Ela também era o lar de Alessandro Volta.

Alessandro Volta não podia ser mais diferente de Galvani. De uma antiga família da Lombardia, ele era jovem, arrogante, carismático, mulherengo e adorava polêmica. Ao contrário de Galvani, ele gostava de exibir suas experiências em um palco internacional para qualquer público.

As ideias de Volta não estavam tolhidas pelo dogma religioso de Galvani. Como Benjamin Franklin e o Iluminismo europeu, ele acreditava na racionalidade, que a verdade científica, como um deus grego, derrotaria a ignorância. A superstição era a inimiga. A razão era o futuro. Os dois eram fascinados pela eletricidade. E ambos aplicaram a ela as suas visões de mundo distintas.

Galvani se interessou pelo uso da eletricidade em tratamentos médicos. Por exemplo, em 1759, aqui, em Bolonha, a eletricidade foi usada nos músculos de um homem com paralisia. Um relato dizia... "Foi ótimo ver a mastoide rotacionar a cabeça, o bíceps dobrar o cotovelo". "Em suma, ver a força e vitalidade de todos os movimentos "ocorrendo em todos os músculos paralisados" submetidos ao estímulo".

Galvani acreditava que esses tipos de exemplos revelavam que o corpo funcionava usando eletricidade animal, um fluido que corre a partir do cérebro, através dos nervos, até os músculos, onde é transformado em movimento.

Ele criou uma série de experiências macabras para provar isso. Primeiro, ele preparou um sapo. Ele escreveu: "O sapo está sem pele e vísceras". Restaram apenas "os membros inferiores, contendo apenas os nervos crurais."

Eu deixei o meu sapo praticamente intacto, mas expus os nervos que se ligam às pernas do sapo. Ele usou a máquina elétrica de Hauksbee para gerar carga

eletrostática, que se acumula e desloca por esta haste e sai por este fio de cobre. Depois, ele conectou o fio condutor da carga ao sapo e um outro ao nervo logo acima da perna.

Vamos ver o que acontece. As pernas do sapo se contraem com o contato. Aí está! Para Galvani, o que acontecia era que havia uma entidade estranha e especial no músculo animal, que ele denominou eletricidade animal. Não era como as demais. Era intrínseco dos seres vivos. Mas, para Volta, a eletricidade animal cheirava à superstição e magia. Ela não tinha lugar na ciência racional iluminista.

Volta via a experiência completamente diferente de Galvani. Ele acreditava que ela revelava algo totalmente novo. Para ele, as pernas não estavam pulando como consequência da liberação de eletricidade animal dentro delas, mas por causa da eletricidade artificial externa. As pernas eram apenas sinalizadores. Elas só se contraíam devido à eletricidade da máquina de Hauksbee. Em Bolonha, Galvani reagiu furiosamente às ideias de Volta. Ele acreditava que Volta havia cruzado o limite fundamental, das experiências elétricas para o reino de Deus, o que equivalia à heresia.

Ter um tipo de espírito como a eletricidade, produzi-la artificialmente e dizer que esse espírito, essa força de vida, que a ação era a mesma produzida por Deus, que Deus havia posto num corpo vivo, humano ou de um sapo, parecia um sacrilégio, porque eliminava o limite entre o reino de Deus, do divino, e o reino mundano, do material.

Compelido por sua indignação religiosa, Galvani anunciou uma nova série de resultados experimentais, que provaria que Volta estava errado. Durante uma de suas experiências, ele pendurou sapos em um fio de ferro e viu algo totalmente inesperado. Se ele conectasse um fio de cobre ao fio onde o sapo estava pendurado, e, depois, tocasse a outra ponta do cobre no nervo... parecia que ele podia contrair as pernas do sapo sem nenhuma eletricidade. Galvani chegou à conclusão de que devia haver algo dentro dos sapos, mesmos mortos, que continuava por um tempo após a morte produzindo algum tipo de eletricidade. E os fios de metal de algum meio liberavam essa eletricidade.

Nos meses seguintes, as experiências de Galvani concentraram-se em isolar essa eletricidade animal utilizando combinações de sapo, metal, Garrafas de Leiden e máquinas elétricas. Para Galvani, essas experiências eram prova que a

eletricidade originava-se de dentro do sapo. Os músculos do sapo eram Garrafas de Leiden, armazenando fluido elétrico e depois o liberando em uma explosão.

Em 30 de outubro de 1786, ele publicou suas descobertas em um livro, "De Animali Electricitate", Da Eletricidade Animal. Galvani estava tão confiante em suas ideias, que mandou um exemplar do seu livro para Volta. Mas Volta não conseguia aceitar a ideia de eletricidade animal de Galvani. Ele achava que a eletricidade devia vir de um outro lugar. Mas de onde?

Na década de 1790, aqui na Universidade de Pavia, quase certamente neste auditório, que ainda ostenta seu nome, Volta começou sua busca pela nova fonte de eletricidade. Suas suspeitas se concentraram nos metais que Galvani usara para contrair as pernas do sapo. Sua curiosidade foi despertada por um fenômeno estranho com o qual ele se deparou, com o sabor das combinações dos metais. Ele descobriu que se pegasse duas moedas de metais diferentes e as colocasse na ponta de sua língua, e, depois, pusesse uma colher de prata em cima de ambas... ele sentiria uma sensação de formigamento, parecido ao obtido da descarga de uma Garrafa de Leiden.

Volta concluiu que poderia saborear a eletricidade e que ela devia vir do contato entre os metais distintos nas moedas e colher. Sua teoria contrariava a de Galvani. A perna do sapo contraía, não devido à sua própria eletricidade animal, mas porque ela estava reagindo à eletricidade dos metais. Mas a eletricidade que suas moedas geravam era incrivelmente fraca. Como ele poderia torná-la mais forte?

Então, uma ideia ocorreu a ele ao revisar os trabalhos científicos do grande cientista britânico, Henry Cavendish, e, sobretudo, a sua famosa obra sobre o peixe tremelga elétrico.

Ele observou mais de perto o peixe tremelga e, sobretudo, o padrão repetitivo de cavidades em suas costas. Ele imaginou se esse padrão repetitivo continha o segredo do seu poderoso choque elétrico. Talvez cada cavidade fosse como as suas moedas e colher, cada uma gerando uma pequena quantidade de eletricidade. E, talvez, o choque poderoso do peixe resultasse do padrão de cavidades sucessivamente repetido. Com confiança crescente em suas novas ideias, Volta decidiu revidar construindo sua própria versão artificial do peixe elétrico. Ele copiou o peixe tremelga, repetindo seu padrão, mas usando metal.

Eis o que ele fez. Ele pegou uma placa metálica de cobre, depois, colocou sobre ela um pedaço de papelão embebido em ácido diluído. Depois, sobre isto, ele pegou outro metal e colocou em cima. O que ele tinha aqui era o mesmo dos dois fios de Galvani. Mas Volta repetiu o processo. Ele estava construindo uma pilha de metal. Na verdade, sua invenção ficou conhecida como "pilha." Mas é o que ela podia fazer que foi uma revelação incrível.

Volta testou a pilha em si mesmo, pegando dois fios, prendendo-os em cada uma das extremidades da pilha e pondo as outras extremidades em sua língua. Ele podia realmente saborear a eletricidade. Desta vez, ela foi mais poderosa do que o normal e constante. Ele havia criado a primeira pilha.

A máquina não era mais elétrica e mecânica, era apenas uma máquina elétrica. Ele provou que uma máquina imitando o peixe funcionaria, que o que ele chamou de eletricidade por contato de diferentes metais podia funcionar, que ele considerou como seu golpe vitorioso na polêmica com Galvani.

A pilha de Volta mostrou que é possível desenvolver todos os fenômenos da eletricidade animal sem a presença de animais. Do ponto de vista voltaico, parecia que Galvani estava errado, não há nada especial na eletricidade em animais. Era eletricidade e ela podia ser totalmente replicada por essa pilha artificial. Mas a maior surpresa para Volta foi que a eletricidade gerada era contínua. Na verdade, ela fluía como água em um riacho. E como em um riacho, onde a medida da quantidade de água que flui é chamada de corrente, a eletricidade liberada pela pilha ficou conhecida por corrente elétrica.

Duzentos anos após Volta, finalmente compreendemos o que é a eletricidade. Os átomos dos metais, como todo átomo, possuem elétrons carregados eletricamente em torno de um núcleo. Mas em metais, os átomos compartilham seus elétrons mais externos entre si e de forma singular, que significa que podem se mover de um átomo a outro. Se tais elétrons se moverem na mesma direção, ao mesmo tempo, o efeito cumulativo é o movimento de carga elétrica. Esse fluxo de elétrons é o que chamamos de corrente elétrica.

Semanas após Volta publicar os detalhes da sua pilha, cientistas descobriram algo incrível que ela podia fazer. Seu efeito na água comum era completamente inesperado. O fluxo constante da carga elétrica à água a estava dissociando em seus componentes, os gases, oxigênio e hidrogênio. A eletricidade

anunciava o início de uma nova era. Uma era onde a eletricidade deixou de ser mera curiosidade e começou a ser verdadeiramente útil.

Com o fluxo constante da corrente elétrica, novos elementos químicos puderam ser isolados com facilidade. E isso estabeleceu as bases da química, física e da indústria moderna. A pilha de Volta mudou tudo.

A pilha transformou Volta em celebridade internacional, festejado pelos ricos e poderosos. Em reconhecimento, uma medida fundamental da eletricidade recebeu seu nome: o Volt. Mas seu adversário científico não se saiu tão bem. Luigi Aloisio Galvani morreu em 04 de dezembro de 1798, deprimido e na pobreza.

Para mim, não é a invenção da pilha que marca o ponto decisivo na história da eletricidade, é o que aconteceu em seguida. Ele aconteceu na Royal Institution de Londres. Foi o momento que marcou o fim de uma era e o início de outra. Foi supervisionado por Humphry Davy, o primeiro de uma nova geração de eletricitistas. Jovem, confiante e fascinado pelas possibilidades da corrente elétrica contínua.

Assim, em 1808, ele construiu a maior pilha do mundo. Ela ocupava uma sala inteira debaixo da Royal Institution. Tinha mais de 800 pilhas voltaicas individuais conectadas. Ela devia sibilar e liberar gases sulfurosos. Em uma sala escura, iluminada por tecnologia secular, velas e lamparinas a óleo, Davy conectou sua bateria a dois filamentos de carbono e juntou as duas extremidades. O fluxo contínuo de eletricidade da pilha através dos filamentos cruzou a lacuna, dando origem a uma faísca cintilante ofuscante e constante. Da escuridão fez-se a luz. O arco de luz de Davy simboliza verdadeiramente o fim de uma era e o início da nossa. A era da eletricidade. Mas esta história tem um final macabro.

Em 1803, o sobrinho de Galvani, Giovanni Aldini, veio a Londres com uma nova experiência aterrorizante. Um assassino condenado, chamado George Forster, acabara de ser enforcado em Newgate.

Quando o corpo foi retirado da forca, foi trazido diretamente ao auditório, onde Aldini iniciou sua obra macabra. Usando uma pilha voltaica, ele começou a aplicar uma corrente elétrica no cadáver. Depois, Aldini colocou um condutor elétrico no ânus do morto e o outro na parte superior da coluna. O corpo morto e inerte de Forster sentou-se com a coluna arqueada e torcida. Por um instante, parecia que o cadáver tinha sido ressuscitado. Parecia que eletricidade podia ter o poder da

ressurreição. E isso teve um impacto profundo em uma jovem escritora chamada Mary Shelley.

Mary Shelley escreveu uma das mais poderosas e mais duradouras histórias de todos os tempos. Em parte passada aqui no Lago Como, Frankenstein conta a história de um cientista, um galvanista provavelmente baseado em Aldini, que dá vida a um monstro usando a eletricidade. E, depois, insatisfeito com a própria arrogância, abandona a sua criação.

Assim como a lâmpada de arco de Davy, este livro simboliza novos tempos. O fim da era dos milagres e do romance e o início da era da racionalidade, indústria e ciência.

## TEXTO 2: A História da Eletricidade – A Era da Invenção

A eletricidade é uma das maiores forças da natureza. E em meados do século XX, nós a dominamos para iluminar e abastecer o nosso mundo moderno. Centenas de anos de descobertas científicas e invenções trouxeram-nos até aqui. Mas seria preciso a genialidade excêntrica de um homem para revelar todo o potencial da energia elétrica.

No inverno de 1943, Nikola Tesla olhou em direção ao horizonte de Manhattan pela última vez. Tesla nascera em um mundo movido a vapor e iluminado por gás. Mas diante de seus olhos, ele viu um mundo novo. Um mundo transformado, movido por eletricidade. O mundo dele. Debilitado, solitário e ainda de luto pela morte de um de seus amados pombos, este gênio excêntrico e extraordinário sabia que sua obra de vida fora concluída e deitou-se em sua cama para morrer. Levaria três dias para alguém encontrar o seu corpo.

Há pouco mais de 200 anos, os primeiros cientistas descobriram que a eletricidade podia ser muito mais do que uma carga estática. Ela podia correr em corrente contínua. Mas eles estavam prestes a descobrir algo profundo. Que a eletricidade está ligada ao magnetismo. Dominar o elo entre o magnetismo e a eletricidade transformaria completamente o mundo e nos permitiria gerar uma quantidade aparentemente ilimitada de energia elétrica.

Esta é a história de como cientistas e engenheiros revelaram a natureza da eletricidade e depois a usaram em um século extraordinário de inovação e invenção. Mas não antes de uma das mais chocantes disputas da engenharia da história finalmente morrer.

Nossa história começa em Londres, no início do século XIX, com um jovem que iria aprofundar nosso conhecimento da eletricidade tanto quanto qualquer outro. Em 29 fevereiro de 1812, um encadernador autodidata de 20 anos, chamado Michael Faraday, veio aqui, à Royal Institution da Grã-Bretanha.

Ele estava cercado pelos melhores do mundo acadêmico. E ele estava prestes a ouvir um dos maiores gênios científicos da época. Faraday, o filho de um ferreiro, tinha concluído sua educação formal quando tinha apenas 12 anos. Ele nunca chegaria à universidade. Mas ele não havia parado de aprender, pois era fascinado pela ciência. Faraday trabalhava muito durante o dia, encadernando livros. Mas à

noite, ele lia todo tipo de literatura científica que pudesse obter. Ele adorava aprender coisas novas sobre o mundo e tinha um desejo constante, uma paixão, em entender por que as coisas eram assim. Ler trabalhos científicos era uma coisa. Mas para satisfazer seu desejo por conhecimento, Faraday estava ansioso para ver diretamente as experiências.

Ele acabou tendo a chance quando recebeu um ingresso para uma das últimas palestras do maior químico inglês da época, Sir Humphry Davy. Isso mudaria para sempre a vida do jovem Faraday. Após observar Davy, inspirado e cheio de ideias, Faraday sabia o que queria fazer da sua vida. Ele estava determinado a dedicar-se a se aprofundar na ciência. E foi que ele fez. Em um ano, Davy o nomeou como assistente na Royal Institution. Com Davy como seu patrono e seu chefe, Faraday estudou todos os tipos de química. Mas o que inspiraria seus maiores avanços... foram as forças invisíveis da eletricidade e do magnetismo.

Em 1820, ambas eram estudadas por um cientista dinamarquês, Hans Christian Oersted, que havia feito uma descoberta extraordinária. Ele fez uma corrente elétrica passar por uma haste de cobre, aproximou-a da agulha magnética da bússola e viu que ela fez a agulha girar.

Para Oersted, foi incrível. Ele mostrara, pela primeira vez, que uma corrente elétrica podia criar uma força magnética. Ele havia unido a eletricidade e o magnetismo. Hoje, chamamos isso de eletromagnetismo. É uma das forças fundamentais da natureza.

A descoberta de Oersted desencadeou um novo aspecto da atividade inventiva em torno dos campos da eletricidade. Podemos imaginar os experimentadores elétricos competindo entre si, para descobrir novas ligações entre a eletricidade e as demais forças da natureza.

Na Royal Institution, Faraday começou reproduzindo o trabalho de Oersted, que marcaria seus primeiros passos rumo à fama e à fortuna. Por meio de sua rigorosa pesquisa, ele concluiu que devia haver um fluxo de forças agindo entre o fio e a agulha da bússola.

O aparelho que ele criou para demonstrar isso mudaria o curso da história. Faraday criou um circuito usando uma bateria como esta, dois fios e um banho de mercúrio. O circuito segue por estas hastes de cobre e este fio pendurado

mergulha no mercúrio. Devido ao mercúrio ser um bom condutor, ele completa o circuito.

Quando a corrente passa pelo circuito... gera um campo de força magnético circular ao redor do fio. Isso interage com o magnetismo de um ímã permanente que Faraday havia colocado no meio do mercúrio. Juntos, eles forçam o fio a se mover. Faraday provava que essa força invisível realmente existia e que ele podia ver seu efeito, o movimento circular.

Este belo aparelho foi o primeiro a converter a corrente elétrica em movimento contínuo. Basicamente, é o primeiro motor elétrico. Mas Faraday iria ainda mais longe com esta experiência. Um dos efeitos duradouros da descoberta de Faraday das rotações eletromagnéticas em 1821 foi que mostrou que havia algum tipo de relação entre eletricidade, magnetismo e movimento.

Faraday explorou detalhadamente essa relação e submeteu-se a um desafio ainda mais difícil. Usar o magnetismo e o movimento para produzir eletricidade. No final, sua obsessão, trabalho árduo e determinação compensaram.

A descoberta surgiu em 17 de outubro de 1831, quando Faraday pegou um ímã como este, o inseriu e retirou em uma bobina de fio. Ele detectou uma pequena corrente elétrica na bobina, movendo em um sentido... e depois no outro. Faraday sabia que isso representava algo.

Poucos dias depois, em vez de mover o ímã através da bobina de fio condutor, ele fez uma experiência equivalente movendo uma placa condutora de cobre através do campo magnético. Ele não sabia disto na época, mas quando o seu disco giratório atravessava o campo magnético, bilhões de elétrons com carga negativa eram desviados de sua rota circular original e começavam a se dirigir para a borda. A carga negativa acumulava-se na borda externa do disco, deixando a carga positiva no centro, e como o disco estava conectado a fios, os elétrons corriam em um fluxo constante. Faraday gerava um fluxo contínuo de corrente elétrica.

Diferente de uma pilha, sua corrente fluía pelo tempo que o disco de cobre era girado. Ele criava energia elétrica diretamente da energia mecânica. Embora a descoberta da indução por Faraday seja isoladamente muito importante, ela teve efeitos profundos para o conhecimento elétrico e tecnológico durante o resto do século XIX. Para Faraday, ela inaugurou uma década de pesquisa poderosa, por lhe dar uma pista sobre como conduzir sua pesquisa.

Enquanto Faraday continuou seu trabalho, tentando entender a natureza da eletricidade, inventores por toda a Europa estavam pouco interessados na ciência e mais interessados em como a eletricidade poderia lhes render dinheiro. O incrível, de uma perspectiva contemporânea, é que, em geral, ninguém se importava muito com o que era a eletricidade. Não havia grandes debates teóricos quanto a se ela era uma força, fluido, princípio, ou energia. Só estavam interessados no que a eletricidade podia fazer.

Faraday, vivendo em um mundo de energia a vapor, estava informando à comunidade científica da natureza da eletricidade, mas, ao mesmo tempo, outra descoberta sobre como poderíamos usá-la foi feita. Este seria o primeiro aparelho a retirar a eletricidade do laboratório e pôr nas mãos das pessoas comuns: o telégrafo.

O segredo para entender o telégrafo é conhecer um tipo especial de ímã, um eletroímã. Ou seja, um ímã criado por uma corrente elétrica. Os primeiros eletroímãs foram criados de forma independente por William Sturgeon, na Grã-Bretanha, e Joseph Henry, nos EUA. Assim como Faraday descobrira que ao enrolar o fio ele poderia aumentar a corrente produzida pelo ímã em movimento, Henry e Sturgeon descobriram que acrescentando mais bobinas aos seus fios condutores de corrente, poderiam criar um campo magnético mais concentrado. Resumindo, quanto mais bobinas, mais giros, mais forte é o ímã.

Se eu passar uma corrente por este eletroímã, poderemos ver os efeitos do campo magnético. Esta é a experiência escolar padrão de espalhar limalha de ferro sobre o ímã. Se eu der uma batidinha... veja a limalha de ferro seguindo os contornos do campo.

Isso nos permite visualizar os efeitos do magnetismo. Para criar um eletroímã ainda mais forte, Henry e Sturgeon descobriram que podiam colocar certos tipos de metais dentro da bobina eletromagnética. A razão pela qual o ferro é tão eficaz é fascinante é que podemos imaginá-lo como composto por vários ímãs pequenos, todos apontando em direções aleatórias. Por ora, isto não é um ímã. Os minúsculos ímãs internos estão alinhados semelhantes a estas agulhas de bússola. Estão apontando em direções distintas. Mas ao aplicarmos um campo magnético, todas se alinham, todos estes ímãs se combinam e cumulativamente aumentam a força do eletroímã.

Henry e Sturgeon colocaram duas bobinas eletromagnéticas em cada ponta de uma ferradura, para criar algo diversas vezes mais poderoso. Podemos ver a força desta ferradura eletroímã. Se eu ligá-la e usar algo um pouco maior do que limalha de ferro, estas pequenas peças de ferro veja a força do campo magnético, segurando-as. É importante lembrar, claro, que este eletroímã só funciona enquanto há uma corrente passando por ele. Assim que desligo a corrente... o magnetismo desaparece.

Os primeiros experimentadores exibiram este poder erguendo pesos de metal. Henry até criou um grande o bastante para erguer uma tonelada e meia de metal. Impressionante, mas incapaz de mudar o mundo. Mas coloque o ímã bem distante, na extremidade de um fio, e poderá fazer algo acontecer ao seu comando. Em um instante. Esta capacidade de controlar um ímã à distância, é uma das coisas mais úteis que já descobrimos.

Se a eletricidade podia se fazer presente longe da fonte original de energia, tínhamos uma fonte de comunicação instantânea. Em meados da década de 1840, Samuel Morse havia desenvolvido um sistema de mensagens, baseado no tempo em que um circuito elétrico era ligado ou desligado. Um pulso longo de corrente para um travessão, um pulso curto para um ponto. Isto permitia o envio e recebimento de mensagens por meio de um código simples.

Os primeiros comentaristas contemporâneos vitorianos exprimiam que a eletricidade e o telégrafo estavam tornando o mundo um lugar menor. Notamos uma certa retórica ao longo do século XIX, quando se fala sobre o telégrafo, sobre como maior comunicação e compreensão tornariam a guerra obsoleta, pois passaríamos a nos entender melhor. Vendo em retrospecto, parece irremediavelmente utópico.

Na década de 1850, a Europa e os EUA estavam cruzados por telégrafo de fio terrestre, mas o sonho da comunicação global instantânea estava fora de alcance, pois ainda não havia um cabo capaz de transportar mensagens entre duas das maiores potências do planeta... Grã-Bretanha e EUA.

Os especialistas estavam convencidos que um cabo de telégrafo via Atlântico era impossível. Mas quem discordava, sabia que se resolvesse esse problema, poderia ganhar muito dinheiro. E na década de 1850, empresários americanos e engenheiros britânicos uniram forças para provar que isso poderia ser feito.

Uma tentativa atrás da outra acabou em desastre. Os cabos pesados continuavam se partindo em mares revoltos e tempestades. Finalmente, em 29 de julho de 1858, as duas extremidades de um cabo uniram-se no meio do Atlântico. Um único cabo era grande demais para ser transportado por um navio.

Uma extremidade foi levada para New Foundland (Terra-Nova), e outra para o sudoeste da Irlanda. Seis dias depois, a primeira ligação direta entre as nações mais poderosas do mundo estava pronta. O projeto foi aclamado como um enorme sucesso e uma mensagem formal de congratulações foi enviada pela rainha Vitória ao presidente Buchanan. Mas antes que as comemorações acabassem as coisas começaram a dar errado.

Este é o caderno original do engenheiro chefe Bright. Podemos ver aqui a mensagem original da rainha Vitória. Ela contém apenas 98 palavras, mas levou 16 horas para ser transmitida. Os operadores de telégrafo do outro lado acharam muito difícil decifrar a mensagem. Os sinais elétricos que estavam recebendo eram confusos e distorcidos e eles pediam constantemente que as palavras fossem repetidas.

Podemos ver aqui... "Repetir após envio. À espera para receber, sem sinais." Estava claro que transmitir através do Atlântico não seria tão simples como esperavam.

Ao longo dos dias seguintes, centenas de mensagens foram trocadas, mas as que chegavam a New Foundland eram quase impossíveis de decifrar, eram apenas uma confusão de pontos e travessões. Havia um grave problema com o cabo e estava piorando.

O cabo de 1858 nunca foi totalmente reparado, e o seu fim chegou quando o engenheiro britânico Wildman Whitehouse acreditou erroneamente que aumentando a tensão do sinal ele poderia forçar as mensagens até New Foundland. O cabo simplesmente parou de funcionar totalmente.

Na época, aumentar a tensão usando baterias mais potentes fazia sentido. Muitos especialistas acreditavam que a corrente elétrica corria por um cabo, como um líquido corria em um cano. Aumentar a tensão equivalia a aumentar a pressão no sistema, forçando a corrente até a outra extremidade. Mas o telégrafo transportava pulsos, ou ondas de correntes ao longo do cabo, e não um fluxo contínuo. E em longas distâncias, tais pulsos tornavam-se distorcidos, dificultando diferenciar um ponto curto de um travessão longo.

Ao estudar a eficácia dos cabos submarinos, os cientistas começaram a entender que a corrente elétrica nem sempre corria como a água, mas também criava ondas eletromagnéticas invisíveis, ou ondulações. E essa descoberta levaria a um novo ramo de pesquisa no espectro eletromagnético, e resolveria os problemas do telégrafo Atlântico.

Na realidade, o cabo transatlântico era uma experiência grandiosa, ambiciosa e muito cara. O fracasso da ciência em acompanhar o ritmo da tecnologia ficou evidente. E uma nova, mais teórica, e bem mais emocionante abordagem para entender a eletricidade começava a surgir. De posse desse novo conhecimento de como os pulsos elétricos moviam-se ao longo do cabo, melhorias foram feitas em sua composição, projeto e disposição.

Seriam necessários mais oito anos de cientistas e engenheiros trabalhando em conjunto para que um cabo funcional ficasse pronto. E na sexta-feira 27 de julho de 1866, uma mensagem foi enviada da Irlanda a Terra-Nova. Clara e nítida. "Um tratado de paz foi assinado entre a Áustria e a Prússia." Finalmente, o sonho da comunicação transatlântica tornava-se realidade.

O sucesso do cabo 1866 tornou o mundo um lugar menor. Mais uma vez. A mudança de um mundo onde se levava dias, semanas ou meses para as informações chegarem, para um mundo no qual a informação levava segundos ou minutos para chegar. É muito mais profunda do que quase tudo que ocorreu durante a minha vida.

A invenção do telégrafo mudou a vida das pessoas comuns. Mas seriam os avanços de como usamos a corrente elétrica contínua que teriam um impacto ainda maior, pois os inventores estavam desenvolvendo um novo meio de usar a eletricidade, para produzir algo que todo mundo gostaria de ter... a luz elétrica.

Até o século XIX, só conhecíamos um meio de criar a nossa própria luz... acendendo velas. E em meados do século XIX, aperfeiçoamos um meio bem eficaz de iluminar nossas casas usando-se gás. Uma casa típica britânica na década de 1860 seria iluminada assim, gás altamente inflamável trazido diretamente às casas das pessoas por meio de uma rede de canos. Mas estas lâmpadas a gás eram muito fracas para grandes áreas ao ar livre. Por isso, estações ferroviárias e as ruas começaram a ser iluminadas com uma fonte mais potente: arcos de luz elétrica.

Os primeiros arcos de luz foram demonstrados pelo mentor de Michael Faraday, Sir Humphry Davy, na Royal Institution em 1808, e eles funcionavam passando-se uma faísca contínua de eletricidade através de duas hastes de carbono. Mas seu brilho intenso branco era brilhante demais para a casa das pessoas.

Para a luz elétrica competir com o gás, ela precisaria ser subdividida em lâmpadas menores, menos potentes e mais suaves. Quem conseguisse levar luz elétrica a todos os lares da Terra, teria fama e fortuna garantidas. E no início da década de 1880, o mais famoso, mais prodigioso, e mais competitivo inventor do mundo assumiu o desafio: o norte-americano Thomas Alva Edison.

Para Edison, a invenção era uma paixão. Era o que ele adorava fazer. Adorava estar no laboratório. O que mais fomentava essa paixão é que era muito divertido para Edison. Era isso que achava muito empolgante, que ele fazia bem e permitia que sua plena criatividade viesse à tona. Edison era o "Sr. Invenção Elétrica". O homem em que todos confiavam. O homem que podia fazer qualquer coisa.

Ele foi também um homem que cultivava boas relações com empresários, com pessoas dispostas a colocar dinheiro naquilo que ele defendia, e apoiá-lo nesse empreendimento. Para Edison, dinheiro era o menos importante. Para ele, o dinheiro era importante por um motivo. Realizar o próximo projeto. Edison tinha reunido um grupo de engenheiros jovens e talentosos em um laboratório de ponta em Nova Jersey, a 40 km de Manhattan.

Menlo Park se tornaria o primeiro laboratório de pesquisa e desenvolvimento do mundo, permitindo à equipe de Edison inventar em escala industrial. Eles trabalhavam muito. Um deles falou que mal via os filhos, pois vivia no laboratório. Mas eles sabiam que estavam envolvidos em algo importante. Se Edison tivesse êxito, se tivessem êxito com Edison, o futuro estaria garantido.

O sonho de Edison era levar a luz elétrica a todos os lares da Terra, com a equipe de engenheiros por trás, e a visão de um futuro elétrico à frente, ele iniciou sua luta. A corrida para levar luz elétrica ao mundo iria se desenrolar nas grandes cidades da época, Nova York, Paris, Londres. A equipe de Menlo Park de Edison começou a desenvolver uma forma totalmente diferente de lâmpada elétrica... a lâmpada incandescente.

Na verdade, o projeto da lâmpada de Edison não era assim tão inédito nem exclusivo. Inventores franceses, russos, belgas e britânicos aperfeiçoavam

lâmpadas similares há mais de 40 anos. E um deles, um inglês, Joseph Swan, desenvolveu sua própria versão de lâmpada incandescente.

As lâmpadas de Swan e Edison funcionavam através da passagem de corrente elétrica por um filamento. O filamento é um material onde a corrente elétrica atravessa com maior dificuldade do que o fio de cobre no resto do circuito. Ele se baseia na ideia de resistência.

Nesta Garrafa, há um filamento feito de lápis comum. Podemos ver o que acontece ao passar uma corrente através dele. A nível atômico, os átomos do filamento impedem o fluxo de eletricidade. Assim, é preciso mais energia para fazê-lo passar, e essa energia é depositada no filamento sob forma de calor. Conforme ele se aquece, sua resistência aumenta, aumentando sua temperatura, até brilhar incandescente.

Um dos primeiros materiais que Edison usou para seus filamentos foi a platina. Com seu ponto de fusão relativamente alto, a platina podia ser aquecida a uma temperatura incandescente sem derreter. Ela também podia ser transformada em filamentos finos, e quanto mais finos o filamento, maior resistência oferecia à corrente que passa por ele. Mas a platina era cara e não oferecia resistência suficiente.

Iniciava-se a corrida para encontrar uma alternativa melhor e a solução surgiu quando a equipe de Menlo Park passou a um método que Swan também desenvolvia, usando o vácuo para impedir que os filamentos de carbono fossem consumidos rapidamente.

Edison e Swan testaram todos os tipos de materiais para os seus filamentos. Tudo, desde seda crua, pergaminho e cortiça. Edison chegou a testar os pelos da barba do seu engenheiro. Ele acabou se contentando com a fibra de bambu, enquanto Swan usava um fio de algodão tratado.

Os designs das lâmpadas de Edison e Swan eram muito semelhantes. Eles acabaram chegando a um acordo e formando parceria para vender lâmpadas no Reino Unido. Muita gente ainda acredita que Edison inventou a lâmpada sozinho, enquanto Swan virou uma nota de rodapé na História. Mas a sua lâmpada incandescente era apenas parte da estratégia de Edison. Ele também inventou todo um sistema elétrico de bocais, cabos e medidores para acompanhá-lo. E, sendo um empresário brilhante, ele desenvolveu um meio inovador de distribuir eletricidade.

Edison sabia que a chave para ganhar dinheiro com seu sistema era gerar eletricidade em uma estação central, e depois vendê-la para o máximo de clientes possíveis. Parece óbvio para nós hoje, mas até então, quem quisesse usar a eletricidade tinha de ter seu próprio gerador barulhento para gerá-la.

A ambição de Edison era enorme. Ele queria iluminar a maior e mais emocionante cidade do mundo: Nova York. No verão de 1882, Edison estava em uma posição privilegiada, no centro da ciência e invenção do século XIX.

Ele patenteou uma tecnologia inovadora de lâmpada incandescente, adquiriu conhecimento sem precedentes em engenharia elétrica, e sobretudo, ele cultivou a fama entre o público americano de ser um inventor tão genial que a imprensa dava atenção a cada palavra sua, e a força financeira de Wall Street rapidamente apoiava suas novas ideias. Sua ideia, de eletrificar Manhattan, e depois, naturalmente, o resto do mundo, estava aparentemente ao seu alcance. Pois Edison e sua equipe estavam prestes a lançar o seu projeto mais caro e arriscado até então: a 1ª usina elétrica dos EUA, gerando corrente contínua.

Pouco antes das 15h, do dia 04 setembro de 1882, Thomas Edison, cercado por um bando de banqueiros, dignitários e repórteres, entrou no edifício do JP Morgan, ali atrás, ligou um dos interruptores patenteados por ele, e 100 de suas lâmpadas incandescentes começaram a brilhar. Dirigindo-se a um jornalista, ele disse: "Realizei tudo que prometi."

A 800 m de distância, na rua Pearl, a nova usina elétrica de Edison, custando meio milhão de dólares e quatro anos de trabalho árduo, começara a funcionar. A corrente era transmitida por cabos enterrados, estendendo-se em todas as direções.

Pode parecer óbvio para nós hoje, mas na Nova York do início da década de 1880, a ideia de enterrar cabos elétricos no solo parecia um gasto desnecessário. Esta rua era cruzada por centenas de cabos, usados para telégrafos, telefones e arcos de luz. Olhando para cima, veríamos um emaranhado de fios bloqueando a luz.

Edison sabia que essa situação perigosa tinha que mudar, e para ele ganhar o máximo de dinheiro possível, a eletricidade precisava de uma nova imagem. Precisava ser considerada segura. Edison defendia a maior segurança de seu sistema de baixa tensão e fiação subterrânea. Ele defendia ter um sistema mais seguro que o arco de luz elétrica para as ruas, ou iluminação a gás para a iluminação interior.

Não havia preocupação com incêndios, ou eletrocussão, que tudo era mais seguro devido ao sistema subterrâneo criado por ele. Enterrar todos os cabos não era apenas muito caro, mas um pesadelo logístico, porque esta era uma das áreas mais movimentadas do mundo.

Edison escolheu esta área por um motivo. Wall Street. Rica, importante, influente. Pois para o sistema de Edison ganhar dinheiro, esses ricos clientes deveriam estar a 1,5 km de sua usina elétrica. E isso aconteceu porque Edison calculou que o cabo mais grosso que ele podia custear só transportaria quantidade adequada de sua corrente contínua para os clientes dentro dessa distância.

Foi um enorme avanço porque, pela primeira vez, dezenas de clientes poderiam ser atendidos por apenas uma usina elétrica. Mas havia um grande problema. A rede de Edison nunca poderia ser econômica para iluminar os novos subúrbios dos EUA. Eles não tinham a concentração de clientes necessária para compensar a construção dessas usinas caras.

Se tivéssemos aderido à forma de Edison de gerar e distribuir eletricidade, o mundo seria um lugar muito diferente. Teríamos usinas elétricas espalhadas a não mais que 1,5 km distância, mesmo nos centros de nossas vilas e cidades. E seria muito caro fornecer energia a pequenas comunidades.

Mas alguém que tinha as respostas para tais problemas estava prestes a entrar na história. Alguém que ajudaria a criar o mundo moderno e que teria papel crucial em uma das maiores disputas da história científica. Seu nome era Nikola Tesla e ele estava bem debaixo do nariz de Edison. Nikola Tesla foi um inventor sérvio, nascido na Croácia, e trabalhou por pouco tempo para Edison após chegar à Nova York, aos 28 anos.

Europeu, introvertido, um profundo pensador, tudo que Edison não era. Edison e Tesla não poderiam ser mais diferentes na forma de lidar consigo sua aparência e modos, e na forma de construírem sua imagem pública. Edison pouco se importava com o que vestia. Se derramasse substâncias no seu terno de domingo, não se importaria. Ele era um homem do tipo desleixado.

Por outro lado, Tesla mesmo estando na casa dos 20 anos, pensava em sua aparência, em como abordar as pessoas. Preocupava-se com suas roupas, seus modos. Preocupava-se até em como sua foto era tirada. Sempre queria foto de perfil para que não vissem que seu queixo era pontudo. A vida e a morte de Nikola Tesla é

umas das histórias mais fascinantes e trágicas de genialidade científica, competição impiedosa e golpes publicitários chocantes.

O público americano ficou impressionado com as novas usinas elétricas de corrente contínua de Edison, mas Tesla ficou pouco impressionado. Ele tinha o sonho de que a eletricidade poderia ser transmitida através de cidades inteiras ou até mesmo países. E ele acreditava saber como fazer isso, usando um tipo diferente de corrente elétrica.

Especialistas em energia sabiam que quanto menor a corrente enviada por um cabo, menor é a sua perda através da resistência. E assim maior poderia ser o cabo. Tesla propôs utilizar um método de transmissão de eletricidade em que as correntes pudessem ser reduzidas sem queda na quantidade de energia elétrica na outra extremidade, chamada de corrente alternada.

A corrente alternada é exatamente isto. Uma corrente elétrica que alterna o movimento tanto em uma direção, como na direção oposta, rapidamente, diferente da corrente contínua, que se move apenas em uma direção. Tesla estava interessado na corrente alternada, pois como outros engenheiros eletricitas no final de 1880, ele percebeu que ao elevar a tensão de qualquer corrente transmitida de um ponto a outro, era mais eficiente ter maior tensão. Como a quantidade de energia elétrica em um cabo é a sua tensão multiplicada pela sua corrente, o aumento da tensão significava que a corrente nos cabos poderia ser reduzida, e assim as perdas devido à resistência seriam menores.

Contudo, não se deseja tensões muito altas na ordem de 20.000 volts chegando à sua casa. Assim, é preciso reduzir a corrente que está sendo transmitida a distância até sua casa. Para isso, é preciso um conversor ou transformador. A corrente alternada permite a utilização de um transformador para alternar a transmissão de alta tensão para a tensão mais baixa que consumimos.

Aperfeiçoar a tecnologia para transmitir a eletricidade a centenas de quilômetros de onde ela era gerada representaria um grande passo rumo ao mundo moderno. E um rico empresário industrial já estava desenvolvendo a solução. Seu nome era George Westinghouse. Westinghouse acreditava que a corrente alternada era o futuro, mas tinha uma grande desvantagem. Embora ela fosse boa para a luz elétrica, ao contrário da corrente contínua, não havia nenhum motor prático que operasse com ela. E ninguém acreditava que viesse a existir. Além de Nikola Tesla.

Tesla, como inventor, gostava de dizer que a primeira coisa a fazer não é construir algo, mas imaginá-lo, pensar, planejá-lo. E ele tinha o que os psicólogos modernos chamariam de memória fotográfica. Ele conseguia lembrar-se de tudo que via e, depois, visualizá-lo em três dimensões. Muitas vezes dizem que quem tem essa habilidade visualiza isso a um braço de distância, bem aqui, e que o vê em três dimensões nesse espaço. E tudo indica que Tesla tinha essa habilidade.

Este é o "ovo de Colombo" de Tesla. É uma réplica do que Tesla usou para demonstrar sua maior descoberta e uma das invenções mais importantes de todos os tempos. Ele mostrou como o movimento giratório pode ser produzido diretamente a partir de uma corrente alternada. Sobretudo, na corrente gerada a milhares de quilômetros. Isso era algo que nunca tinha sido feito. Quando Tesla trabalhava no motor de corrente alternada, ele pensava em larga escala. Ele não estava apenas mexendo com um componente do motor e dizendo: "Se eu fizesse isto um pouco melhor, daria certo".

Ele estava pensando em um sistema completo que envolvesse gerador, fios para o motor e o próprio motor. Ele era totalmente heterodoxo, pensava de forma não convencional, fazia as coisas de forma diferente dos seus colegas inventores.

A solução de Tesla era engenhosa. Ele introduziu mais de uma corrente alternada no seu motor e as temporizou para que seguisse uma a outra. A primeira corrente alternada energizou uma bobina de fio no interior do motor, criando um campo eletromagnético que atraía a peça central móvel do motor para ele e depois desaparecia. A segunda corrente sobreposta alimentava a bobina seguinte, arrastando a peça móvel ainda mais longe, antes de desaparecer. O mesmo ocorreu com a terceira e quarta bobinas. O resultado foi um campo magnético giratório, forte o suficiente para fazer o motor, ou, neste caso, o ovo, girar.

Tesla elaborou todo um sistema elétrico em torno desta transmissão polifásica. Isso implicou que a usina elétrica barulhenta e fétida, gerando muita corrente alternada útil, agora poderia estar situada longe das áreas povoadas. E pela primeira vez podiam-se construir grandes usinas elétricas onde se desejasse. Nos limites da cidade, em uma catarata como Niágara, e distribuir a energia em longa distância, e atender todas as pessoas de uma grande cidade ou centro metropolitano.

A descoberta de Tesla foi a última peça do quebra-cabeça, mas ele ainda tinha de convencer o mundo de que sua solução era melhor que o método de corrente

contínua defendido por Edison. Edison continuou disseminando seu sistema de corrente contínua, construindo usinas elétricas por todo estado de Nova York. Mas, então, Tesla conheceu George Westinghouse, o homem que poderia tornar seus sonhos realidade.

Em julho de 1888, Westinghouse fez uma oferta pelas patentes de Tesla, que se tornou parte do mistério e folclore em torno da história de Nikola Tesla, onde é difícil separar fato de ficção. Tesla recebeu 75 mil dólares por suas patentes de corrente alternada e recebeu oferta de 2,50 dólares para cada cavalo de força que seus motores gerassem. Isso deveria ter garantido riqueza pelo resto da vida, mas não foi o que aconteceu.

Está claro para nós hoje que, à época, o sistema de CA era um método melhor de transmissão de energia elétrica. Era de se esperar que com os avanços de Tesla, nada poderia ficar no caminho do êxito da CA contra a CC. Mas um homem ainda acreditava totalmente em suas invenções de corrente contínua. Dos filamentos das lâmpadas aos interruptores, bocais, geradores, e ele não estava prestes a perder milhões de dólares ao alterá-los: Edison. As linhas de batalha estavam definidas. Westinghouse e Tesla disputavam com Edison os lucrativos contratos de iluminação de Nova York. Dois sistemas completamente diferentes disputando um cobiçado objetivo, a chance de iluminar os EUA e depois o mundo. Isso ficaria conhecido como a Guerra das Correntes.

Os dois lados tentavam disputar no preço, mas Edison acreditava que sua amada corrente contínua era melhor que a alternada por ser mais segura. Tocar em um cabo de Edison, com a sua baixa tensão, era doloroso, mas relativamente inofensivo, enquanto que os cabos de corrente alternada transportavam maior tensão e tocá-los poderia ser fatal.

Edison estava tentando outra vez definir seu sistema CC como seguro. Era melhor do que os arcos de luz elétrica, melhor do que o gás, e melhor que a iluminação incandescente de alta tensão da CA. Era o sistema seguro. Ao adotar-se o sistema de Edison, sabia-se que era seguro.

Edison afirmava que a CA era um tipo mais perigoso de corrente do que a CC e destacava os acidentes com os operários de Westinghouse e os incêndios causados por curtos-circuitos. Era uma propaganda potente, pois na década de 1880, muitos ainda estavam aterrorizados com a eletricidade. Ela podia dar choque, até

matar em um instante e a razão para isso ainda não era compreendida. Para muitos, a ideia de canalizar essa assassina invisível para suas casas era totalmente ridícula.

Assim, a arma usada na Guerra das Correntes foi o medo. E um engenheiro eletricitista pouco conhecido, Harold P. Brown, estava prestes a levar a luta contra a CA a um novo patamar. Isso se tornaria uma das campanhas publicitárias mais radicais e negativas da História. Brown tinha criado uma forma singular e teatral de demonstrar o poder mortal da CA. E ele estava ansioso para exibi-la ao mundo.

Em uma noite quente de verão, em julho de 1888, ele reuniu 75 dos melhores engenheiros eletricitistas e repórteres do país para testemunhar um espetáculo que nunca iriam esquecer. O plano de Brown era extremamente macabro. Ele pagou um grupo de garotos de rua para pegar cães vadios soltos por Manhattan. No palco, ele se dirigiu à plateia. "Convidei os senhores, "para testemunhar o uso experimental da eletricidade "em animais irracionais."

Sua demonstração envolvia eletrocutar cães... com energia de CC e CA, na tentativa de mostrar que a alternada os matava mais rapidamente. E não foram apenas cães. Brown seguiu fazendo espetáculos públicos, matando um bezerro e até mesmo um cavalo. Ele passou dos cães para animais maiores por um motivo. Ele queria mostrar que a energia da CA era tão perigosa que podia matar mamíferos de grande porte, incluindo seres humanos.

As experiências de Brown com animais convenceram os políticos americanos de que o método mais humano de executar criminosos condenados seria com a corrente alternada, gerada pelas máquinas de Westinghouse. Os advogados Edison chegaram a sugerir um novo termo para ser eletrocutado dessa forma... ...ser "Westinghousado."

E, precisamente às 6h32, na manhã do dia 06 de agosto de 1890, William Kemmler, de 45 anos, foi amarrado a uma cadeira de madeira e dois eletrodos ensopados foram cuidadosamente colocados nele. E enquanto 26 funcionários e médicos olhavam de uma sala adjacente, Kemmler se despediu do capelão da prisão e esperou.

A execução de William Kemmler marcou o pior momento da Guerra das Correntes, mas não marcaria o seu fim, porque Nikola Tesla estava prestes a fazer algo que nunca tinha sido visto. Algo tão maravilhoso e ousado que viveria para sempre na memória de quem o viu.

Tesla vinha desenvolvendo um método de geração de correntes alternadas de alta frequência e, em 21 de maio de 1891, em um encontro de engenheiros eletricitistas, ele o demonstrou. Em uma exibição quase mágica de incrível poder e surpresa, sem usar cota de malha ou máscara de segurança, dezenas de milhares de volts, produzidos por uma bobina de Tesla, atravessaram o corpo dele até a extremidade da lâmpada que ele segurava.

A corrente alternada de Tesla foi de uma frequência tão alta, que atravessou seu corpo sem causar danos graves ou até mesmo dor. Sua demonstração mostrou que, se manejada corretamente, a corrente alternada em tensões extremamente altas podia ser segura. A Guerra das Correntes havia sido vencida por Westinghouse e Tesla.

Em 1896, a nova usina elétrica foi concluída nas Cataratas do Niágara, usando geradores de CA Westinghouse para produzir a corrente polifásica de Tesla. Finalmente, grande quantidade de energia poderia ser transmitida das Cataratas, até próximo a Buffalo, e alguns anos depois, a usina de Niágara estava fornecendo energia à cidade de Nova York.

E hoje, quase toda eletricidade gerada no mundo é feita através do sistema de Tesla. Mas a história de Tesla não termina com fama e fortuna. Embora tenha continuado a fazer significativas contribuições a muitas outras áreas da ciência e invenção, para salvar George Westinghouse da falência, após crise no mercado acionário, ele desistiu do direito aos royalties de suas invenções polifásicas.

Nikola Tesla foi um homem talentoso a quem devemos muito. Mas ele também era muito complicado, e, infelizmente, com a idade, ele ficou ainda mais perturbado. Ele tinha fixação pelo número 3. Contava "3" em voz alta enquanto caminhava, e desenvolveu fobias estranhas com germes e com mulheres que usavam pérolas.

Em muitos aspectos, a sua mente genial ficou fora de controle. À medida que a vida de Tesla passava, ele se afastava das pessoas e encontrava consolo em outras coisas. Ele ficou obcecado por pombos e era visto regularmente alimentando-os, em Bryant Park, no centro de Manhattan.

Ele se afeiçoou de tal maneira a um pombo branco que, quando morreu, ele ficou desolado. Velho, Tesla estava quase falido e sozinho, vivendo semi-recluso

neste hotel. Seus últimos anos foram passados no quarto 3327, do New York Hotel, triste, confuso, na miséria.

Edison acabou se tornando um herói americano e sua empresa faria parte da General Electric, ainda hoje uma das maiores empresas multinacionais do mundo.

Em janeiro de 1943, a história de Nikola Tesla chegaria ao fim. Mas ao olhar para o horizonte de Manhattan pela última vez, ele viu um céu iluminado com luzes cintilantes, e 1 milhão de vidas transformadas por sua genialidade. A capacidade de gerar e transmitir a eletricidade, e a invenção de máquinas para usá-la, mudaram o nosso mundo de maneiras que não imaginávamos.

Hoje, podemos gerar bilhões de watts de eletricidade a cada segundo, a cada hora, todos os dias. E quer façamos isso utilizando carvão, gás, ou fissão nuclear, todas as usinas elétricas se baseiam nos princípios descobertos e desenvolvidos por Michael Faraday, Nikola Tesla, e todos os demais engenheiros eletricitas pioneiros de uma maravilhosa era da invenção.

Hoje, temos a eletricidade como trivial, e esquecemos o quanto ela foi uma força mágica e misteriosa. Mas há algo que nunca devemos esquecer. Hoje, sem ela, o mundo moderno entraria em colapso e nossa vida seria muito diferente.

### TEXTO 3: A História da Eletricidade - Revelações e Revoluções

Em 14 de agosto de 1894, uma multidão animada se reunia em frente ao Museu de História Natural de Oxford. Este enorme edifício gótico sediava o encontro anual da Associação Britânica para o Avanço da Ciência. Mais de 2 mil ingressos foram vendidos antecipadamente e o museu já estava lotado, à espera da próxima palestra a ser ministrada pelo prof. Oliver Lodge. Seu nome pode não ser familiar hoje, mas suas descobertas deveriam tê-lo feito tão famoso como os demais grandes pioneiros elétricos da História. Gente como Benjamin Franklin, Alessandro Volta, ou mesmo o grande Michael Faraday.

Involuntariamente, ele iniciaria uma série de eventos que iriam revolucionar o mundo vitoriano do bronze e fio telegráfico. Esta palestra marcaria o início do mundo moderno elétrico, um mundo dominado pelo silício e comunicação em massa sem fio.

Neste episódio, descobriremos como a eletricidade conecta o mundo por meio da radiodifusão e redes de computadores, e como finalmente aprendemos a desvendar e explorar a eletricidade em nível atômico. Após séculos das experiências humanas com a eletricidade, uma nova era de conhecimento estava iniciando.

Estas lâmpadas não estão ligadas a nenhuma fonte de energia, mas mesmo assim acendem. É o efeito invisível da eletricidade, um efeito que não se limita aos fios através dos quais ela corre. Em meados do século XIX, uma grande teoria foi proposta para explicar como isso se dá. A teoria diz que em torno de qualquer carga elétrica, e há muita eletricidade correndo acima da minha cabeça, há um campo de força.

Estas lâmpadas fluorescentes estão acesas porque estão sob a influência do campo de forçados cabos de alta tensão ali em cima. A teoria de que um fluxo de eletricidade poderia, de alguma forma, criar um campo de força invisível, foi originalmente proposta por Michael Faraday, mas seria necessário um jovem escocês genial chamado James Clark Maxwell, para provar que Faraday estava certo, e não através da experimentação, mas da matemática.

Era totalmente diferente do jeito típico do século XIX de entender como o mundo funciona, que era essencialmente vê-lo como um mecanismo físico. Antes de Maxwell, os cientistas construía máquinas estranhas ou concebiam experiências

maravilhosas para criar e medir a eletricidade. Mas Maxwell era diferente. Ele estava interessado nos números, e sua nova teoria não só revelou o campo de força invisível da eletricidade, mas como ele poderia ser manipulado, o que mostraria ser uma das mais importantes descobertas científicas de todos os tempos.

Maxwell foi um matemático e um dos melhores. Ele via eletricidade e magnetismo de uma nova forma. Ele expressou tudo isso em equações matemáticas concisas. E o mais importante é que nas equações de Maxwell há o entendimento da eletricidade e do magnetismo como algo interligado e que podia ocorrer em ondas.

Os cálculos de Maxwell mostraram como esses campos poderiam ser perturbados assim como tocar a superfície da água com o dedo. Mudar a direção da corrente elétrica criaria uma ondulação ou onda através destes campos elétrico e magnético. E mudar constantemente a direção do fluxo da corrente, para a frente e para trás, como uma corrente alternada, produziria uma série de ondas, ondas que transportavam energia. A matemática de Maxwell lhe dizia que alterar as correntes elétricas emitiria grandes ondas de energia às suas vizinhanças. Ondas que se propagariam ao infinito a menos que algo as absorvesse.

A matemática de Maxwell era tão avançada e complicada que apenas poucos a compreenderam na época, e embora seu trabalho ainda fosse apenas uma teoria, inspirou um jovem físico alemão chamado Heinrich Hertz. Hertz decidiu dedicar-se a projetar uma experiência para provar que as ondas de Maxwell realmente existiam. E eis ela aqui.

Este é o aparelho original de Hertz e sua beleza está em sua grande simplicidade. O calor gera uma corrente alternada que corre por estas hastes de metal, com uma faísca que salta pelo espaço entre estas duas esferas. Se Maxwell estivesse certo, esta corrente alternada deveria gerar uma onda eletromagnética invisível que se espalharia no ambiente. Se colocarmos um fio no caminho dessa onda, então nele, deve haver um campo eletromagnético oscilante, que deve induzir uma corrente elétrica no fio.

Assim, Hertz montou este anel de fio, o seu receptor, que colocaria em posições diferentes pela sala para verificar se poderia detectar a presença da onda. E ele fez isso deixando um espaço bem pequeno no fio, através do qual uma faísca saltaria se uma corrente percorresse o anel. Devido à corrente ser muito fraca, essa faísca é muito tênue. Hertz passou praticamente a maior parte de 1887 numa sala

escura olhando fixamente por uma lente para ver se podia detectar a presença dessa faísca tênue.

Mas Hertz não era o único na tentativa de criar as ondas de Maxwell. Na Inglaterra, um jovem professor de física, chamado Oliver Lodge era fascinado pelo tema há anos, mas não tivera tempo para projetar experiências para tentar descobri-las. Então, um dia, no início de 1888, ao montar uma experiência sobre proteção contra raios, ele notou algo incomum.

Lodge notou que quando ele montava seu equipamento e enviava uma corrente alternada em torno dos fios, ele podia ver manchas brilhantes entre os fios, e com um pouco de artimanha, ele viu que as seções brilhantes formavam um padrão. O brilho azul e faíscas elétricas ocorriam em seções distintas uniformemente espaçadas ao longo dos fios. Ele percebeu que eram os picos e depressões de uma onda, uma onda eletromagnética invisível. Lodge provara que Maxwell estava certo. Finalmente, por acidente, Lodge criara as ondas eletromagnéticas de Maxwell ao redor dos fios. A grande questão fora respondida.

Cheio de emoção por sua descoberta, Lodge preparou-se para anunciá-la ao mundo, no encontro científico anual de verão organizado pela Associação Britânica. Antes disso, porém, ele decidiu sair de férias. O momento não podia ter sido pior, porque na Alemanha ao mesmo tempo, Heinrich Hertz também testava as teorias de Maxwell.

Hertz acabou encontrando o que procurava... uma faísca minúscula. Enquanto carregava seu receptor por diferentes posições na sala, ele foi capaz de mapear a forma das ondas produzidas pelo seu aparelho. Ele checkou cada um dos cálculos de Maxwell com cuidado e os testou experimentalmente. Foi uma façanha da ciência experimental.

Na Grã-Bretanha, enquanto a multidão se reunia para o encontro da Associação Britânica, Oliver Lodge voltava de férias relaxado e cheio de expectativa. Este, Lodge pensou, seria o seu momento de triunfo, quando poderia anunciar a sua descoberta das ondas de Maxwell.

Seu grande amigo, o matemático Fitzgerald, fez o discurso de abertura do encontro. Mas nele, ele anunciou que Heinrich Hertz acabara de publicar resultados surpreendentes. Ele tinha detectado as ondas de Maxwell viajando pelo espaço.

"Arrebatamos o raio do próprio Júpiter e escravizamos todos os éteres predominantes", ele anunciou.

Posso imaginar como Lodge deve ter se sentido tendo a sua ideia roubada. O professor Oliver Lodge perdera seu momento de triunfo, derrotado por Heinrich Hertz. A demonstração espetacular de Hertz das ondas eletromagnéticas, as chamadas ondas de rádio, embora ele não soubesse à época, que levaria a uma revolução nas comunicações no século seguinte.

A teoria de Maxwell mostrara como cargas elétricas poderiam criar um campo de força em torno delas. E que as ondas se espalhariam por esses campos como ondas num lago. E Hertz construiu um dispositivo que poderia realmente criar e detectar as ondas ao passarem pelo ar. Mas, quase imediatamente, haveria uma outra revelação no conhecimento da eletricidade. Uma revelação que mais uma vez envolveria o Prof. Oliver Lodge. E, mais uma vez, sua ideia seria roubada.

A história começa em Oxford, no verão de 1894. Hertz morrera repentinamente no início daquele ano, e assim Lodge preparou uma palestra em memória com uma demonstração que levaria a ideia das ondas a um público mais amplo. Lodge trabalhara em sua palestra.

Ele pesquisou as melhores formas de detectar as ondas, e pegou emprestado um novo aparelho de uns amigos. Ele fizera alguns avanços significativos na tecnologia projetada para detectar as ondas. Este aparelho gera uma corrente alternada e uma faísca através deste espaço. A corrente alternada envia uma onda eletromagnética, como Maxwell previra, que é captada pelo receptor. Ele dispara uma corrente elétrica muito fraca por estas duas antenas. Isso foi o que Hertz fizera.

A melhoria feita por Lodge foi acrescentar este tubo com limalha de ferro. A fraca corrente elétrica atravessa a limalha, forçando-a a se aglutinar. Quando isso ocorre, um segundo circuito elétrico é fechado e dispara a campainha. Se eu apertar o botão nesta extremidade, ele dispara a campainha no receptor. Isso é feito sem nenhuma ligação entre ambos. Parece mágica.

Se imaginarmos um recinto lotado, muitas pessoas na plateia, que veem de repente... como que por mágica... uma campainha tocando. É incrível. Pode não ter sido a demonstração mais dramática que a plateia já viu, mas certamente causou sensação entre ela. O aparelho de Lodge, disposto desta forma, não parecia mais uma experiência científica. Parecia muito com as máquinas de telégrafo que

revolucionaram a comunicação, mas sem os longos cabos que se estendiam entre as estações emissora e receptora. Para os membros mais esclarecidos da plateia, isto era bem mais do que mostrar que o mestre Maxwell estava certo. Esta era uma forma nova e revolucionária de comunicação.

Lodge publicou suas anotações sobre como as ondas eletromagnéticas poderiam ser enviadas e recebidas usando seus aprimoramentos. Mundo afora, inventores, entusiastas amadores e cientistas liam os relatos de Lodge com avidez e começaram experimentações com as ondas hertzianas. Dois personagens bem diferentes seriam inspirados por elas. Ambos trariam melhorias para o telégrafo sem fio, e ambos seriam lembrados por sua contribuição para a ciência, bem mais do que Oliver Lodge.

O primeiro foi Guglielmo Marconi. Marconi era muito inteligente, astuto e um homem encantador. Ele tinha o encanto ítalo-irlandês. Ele utilizava isso com todo mundo, de mulheres a cientistas de renome mundial. Marconi não era cientista, mas leu tudo o que podia sobre o trabalho de outras pessoas, a fim de criar seu próprio sistema de telégrafo sem fio. É possível que, por ter sido criado em Bolonha, perto da costa italiana, tenha percebido logo o potencial da comunicação sem fio em relação ao uso marítimo. Então, com apenas 22 anos, foi para Londres com sua mãe irlandesa para comercializá-lo.

A outra pessoa inspirada pela palestra de Lodge era professor do Presidency College em Calcutá, chamado Jagadish Chandra Bose. Apesar das graduações em Londres e Cambridge, a indicação de um indiano como cientista em Calcutá foi uma luta contra o preconceito racial. Dizia-se que os indianos não tinham a índole necessária para a ciência exata. Bose estava disposto a provar que isso estava errado, e nestes arquivos, podemos ver o quão rápido ele trabalhou.

Este é a ata do 66º encontro da Associação Britânica em Liverpool, em setembro de 1896. E eis Bose, o primeiro indiano a se apresentar no encontro da associação, falando sobre sua obra e demonstrando o seu aparelho. Ele construiu e aperfeiçoou o detector descrito por Lodge, pois no clima quente e úmido indiano, ele descobriu que a limalha metálica no tubo que Lodge usava para detectar as ondas enferrujava-se e travava. Por isso, Bose teve que criar um detector mais prático usando um fio espiral como alternativa. Seu trabalho foi descrito como uma sensação.

O detector era extremamente confiável e podia funcionar a bordo de navios, por isso tinha grande potencial para a frota naval britânica.

A Grã-Bretanha era o centro de uma grande rede de telecomunicações que se estendia praticamente por todo o mundo, usada para apoiar uma rede igualmente grande de navios mercantes e de guerra, utilizada para sustentar o império britânico. Mas Bose, um legítimo cientista, não estava interessado no potencial comercial dos sinais sem fio ao contrário de Marconi. Este era um novo ramo de ponta, mas Marconi não era um cientista formado, ele abordava as coisas de forma diferente, talvez por isso ele tenha progredido tão rápido. E ele era muito bom em desenvolver laços com as pessoas necessárias para conseguir fazer seu trabalho. Marconi usou seus contatos para ir direto ao único lugar que tinha os recursos para ajudá-lo.

Os Correios britânicos eram uma instituição muito poderosa. Quando Marconi chegou a Londres em 1896, estes edifícios eram recém-construídos e já se prestavam aos negócios dos serviços postais e telegráficos do império. Marconi trouxe consigo seu sistema de telégrafo da Itália, alegando que podia enviar sinais sem fio por distâncias inéditas. E o engenheiro-chefe dos Correios, William Preece, viu imediatamente o potencial da tecnologia. Preece ofereceu a Marconi os grandes recursos financeiros e de engenharia dos Correios, e eles começaram a trabalhar lá em cima, no telhado. A antiga sede dos Correios ficava bem ali. E entre este e aquele telhado, Marconi e os engenheiros dos Correios testavam o envio e recepção de ondas eletromagnéticas. Os engenheiros o ajudaram a melhorar o seu aparelho, depois, Preece e Marconi demonstraram-no para pessoas influentes no governo e na Marinha.

Preece não percebeu que enquanto anunciava com orgulho a parceria exitosa de Marconi com os Correios, Marconi fazia planos nos bastidores. Ele solicitara a patente britânica sobre todo o ramo da telegrafia sem fio e planejava criar sua própria empresa. Quando a patente foi concedida, o mundo desabou na comunidade científica. A patente, por si só, já era revolucionária. As patentes só podiam se dar sobre coisas que não fossem de domínio público, mas Marconi, sagazmente, escondera o seu equipamento em uma caixa secreta. E aqui está ele. Quando sua patente foi finalmente concedida, Marconi, cerimoniosamente, abriu a caixa. Todos estavam ansiosos para ver que invenções ela continha. Baterias formando um circuito, limalha de ferro no tubo para completar o circuito e tocar a

campainha na parte superior. Nada que não tenha sido visto, mas mesmo assim Marconi o havia patenteado. A razão de Marconi ser famoso não é por causa dessa invenção. Ele não inventou o rádio, mas o melhorou e o transformou num sistema. Lodge não fez isso. E é por isso que nos lembramos de Marconi, e não nos lembramos de Lodge.

O mundo científico estava em pé de guerra. Ali estava aquele jovem que sabia pouco sobre a ciência por trás do seu equipamento prestes a fazer sua fortuna, com o trabalho de outrem. Mesmo o seu grande incentivador Preece, ficou decepcionado e magoado quando soube que Marconi estava prestes a seguir sozinho e montar sua própria empresa. Lodge e vários cientistas iniciaram uma onda de patenteamento de cada minúsculo detalhe e melhorias que faziam em seus equipamentos. Esse novo ambiente chocou Bose ao retornar à Grã-Bretanha. Bose escreveu para a Índia, desgostoso com o que encontrara na Inglaterra. "Dinheiro, dinheiro, dinheiro o tempo todo, "que cobiça devastadora!" Eu gostaria que pudessem ver "a loucura por dinheiro do povo daqui".

Sua desilusão com as mudanças que viu no país que ele reverenciava pela integridade científica e excelência era evidente. Mas foram seus amigos que o convenceram a registrar sua primeira e única patente, sobre sua descoberta de um novo tipo de detector de ondas. Esta descoberta levaria a uma revolução ainda maior no mundo. Ele descobrira o poder dos cristais. Isto substituiu técnicas antigas, como as sujas e problemáticas limalhas de ferro. Era uma nova forma de detectar ondas de rádio, que estaria no cerne da indústria do rádio. A descoberta de Bose foi simples, mas iria realmente moldar o mundo moderno. Quando alguns cristais são tocados com metal para testar sua condutividade elétrica, podem mostrar comportamento bastante estranho e variado.

Este cristal, por exemplo. Se eu puder tocá-lo no ponto certo com a ponta deste fio de metal, e depois ligá-lo a uma pilha, ele libera uma corrente significativa. Mas se inverter minhas conexões com a pilha e experimentar passar a corrente no sentido oposto... haverá redução. Não é um condutor total de eletricidade, é um semicondutor, e seu primeiro uso foi na detecção de ondas eletromagnéticas. Quando Bose utilizou um cristal como este em seus circuitos em vez do tubo de limalha, ele descobriu que era um detector bem mais eficiente e eficaz de ondas eletromagnéticas. Foi essa estranha propriedade da ligação entre o fio, conhecido como "bigode de

gato", e o cristal, que permitia à corrente passar mais facilmente numa direção do que na outra que implicou seu uso na extração dos sinais de ondas eletromagnéticas.

Na época, ninguém sabia por que certos cristais agiam dessa forma. Mas para cientistas e engenheiros, esse comportamento estranho teve um efeito prático profundo e quase milagroso. Com cristais como detectores, agora era possível transmitir e detectar o som da voz humana ou música. Em sua palestra em Oxford, em 1894, Oliver Lodge abriu a caixa de Pandora. Como acadêmico, ele não conseguiu prever que as descobertas científicas das quais participou tinham tamanho potencial comercial.

A única patente que ele conseguiu assegurar, o meio de ajustar um receptor para um sinal de rádio específico, foi adquirido dele pela poderosa empresa de Marconi. Talvez a maior revolta de Lodge tenha sido em 1909, quando Marconi recebeu o Nobel de Física pela comunicação sem fio. É difícil imaginar maior afronta ao físico que, por tão pouco, perdeu para Hertz a descoberta das ondas de rádio, e que depois mostrou ao mundo como elas poderiam ser enviadas e recebidas. Mas apesar desta afronta, Lodge permaneceu magnânimo, usando a nova tecnologia de transmissão que resultou do seu trabalho para dar crédito a outros, como mostra este raro filme. Hertz fez um grande avanço. Ele descobriu como produzir e detectar ondas no espaço, pondo o éter em uso prático. Aproveitando-o para a transmissão de inteligência de forma a ser aprimorada por muitos outros.

Hoje, mal podemos imaginar o mundo sem a radiodifusão, e imaginar uma época em que as ondas de rádio sequer tinham sido sonhadas. Os engenheiros continuaram a refinar e aperfeiçoar a nossa habilidade de transmitir e receber ondas eletromagnéticas, mas sua descoberta inicial acabou sendo o triunfo de pura ciência, de Maxwell, por meio de Hertz, até Lodge.

Mas mesmo assim a natureza da própria eletricidade permanecia sem explicação. O que criava as cargas elétricas e as correntes, afinal? Embora os cientistas estivessem aprendendo a explorar a eletricidade, eles ainda não sabiam o que ela realmente era. Mas essa pergunta foi sendo respondida com experiências que analisavam como a eletricidade fluía através de materiais diferentes.

Na década de 1850, um dos grandes experimentadores da Alemanha e talentoso soprador de vidro, Heinrich Geissler, criou estas belas peças. Geissler retirou a maior parte do ar desses tubos de vidro. Depois inseriu pequenas quantias

de outros gases dentro deles. Depois, ele passou uma corrente elétrica por eles. Eles brilharam com cores deslumbrantes, e a corrente que fluía pelo gás parecia tangível. Embora tenham sido projetados apenas para o entretenimento, durante os 50 anos seguintes, os cientistas viram os tubos Giessler como uma chance de estudar como a eletricidade fluía.

Foram feitos esforços para extrair cada vez mais ar dos tubos. Poderia a corrente elétrica atravessar o nada? Atravessar o vácuo? Este é um raro filme do cientista britânico que criou um vácuo bom o bastante para responder a essa pergunta. Seu nome era William Crookes.

Crookes criou tubos como este. Ele retirava o máximo de ar que podia deixando-o mais próximo possível do vácuo. Então, ao passar uma corrente elétrica pelo tubo... ele notou um brilho luminoso na outra extremidade. Um feixe parecia estar incidindo pelo tubo e atingindo o vidro na outra extremidade. Finalmente, parecia que podíamos ver a eletricidade. O feixe ficou conhecido como raio catódico, e este tubo foi o precursor do tubo de raios catódicos usado em aparelhos de televisão por décadas.

O físico JJ Thompson descobriu que esses feixes eram compostos de minúsculas partículas de carga negativa e, por transportarem eletricidade, elas ficaram conhecidas como elétrons. Devido aos elétrons se moverem em apenas uma direção, da placa de metal aquecida para a placa de carga positiva na outra ponta, eles se comportavam da mesma forma que os cristais semicondutores de Bose. Mas enquanto os cristais de Bose eram naturalmente temperamentais, era preciso encontrar o ponto certo para que funcionassem, os tubos podiam ser fabricados de forma consistente.

Eles ficaram conhecidos como válvulas, e logo substituíram os cristais em aparelhos de rádio em todos os lugares. Estas descobertas levariam a uma explosão de novas tecnologias. A eletrônica do início do século XX resumia-se ao que podia ser feito com válvulas. A indústria do rádio foi construída com as válvulas, as primeiras TV's e computadores foram feitos com válvulas. O mundo da eletrônica foi construído com elas.

Após descobrir como manipular os elétrons que fluíam através do vácuo, os cientistas agora estavam ansiosos para entender como eles poderiam fluir através

de outros materiais. Mas isso significava entender o que compunha os materiais... os átomos.

Nos primeiros anos do século XX entenderíamos finalmente a composição e o comportamento dos átomos. E assim, o que a eletricidade era em escala atômica. Na Universidade de Manchester, a equipe de Ernest Rutherford estudava a estrutura interna do átomo e produzia uma imagem para descrever a sua aparência. Essa revelação finalmente ajudaria a explicar uma das características mais intrigantes da eletricidade.

Em 1913, a imagem do átomo era a de um núcleo de carga positiva no meio cercado por elétrons orbitantes de carga negativa, em padrões chamados de camadas. Cada uma dessas camadas correspondia a um elétron com uma determinada energia. Com um impulso de energia, um elétron poderia saltar de uma camada interna para uma externa. E a energia tinha que ser adequada, caso contrário, o elétron não faria a transição. E esse impulso geralmente era temporário, pois o elétron retornava à sua camada original. Ao fazer isso, ele tinha que liberar seu excesso de energia despreendendo um fóton... e a energia de cada fóton dependia do seu comprimento de onda, ou, como a percebemos, a sua cor.

Compreender a estrutura dos átomos agora poderia explicar os grandes espetáculos de luz da natureza. Assim como os tubos de Geissler, o tipo de gás através do qual a eletricidade passa define a sua cor. O raio tem um tom azul por causa do nitrogênio em nossa atmosfera. Mais elevado na atmosfera, os gases são diferentes assim como a cor dos fótons que eles produzem, criando auroras espetaculares. Entender os átomos, como eles se encaixam nos materiais e como seus elétrons se comportam, era a chave final para entender a natureza fundamental da eletricidade.

Esta é uma máquina Wimshurst, usada para gerar carga elétrica. Os elétrons são friccionados nestes discos e iniciam um fluxo de eletricidade através dos braços de metal da máquina. Os metais conduzem a eletricidade porque os elétrons têm ligações fracas dentro dos seus átomos por isso podem se disseminar e serem usados para fluir como eletricidade.

Os isolantes, por outro lado, não conduzem eletricidade pois os elétrons estão fortemente ligados dentro dos átomos e não têm liberdade para se mover. O fluxo de elétrons e, portanto, da eletricidade, através dos materiais, era agora

compreendido. Condutores e isolantes podiam ser explicados. O mais difícil de entender eram as estranhas propriedades dos semicondutores.

Nosso mundo eletrônico atual baseia-se nos semicondutores. Estagnaríamos sem eles. Jagadish Chandra Bose chegou perto de entendê-los em 1890, mas ninguém poderia prever o quão importantes se tornariam. Mas com a eclosão da II Guerra Mundial, as coisas estavam prestes a mudar. Aqui, em Oxford, este laboratório de física recém-construído foi imediatamente entregue ao esforço de pesquisa de guerra. Os pesquisadores daqui foram incumbidos de melhorar o sistema de radar britânico.

O radar era uma tecnologia que usava ondas eletromagnéticas para detectar bombardeiros inimigos, e conforme melhorava sua precisão, ficou claro que as válvulas não estavam à altura da tarefa. Assim, a equipe teve que recorrer à antiga tecnologia em vez de válvulas, ela usou cristais semicondutores. Não utilizou o mesmo tipo de cristais que Bose desenvolveu, em vez disso, ela usou silício.

Este dispositivo é um receptor de cristal de silício. Há uma pequena espiral de tungstênio que toca a superfície de um pequeno cristal de silício. É incrível o quanto este dispositivo foi importante. Era a primeira vez que o silício era explorado como semicondutor, mas para que ele funcionasse, era preciso ser muito puro e os dois lados envolvidos na guerra investiram muitos recursos para purificá-lo.

Os britânicos tinham os melhores dispositivos de silício. Eles deviam ter algumas bobinas de silício já naquela época, enquanto nós estávamos apenas começando em Berlim. Os britânicos tinham melhores semicondutores de silício porque tinha a ajuda de laboratórios dos EUA, em particular, a famosa Bell Labs. E não demorou para que os físicos percebessem que se semicondutores podiam substituir as válvulas do radar, talvez pudessem substituir as válvulas em outros dispositivos, como amplificadores.

O tubo de vácuo simples, com sua corrente unilateral de elétrons, foi modificado para produzir um novo dispositivo. Ao colocar uma grade de metal no caminho dos elétrons e aplicar uma pequena tensão, uma mudança dramática na intensidade do feixe era produzida. Estas válvulas funcionavam como amplificadores, transformando um sinal elétrico muito fraco em um mais forte.

Um amplificador é algo muito simples. Se pega uma pequena corrente e a transforma numa grande. Mas, em outro aspecto, isso muda o mundo, pois quando se pode amplificar um sinal, pode-se enviá-lo a qualquer lugar do mundo.

Logo que a guerra acabou, o especialista alemão Herbert Matare e seu colega, Heinrich Welker, começaram a construir um dispositivo semiconductor que poderia ser usado como amplificador elétrico. E aqui está! O primeiro modelo funcional que Matare e Welker fizeram. Se observarmos, podemos ver o minúsculo cristal e os fios que fazem contato com ele. Se passarmos uma pequena corrente através de um dos fios, isso permite que uma corrente bem maior saia pelo outro, ele agia como um amplificador de sinal.

Estes dispositivos minúsculos poderiam substituir válvulas grandes e caras em redes de telefonia de longa distância, rádios e outros aparelhos onde um sinal ínfimo requeria reforço. Matare imediatamente percebeu o que havia criado, mas seus chefes inicialmente não se interessaram. Não, até que um estudo foi publicado em um periódico anunciando uma descoberta da Bell Labs. Uma equipe de pesquisa dela havia se deparado com a mesma propriedade e agora anunciava o seu invento para o mundo. Eles o chamaram de transistor.

Eles o produziram em dezembro de 1947, e nós, no início de 1948. Mas assim é a vida. Chegaram mais cedo à propriedade. Mas, curiosamente, seus transistores não eram tão bons. Embora o dispositivo europeu fosse mais confiável do que o modelo mais "experimental" da Bell Labs, nenhum cumpria bem a sua promessa. Eles funcionavam, mas eram delicados demais. Assim, iniciava-se a busca por um modo mais robusto de amplificar sinais elétricos e o avanço se deu por acaso.

Na Bell Labs, o especialista em cristal de silício, Russell Ohl, notou que uma das barras de silício tinha uma propriedade estranha. Parecia ser capaz de gerar sua própria tensão e quando ele tentou medir isso ligando-o a um osciloscópio, notou que a tensão oscilava o tempo todo. A quantidade de tensão que gerava parecia depender da quantidade de luz que havia na sala. Assim, ao produzir uma sombra sobre o cristal, ele viu a tensão cair. Mais luz e a tensão subia. Além disso, quando ele ligou um ventilador entre a lâmpada e o cristal a tensão começou a oscilar com a mesma frequência que as pás do ventilador ao produzir sombras sobre o cristal.

Um dos colegas de Ohl logo percebeu que a barra tinha uma fenda, que formava uma ligação natural, e esta minúscula ligação natural em um bloco

aparentemente sólido agia como a ligação bem mais delicada entre a ponta de um fio e um cristal que Bose descobrira. Exceto que neste, ela era sensível à luz. A barra havia rachado, porque ambos os lados continham valores ligeiramente diferentes de impurezas. Um lado tinha um pouco mais do elemento fósforo enquanto o outro tinha um pouco mais de uma impureza diferente. O boro. E os elétrons eram capazes de se mover do lado do fósforo para o do boro, mas não vice-versa. Os fótons da luz brilhando sobre o cristal estavam expulsando elétrons dos átomos, mas eram os átomos das impurezas que estavam controlando esse fluxo. O fósforo tem um elétron para ceder... e o boro está disposto a receber outro, assim os elétrons tendem a fluir do lado do fósforo para o do boro. E só fluíam unilateralmente através da fenda.

O chefe da equipe de semicondutores, William Shockley, viu o potencial dessa ligação de mão única dentro de um cristal, mas como seria possível criar um cristal com duas junções, que pudesse ser usado como amplificador?

Outro pesquisador da Bell Labs, chamado Gordon Teal, vinha trabalhando numa técnica que possibilitaria isso. Ele descobrira um modo especial de produzir monocristais do semicondutor germânio. Neste instituto de pesquisa, eles produzem cristais semicondutores da mesma forma que Teal fazia na Bell Labs só que aqui, são produzidos bem maiores.

Na parte inferior deste tanque há um recipiente com germânio derretido tão puro quanto possível. Dentro dele, há alguns átomos com a impureza necessária para alterar suas propriedades condutoras. O braço giratório tem um cristal semente na parte inferior que foi mergulhado no líquido e será lentamente erguido. À medida que o germânio esfria e endurece, ele forma um cristal longo como um pingente de gelo, abaixo da semente. Toda a extensão é um único e belo cristal de germânio.

Teal percebeu que, conforme o cristal se desenvolve, outras impurezas podem ser adicionadas e misturadas. Isso cria um monocristal com finas camadas de diferentes impurezas criando junções dentro do cristal. Este cristal com duas junções era o sonho de Shockley. Aplicar uma pequena corrente através da finíssima seção média permite que uma corrente muito maior flua por toda a estrutura.

De um monocristal como este, centenas de minúsculos blocos pode ser cortados, cada um contendo as duas junções possibilitando que o movimento dos elétrons através delas seja controlado com precisão. Estes dispositivos minúsculos e confiáveis seriam usados em todo o tipo de equipamento elétrico. Não se podem ter

os equipamentos eletrônicos atuais sem estes microcomponentes. E é engraçado, na verdade, pois quanto menores mais confiáveis eles ficam. Todos saem ganhando. A equipe da Bell Labs ganhou o Nobel por sua invenção que mudou o mundo, enquanto o equipe europeia foi esquecida.

William Shockley deixou a Bell Labs, e em 1955 fundou seu próprio laboratório de semicondutores na zona rural da Califórnia, recrutando os melhores formandos em física do país. Mas o clima de festa não durou muito, porque era quase impossível se trabalhar com Shockley. As pessoas deixavam sua empresa porque não gostavam da forma como ele as tratava. O fato de Shockley ser tão insuportável originou o Vale do Silício. Ele dá início a todo esse processo de divisão e surgimento de novas empresas.

Tudo começou com Shockley sendo um ser humano tão revoltante. As novas empresas concorriam entre si para criar os mais modernos dispositivos semicondutores. Elas fizeram transistores tão pequenos que um grande número deles podia ser incorporado em um circuito elétrico impresso numa única placa de cristal semicondutor. Estes chips minúsculos e confiáveis podiam ser usados em todo tipo de equipamento elétrico, sobretudo em computadores. Iniciava-se uma nova era.

Hoje, os microchips estão em toda parte. Eles transformaram quase todos os aspectos da vida moderna, da comunicação, transporte e entretenimento. Mas, talvez, igualmente importante, nossos computadores se tornaram tão poderosos que estão nos ajudando a compreender o universo em toda a sua complexidade. Um único microchip como este pode conter em torno de quatro milhões de transistores.

É incrível o quanto a tecnologia avançou em 60 anos. É fácil pensar que com os grandes avanços que fizemos no conhecimento e exploração da eletricidade, haja pouca coisa para se aprender sobre ela. Mas estaríamos enganados. Por exemplo, criar circuitos cada vez menores implica que uma característica da eletricidade, que já era conhecida há mais de um século, tornou-se cada vez mais problemática: a resistência.

Um chip de computador deve ser continuamente resfriado. Se retirarmos o cooler, eis o que acontece. Que aumento! De 100, 120, 130 graus... 200 graus, e ele para. Isso só levou alguns segundos e o chip fritou. Conforme os elétrons circulam pelo chip, eles não se deslocam livremente. Eles estão colidindo nos átomos de silício, e a energia perdida por tais elétrons está produzindo calor. Por vezes, isso foi útil.

Inventores criaram aquecedores elétricos e fornos, e quando algo apresentava brilho incandescente, obtinha-se uma lâmpada. Mas a resistência em aparelhos eletrônicos, e em linhas de transmissão, gera o maior desperdício de energia e é um grande problema.

Acredita-se que a resistência desperdiça até 20% de toda a eletricidade que geramos. É um dos maiores problemas dos tempos modernos. E continua a busca por um meio de solucionar o problema da resistência. O que entendemos como temperatura é na verdade uma medida da quantidade de átomos que vibram em um material. E se os átomos estão vibrando, então os elétrons que estão correndo têm maior chance de chocar-se com eles.

Em geral, quanto mais quente o material, maior será a sua resistência elétrica, e quanto mais frio ele é, menor a resistência. Mas o que acontece se resfriarmos algo perto do zero absoluto, a  $-273$  graus Celsius? No zero absoluto, não há calor algum, portanto, os átomos não se movem. O que acontece com o fluxo de eletricidade? O fluxo de elétrons?

Usando um dispositivo especial chamado criostato, que pode manter tudo próximo ao zero absoluto, podemos descobrir. Dentro deste criostato, nesta bobina, está o mercúrio, o famoso metal líquido. Ele faz parte de um circuito elétrico. Este equipamento aqui mede a resistência no mercúrio, mas veja o que ocorre quando eu desço o mercúrio até a parte mais fria do criostato. Aí está. A resistência caiu até o zero. O mercúrio, como muitas substâncias hoje conhecidas, tem esta propriedade de se tornar um supercondutor, significa que não apresenta nenhuma resistência ao fluxo de eletricidade. Mas esses materiais só funcionam quando estão supercongelados.

Se pudéssemos usar um material supercondutor em nossas linhas de transmissão e aparelhos eletrônicos, evitaríamos a perda de tanta energia elétrica valiosa através da resistência. O problema era que os supercondutores tinham de ser mantidos a temperaturas muito baixas. Então, em 1986, foi feito um grande avanço. Em um pequeno laboratório perto de Zurique, na Suíça, físicos da IBM descobriram supercondutividade em uma nova classe de materiais, que está sendo classificado de um dos mais importantes avanços científicos em décadas.

Este é um bloco do mesmo material fabricado pelos pesquisadores na Suíça. Ele não parece muito extraordinário, mas se o esfriarmos com nitrogênio

líquido, algo especial acontece. Ele se torna um supercondutor, e como a eletricidade e o magnetismo estão tão intimamente ligados, isso lhe dá propriedades magnéticas igualmente extraordinárias.

Este ímã está suspenso, levitando sobre o supercondutor. O emocionante é que, embora frio, este material está muito acima do zero absoluto. Estes campos magnéticos são tão fortes que podem suportar não apenas o peso deste ímã, mas devem também suportar o meu peso. Estou prestes a levitar. É uma sensação muito estranha.

Quando este material foi descoberto em 1986, ele criou uma revolução. Não apenas ninguém o considerara como um supercondutor, mas ele fazia isso a uma temperatura muito maior do que se achava possível. Estamos bem perto de conseguir supercondutores à temperatura ambiente. Ainda não chegamos lá, mas um dia, um novo material será descoberto, e quando o pusermos em nossos equipamentos, poderemos construir um mundo mais barato, melhor e mais sustentável.

Hoje, os materiais produzidos que exibem esse fenômeno o fazem na temperatura que encontramos em nosso freezer. Mas estes novos supercondutores não podem ser completamente explicados pelos teóricos. Assim, sem conhecimento completo, os experimentalistas muitas vezes são guiados tanto pela sorte como pelo conhecimento científico adequado.

Recentemente, um laboratório no Japão fez uma festa na qual acabaram combinando seus supercondutores com uma série de bebidas alcoólicas. Inesperadamente, descobriram que o vinho tinto melhora o desempenho dos supercondutores. A pesquisa elétrica hoje tem o potencial, mais uma vez, de revolucionar nosso mundo, se os supercondutores à temperatura ambiente puderem ser descobertos.

Nossa dependência do poder da eletricidade só está aumentando. E quando entendermos completamente como explorar os supercondutores, um novo mundo elétrico estará sobre nós. Ele nos levará a um dos períodos mais prolíficos de descoberta e invenção humanas, um novo conjunto de ferramentas, técnicas e tecnologias para, mais uma vez, transformar o mundo.

A eletricidade mudou nosso mundo. Há apenas algumas centenas de anos, ela era vista como uma maravilha misteriosa e mágica. Em seguida, ela saiu dos laboratórios, com uma série de experiências estranhas e maravilhosas, acabando

por ser dominada e utilizada. Ela revolucionou as comunicações, primeiro através de cabos, e depois, como ondas, através dos campos de longo alcance da eletricidade. Ela abastece e ilumina o mundo moderno. Hoje, mal conseguimos imaginar a vida sem eletricidade. Ela define a nossa era, e estaríamos completamente perdidos sem ela. Mesmo assim, ela ainda nos oferece mais.

Mais uma vez, estamos diante do início de uma nova era de descoberta, de uma nova revolução. Mas, sobretudo, há uma coisa que todos que lidam com a ciência da eletricidade sabem... a sua história ainda não acabou.