



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB  
CAMPUS VII  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS – CCEA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

**RHUAN HANDERSON LUCENA OLIVEIRA**

**ELETRICIDADE E TECNOLOGIA: UM AVANÇO CHAMADO FUSESAVER**

Patos – PB  
2022

RHUAN HANDERSON LUCENA OLIVEIRA

**ELETRICIDADE E TECNOLOGIA: UM AVANÇO CHAMADO FUSESAVER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura Plena em Física, da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VII, Patos-PB, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

**Área de concentração:** Física Geral

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Cesar Fonseca da Silva

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48e Oliveira, Rhuan Handerson Lucena.  
Eletricidade e tecnologia [manuscrito] : um avanço chamado fusesaver / Rhuan Handerson Lucena Oliveira. - 2022.  
50 p. : il. colorido.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas , 2022.  
"Orientação : Prof. Dr. Rodrigo César Fonseca da Silva , Coordenação do Curso de Física - CCEA."

1. Eletricidade. 2. Fusesaver siemens. 3. Sistema elétrico de potência. 4. Redes de distribuição. I. Título

21. ed. CDD 537

RHUAN HANDERSON LUCENA OLIVEIRA

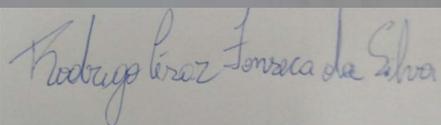
ELETRICIDADE E TECNOLOGIA – UM AVANÇO CHAMADO FUSESAVER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VII, Patos - PB, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Área de concentração: Física Geral

Aprovada em: 21/10/2022

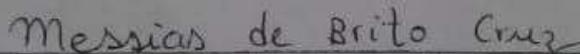
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Rodrigo Cesar Fonseca da Silva (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior (Examinador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Messias de Brito Cruz (Examinador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, minha esposa Aline pelo apoio imensurável, compreensão e incentivo ao longo do curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, de onde obtive saúde, força de vontade e perseverança para cursar essa graduação.

Ao meu orientador e coordenador do curso Prof. Dr. Rodrigo César Fonseca da Silva, pelo apoio, conselhos significativos e incentivos à minha pesquisa.

A todos os meus colegas de sala, pelos ensinamentos compartilhados, momentos vividos e concretização das amizades.

A todos os funcionários da UEPB, pela presteza quando necessário.

À minha prima Ozana pelo auxílio constante e pelas palavras amigas.

Em especial, ao amor da minha vida, minha esposa Aline Carla pelo incondicional apoio, companheirismo, respaldo nos momentos difíceis conciliando estudo e casamento, e conselhos perseverantes e motivadores ao longo de todo o curso.

À minha filha de dois anos e seis meses, Ana Clara, por ser o maior fruto de felicidade que tenho e por ser motivação para eu poder perseverar na vida.

Aos meus pais Geraldo e Lindalva pelas palavras de apoio, dedicação e auxílio da melhor forma possível.

À minha protetora e irmã Sylvania pelo apoio constante, incentivo infindável e auxílio incalculável durante todo o curso.

À minha sobrinha e comadre Karine pelo apoio constante, incentivo imenso e auxílio inúmero durante todo o curso.

Ao meu afilhado de nove meses Fabiano Filho por ser motivação e fazer fluir em mim a todo instante o espírito de Pai.

Ao meu cunhado, Nicácio, meu compadre Fabiano e meu sobrinho João Pedro pelo apoio costumeiro e incentivo ilimitado durante todo o curso.

Dedico a toda minha família, a família da minha esposa, a minha cunhada Alana pelo apoio e auxílio significativo e a todos meus amigos, que de alguma maneira, contribuíram e me apoiaram durante todo o curso.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização e conclusão deste trabalho.

*“A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento” (Isaac Newton).*

## **RESUMO**

O presente trabalho é um breve estudo sobre o ramo da eletricidade em conjunto com a tecnologia, que revisita uma evolução marcada por equipamentos tecnológicos na busca de um futuro melhor para a sociedade. Para tanto, no desenrolar desta pesquisa, o foco foi à apresentação e descrição qualitativa de um equipamento utilizado no Sistema Elétrico de Potência: o “Fusesaver Siemens”, resultado do avanço científico em progresso. Também foi descrito, por meio de um estudo bibliográfico, um pouco da história da eletricidade, descrevendo-se também, sob uma abordagem qualitativa, um fragmento do conteúdo eletricidade enfatizando grandezas físicas envolvidas e a atuação do profissional Técnico de Redes e Linhas de Distribuição.

**Palavras-Chave:** Eletricidade. Fusesaver Siemens. Sistema Elétrico de Potência. Técnico de Redes. Linhas de Distribuição.

## ABSTRACT

The present work is a brief study on the field of electricity in conjunction with technology, which brings to light an evolution marked by technological equipment in the search for a better future for society. Therefore, in the development of this research, the focus was the presentation and qualitative description of an equipment used in the Electric Power System: the "Siemens Fusesaver", which is the result of the scientific advance in progress. It was also described, through a bibliographic study, a little of the history of electricity, also describing under a qualitative approach a fragment of the electricity content, emphasizing the physical quantities involved and the performance of the Network and Distribution Line Technician.

**Keywords:** Electricity. Siemens Fusesaver. Power Electric System. Network. Distribution. Line Technician.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	2
<b>3. REFLEXÕES TEÓRICAS</b> .....	3
3.1 BREVE RELATO SOBRE A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE .....	3
3.2 ELETRICIDADE .....	6
<b>3.2.1 Carga Elétrica</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2.2 Corrente Elétrica</b> .....	<b>7</b>
3.3 TENSÃO ELÉTRICA .....	10
3.4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA .....	10
3.5 POTÊNCIA ELÉTRICA .....	11
3.6 CIRCUITO ELÉTRICO .....	12
3.7 ENERGIA ELÉTRICA .....	13
3.8 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA .....	13
<b>3.8.1 Geração</b> .....	<b>14</b>
<b>3.8.2 Transmissão</b> .....	<b>15</b>
<b>3.8.3 Distribuição</b> .....	<b>17</b>
<b>3.8.4 Consumo</b> .....	<b>18</b>
3.9 TÉCNICO DE REDES E LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO .....	19
3.10 EQUIPAMENTOS DO SEP .....	23
<b>3.10.1 Chave Fusível / Elo Fusível de Distribuição</b> .....	<b>23</b>
<b>3.10.2 Transformador de Distribuição</b> .....	<b>26</b>
3.11 FUSESAVER SIEMENS .....	27
<b>3.11.1 Funcionamento da Fusesaver</b> .....	<b>30</b>
<b>3.11.2 Atuação em Faltas Transitórias</b> .....	<b>30</b>
<b>3.11.3 Atuação em Faltas Permanentes</b> .....	<b>32</b>

<b>3.11.4 Pontos Positivos .....</b>	<b>33</b>
<b>3.11.5 Pontos Negativos .....</b>	<b>34</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A ciência é algo que avança a cada dia. A todo o momento, algo novo aparece, um mistério é desvendado, uma teoria é formulada, um fenômeno é descoberto, algo é inventado ou evoluído. Dessa forma, a tecnologia vem se desenvolvendo cada vez mais e o trabalho manual está se reduzindo bastante, graças às máquinas, os computadores, a internet, aos processos de energias renováveis, que estão em pleno desenvolvimento, que não pode ser freado.

Desde a descoberta da lâmpada incandescente por Tomas Edison, passando pela expansão da transmissão de energia elétrica por Nikola Tesla, criou-se um cenário de exploração científica imensurável, permitindo que o ser humano vá adiante, daquilo que se já têm em termos energéticos, tecnológicos, medicinais, genéticos, etc., e sempre procurando a evolução.

A busca de novos equipamentos e ferramentas, que propiciem segurança, eficiência, curto desgaste físico e um bom retorno lucrativo perante o seu investimento, está crescendo a cada dia.

A eletricidade e a tecnologia vêm trabalhando numa via de mão única, para suprir essa demanda. Neste contexto, do avanço da Física e da tecnologia no campo da eletricidade, esta pesquisa trouxe uma descrição qualitativa de conceitos de algumas grandezas físicas em paralelo com um breve relato histórico na temática eletricidade.

Este trabalho mostrará a fase de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e alguns equipamentos, que fazem parte do Sistema Elétrico de Potência (SEP), com ênfase no “Fusesaver Siemens”, um equipamento utilizado em redes de alta tensão em conjunto com a chave fusível de distribuição.

A primeira parte deste trabalho, é voltada para um estudo que mostra a estrutura física, o funcionamento, pontos positivos, negativos e importância destes equipamentos para o SEP e para as empresas de distribuição de energia elétrica que optarem por usá-la em seus sistemas elétricos. A segunda parte está voltada para mostrar um pouco do exercício do profissional que trabalha nessa área do SEP e, em anexo, apresentar entrevista com um profissional atuante no Estado da Paraíba.

## 2. JUSTIFICATIVA

A escolha do tema foi motivada pela possibilidade de realizar um levantamento de dados correspondentes, aos equipamentos utilizados no Sistema Elétrico de Potência (SEP) e traçar um paralelo entre o desenvolvimento da Física e tecnologia, que correspondesse com as propostas da formação profissional do Curso de Licenciatura Plena em Física. Na segunda etapa, foi escolhida uma ferramenta da área de Potência como objeto de estudo, em meio a tantos recursos e equipamentos tecnológicos, existentes nos processos de geração e distribuição de energia.

Com a definição do objeto a ser estudado, foram feitas reuniões e discussões com o professor orientador para a realização da pesquisa. Como a pesquisa é diretamente relacionada à eletricidade, foi feito um breve levantamento histórico da eletricidade para mostrar toda a questão da evolução da mesma, e citar alguns cientistas e engenheiros que fizeram e fazem parte dessa história. A terceira etapa, foi pesquisar e falar a respeito do SEP, como também, de alguns equipamentos necessários para o entendimento acerca do objeto de estudo. A quarta etapa, foi fazer uma descrição qualitativa das grandezas físicas relacionadas à eletricidade. Para a quinta etapa, foi feito levantamento de dados e informações do chamado “Fusesaver Siemens” para com isso conceituar o mesmo, explicar seu funcionamento, identificar suas características, pontos positivos e negativos, os ganhos que apresenta para as empresas que o adquirir e, associá-lo no campo da física, ou seja, mostrar sua importância para a ciência e para a sociedade na totalidade.

### 3. REFLEXÕES TEÓRICAS

#### 3.1 BREVE RELATO SOBRE A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE

Conforme os relatos científicos existentes, o nome eletricidade deriva da palavra grega “Eléktron”, utilizada pelos gregos sobre uma resina fossilizada proveniente de algumas árvores chamada âmbar.

No ano 600 a.C., Thales de Mileto, filósofo grego, descobriu que ao esfregar uma peça de âmbar com um pedaço de lã ou pele, conseguiam conferir ao âmbar a propriedade de atrair pequenos pedaços de palha, portanto, esta constatação originou a ciência da eletricidade. Os gregos sabiam também que algumas "pedras", as magnetitas, que eram encontradas em Magnesia, uma localidade da Ásia Menor, podiam atrair exclusivamente o ferro, e isto mesmo sem serem esfregados. O estudo desta propriedade originou a ciência do magnetismo.

O primeiro estudo sistemático dos ímãs foi feito em 1269 por Pierre de Maricourt, um engenheiro francês. Ele usou uma agulha magnetizada, para traçar o que chamava de "linhas de força" ao redor de uma esfera de magnetita e descobriu que, estas linhas convergem em duas regiões em lados opostos da esfera, como as linhas longitudinais da Terra. Por analogia, ele chamou as regiões onde as linhas de força convergem de polos.

Em 1729, Stephen Gray físico e astrônomo inglês, observou que conseguia transferir a carga elétrica de um bastão de vidro, para uma bola de marfim pendurada por um barbante. Porém, a transferência de carga não ocorria se a bola era pendurada por um fio metálico. Daí concluiu que o metal "levava embora" o fluido (carga). Gray, concluiu que a maioria das substâncias podem ser classificada de condutoras ou isolante. Os condutores, como por exemplo, os metais, permitem o fluxo livre do fluido, enquanto os isolantes, como a madeira, borracha, seda e vidro, não permitem o fluxo do fluido.

Por volta de 1750, Benjamin Franklin cientista e inventor estadunidense, dentre outras atribuições pessoais e profissionais, propôs que um único tipo de

fluido, flui de um corpo para o outro pela fricção, designando de, positivamente carregado, o corpo que acumulou fluido e, negativamente carregado, o corpo que perdeu fluido.

Franklin realizou também, a seguinte experiência: colocou duas pessoas, A e B, sobre um pedestal coberto de graxa para evitar a perda de carga. Após carregar um deles com o bastão de vidro, e o outro com o pano de seda, observou que um terceiro indivíduo, C, aproximando-se de qualquer um deles causava o aparecimento de uma faísca; contudo, se A e B se tocavam, não havia faísca. Franklin concluiu que as cargas armazenadas no bastão de vidro e na seda eram de mesma amplitude, mas, de sinais opostos e, propôs ainda, que a carga nunca é criada ou destruída, mas, simplesmente transferida de um corpo para o outro. Hoje chamamos a esta propriedade de Conservação da Carga.

Contudo, o trabalho definitivo sobre as forças elétricas, é creditado ao físico Francês Charles Auguste Coulomb. Em 1785, Coulomb realizou o seguinte experimento: ele carregou com uma quantidade de carga "Q" uma pequena bola de seiva vegetal ("pith"), recoberta de ouro. Tocando-a com outra bola idêntica, sabia que cada uma delas ficaria com metade da carga ( $\frac{Q}{2}$ ).

Repetindo esse processo, Colom conseguiu obter várias quantidades de carga. Para medir a força entre as bolas, ele valeu-se de uma balança de torção. Manteve uma das bolas fixas, e a outra, num arranjo de halteres com um contrapeso, foi suspensa por um fio de seda ligado a um dinamômetro. Coulomb descobriu que, mantendo as cargas ( $q$  e  $Q$ ) constantes, o módulo da força é proporcional a  $\frac{1}{r^2}$ , enquanto mantendo a distância fixa, a força é proporcional ao produto das cargas. Ou seja:

$$F = kq \frac{Q}{r^2}$$

Onde  $k= 9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ .

O físico italiano Alessandro Volta, da Universidade de Paiva, em 1799, anunciou o invento da "pilha voltaica", que pela primeira vez, permitiu gerar uma corrente contínua, o que foi de importância fundamental para o estudo futuro do eletromagnetismo.

Na sequência, André Marie Ampère, físico, filósofo, cientista e matemático francês, considerado um dos mais importantes cientistas da história, com contribuições no ramo da química e física, principalmente no campo do eletromagnetismo, que são fundamentais para a ciência hoje. Ampère descobriu que, dois fios condutores paralelos, quando atravessados por corrente elétrica, exercem uma força um sobre o outro, onde se tornou pública sua teoria em 1920, hoje essa teoria é descrita como a Lei de Ampère.

Em 1827, Georg Simon Ohm, físico e matemático alemão, conseguiu demonstrar que a diferença de potencial através de um dispositivo, é diretamente proporcional à corrente através dele. É o que conhecemos hoje como a lei de Ohm. Dispositivos que trabalham segundo a lei de Ohm, são classificados como ôhmicos ou como não ôhmicos.

A eletricidade e o magnetismo desenvolveram-se isoladamente, até que, em 1820, Hans Christian Oersted, físico e químico dinamarquês, encontrou uma conexão entre os dois fenômenos. Enquanto preparava uma aula, Oersted observou, que uma corrente elétrica passando por um condutor, conseguia causar a deflexão na agulha da bússola.

O químico e físico Britânico Michael Faraday realizou uma série de estudos experimentais e sobre estes dados, trabalhou com James Clerk Maxwell físico e matemático escocês, que deu a forma matemática do eletromagnetismo, as conhecidas leis de Maxwell.

Em 1897, Joseph John Thomson, em Cambridge, realizou uma série de experimentos, onde resultaram na descoberta do elétron, que foi a primeira partícula subatômica descoberta pelo homem e, marca o início da eletrônica tal qual a conhecemos hoje.

Durante os séculos XVII e XVIII, acreditava-se que tanto a matéria quanto a carga elétrica fossem contínuas. Em 14 de dezembro de 1900, Max Planck, físico alemão, apresentou o seu artigo "Sobre a teoria da lei da distribuição de energia do espectro normal", que trata sobre a radiação térmica, em que sugere pela primeira vez que esta radiação não seria um fluxo contínuo de energia, mas sim, um fluxo de pacotes de energia. Este trabalho é considerado hoje, a origem da física quântica clássica.

Entre 1904 e 1913, foi desenvolvida a estrutura do átomo proveniente das teorias do químico e físico inglês John Dalton, Thomson, em seguida por Rutherford (conhecido como o pai da física nuclear), e posteriormente, formulada pelo físico dinamarquês Niels Bohr e, simultaneamente os experimentos e desenvolvimentos no campo da eletrônica tornaram-se mais intensos.

O famoso Thomas Alva Edison foi um empresário dos Estados Unidos, que desenvolveu inúmeros dispositivos na área cinematográfica, na física, eletricidade, dentre outras. Uma de suas principais invenções na física foi a lâmpada elétrica incandescente, em 1879.

Um engenheiro eletricista chamado Nikola Tesla, considerado também como cientista e inventor, nascido em 1856 em território austríaco, onde na época chamava de Áustria-Hungria, hoje atual Croácia; desenvolveu vários equipamentos e teorias na área da eletricidade e do magnetismo como a bobina de tesla, motor de indução, sistema polifásico de distribuição de energia elétrica, que hoje conhecemos como Sistema Elétrico de Potência, dentre outros.

## 3.2 ELETRICIDADE

Na definição científica mais usual, a Eletricidade é o ramo da Física, em que estudamos os fenômenos envolvendo cargas elétricas estáticas ou em movimento. Pode ser subdividido em Eletrostática (estudo das cargas elétricas em repouso, processos de eletrização, força eletrostática, etc.), e Eletrodinâmica (estudo dos fenômenos que envolvem cargas elétricas em movimento) e Eletromagnetismo.

Praticamente, tudo hoje em dia funciona por meio da eletricidade, computadores, máquinas e eletrodomésticos em geral; iluminação pública e particular; os automóveis, que dirigimos, e os aviões, que voam nos céus; a telefonia celular; a transmissão de internet, que nos conecta com o mundo. Tudo isso, depende da eletricidade para funcionar. O entendimento básico dos fenômenos por trás da eletricidade é fundamental para a descrição do funcionamento da SEP.

### 3.2.1 Carga Elétrica

O modelo atômico, ou seja, o modelo científico de como é formado o átomo, existente hoje em dia nos livros didáticos, descreve uma estrutura composta por três partículas fundamentais. Partindo da ideia que toda matéria é composta de átomos, por convenção, estabeleceu-se que; os prótons que tem carga elétrica positiva (+), os nêutrons com carga elétrica neutra e os elétrons que tem carga elétrica negativa (-), ou seja, de polaridade oposta ao próton.

A eletrostática é o estudo sobre as cargas elétricas em repouso, ou seja, as cargas dos elétrons e prótons em repouso como, por exemplo, o funcionamento da bateria de um carro. Quando o carro está desligado, a bateria contém carga elétrica estática no seu interior. A partir do momento em que ligamos o carro, temos que a eletrodinâmica, o estudo da carga elétrica em movimento, passa a explicar a fenomenologia dos elétrons em movimento constante no interior da bateria, fazendo com que o carro funcione.

A carga elétrica tem como sua unidade fundamental no Sistema Internacional de Unidades (SI), o Coulomb, representado pela letra "C". Cada partícula elementar (o próton e o elétron) possui uma carga de  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C, a fórmula matemática da carga elétrica é  $Q = n \cdot e$ , onde "Q" é a carga elétrica, "n" é a quantidade de elétrons, e "e" é a carga elementar. Existe um fenômeno que acontece entre elas, cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem, ou seja, existe interação de atração e repulsão entre elas.

### **3.2.2 Corrente Elétrica**

Ainda sobre o exemplo da bateria do carro, no momento em que a bateria é acionada, os elétrons que estão em seu interior entram em movimento constante, daí, temos a definição de corrente elétrica: movimento ordenado dos elétrons em razão de uma diferença de potencial. Em uma bateria, eles estão em movimento desordenado, confinados e espalhados. No momento em que a bateria é acionada, eles começam a seguir um fluxo ordenado, ou seja, todos eles começam a percorrer um mesmo caminho em ritmo constante. No SI a intensidade de corrente elétrica é representada pela letra "I", onde sua unidade fundamental é o Ampère (A).

Existem dois tipos de corrente elétrica, a saber: corrente contínua e corrente alternada, ainda que o conceito seja o mesmo para ambas, elas têm propriedades diferentes.

A corrente contínua (CC), é aquela em que os elétrons são forçados a se deslocar em um sentido único, ou seja, não varia de sentido com o tempo. A corrente assume um único valor no tempo, por exemplo, as baterias dos automóveis, motocicletas, aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, dentre outros. Sua representação gráfica é uma reta conforme pode ser observado na Figura 1:

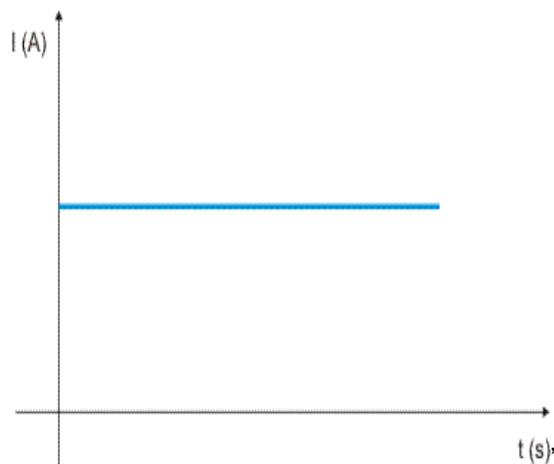


Figura 1: Fonte:

<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrodinamica/figuras/ccca1.gif>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

Corrente alternada (CA), é aquela em que o sentido do movimento dos elétrons é periodicamente invertido. O sentido da corrente varia com o tempo devido uma inversão na polaridade do potencial aplicado à mesma. Nesse tipo de corrente elétrica, os elétrons oscilam em torno da mesma posição em uma dada frequência, e no Brasil, o valor de frequência no SEP é de 60 Hertz. Isso quer dizer que, durante o fluxo de corrente elétrica a cada segundo, um elétron “vai e vem” 60 vezes, assumindo valores positivos e negativos.

Para facilitar o entendimento do conceito de frequência, uma lâmpada quando está acesa, na verdade, ela está piscando 60 vezes por segundo e ao piscar nessa velocidade dá a impressão que ela está acesa constantemente. No campo da eletrônica, é possível variar a frequência da corrente elétrica, assim, podemos ver as lâmpadas piscando, como por exemplo, os “piscas-piscas” da iluminação de natal e

uma sinaleira de carro, ou motocicleta. Sua representação gráfica é uma senoide conforme a Figura 2:

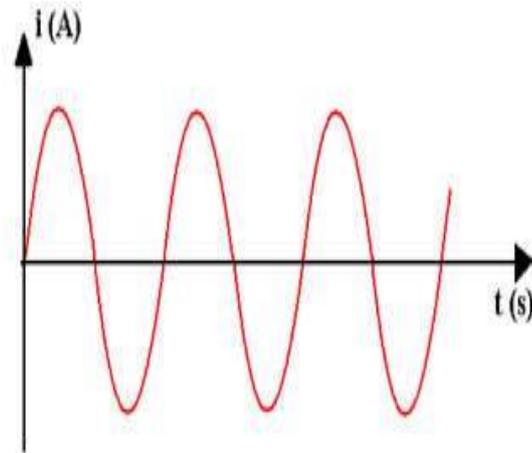


Figura 2:

Fonte: <https://www.infoenem.com.br/wp-content/uploads/2016/12/correntealternada.jpg>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

No Brasil, o Sistema Elétrico de Potência, utiliza corrente alternada, para fazer a transmissão de energia elétrica para todas as regiões do país, pois, devido sua característica, as perdas de energia ao longo do caminho são relativamente pequenas.

A corrente elétrica pode ser calculada da seguinte forma:  $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ , onde  $i$  é a intensidade de corrente elétrica,  $\Delta Q$  é a carga elétrica e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo representado em segundos “s”.

A corrente elétrica, pode produzir variados efeitos, quando conduzida através dos mais variados materiais. Podem existir efeitos térmicos, quando a corrente atravessa algum meio que apresente resistência elétrica, onde o aquecimento entre os elétrons e os átomos do condutor, faz com que ocorra um aquecimento denominado Efeito Joule. Podem acontecer reações químicas, que provavelmente ocorrem no interior das baterias automotivas, efeitos magnéticos devidos um condutor percorrido por corrente elétrica, emitir em torno de si um campo magnético. Efeitos fisiológicos, quando a corrente elétrica passa através dos seres vivos, pessoas ou animais. Efeitos luminosos, quando a corrente elétrica pode gerar luz ao atravessar gases ionizados, como, por exemplo, nas lâmpadas fluorescentes.

### 3.3 TENSÃO ELÉTRICA

A Tensão Elétrica, comumente chamada também de diferença de potencial (ddp), é definida como o trabalho ou a força necessária para que uma carga elétrica se desloque de um ponto A para um ponto B, ou pode ser definida também como a quantidade de energia armazenada por unidade de carga elétrica. A tensão é representada em volts (V), conforme o SI.

Existem também, dois tipos de tensão elétrica: a alternada e a contínua, onde a tensão contínua é aquela produzida pelas baterias automotivas, de aparelhos eletrônicos onde essa, fornece uma corrente elétrica contínua. A tensão alternada, é aquela que existe em nossas residências, é aquela usada para fazer as transmissões de energia elétrica em grandes níveis.

Visto os conceitos acima, podemos calcular a tensão elétrica por meio da expressão matemática  $U = \frac{E_{el}}{Q}$ , onde U é a tensão elétrica em volts,  $E_{el}$  é quantidade de energia em Joules e Q é a quantidade de carga elétrica em Coulomb.

Muitas pessoas e/ou profissionais hoje em dia, ainda usam a expressão “Voltagem” para designar tensão elétrica, porém, está errado, é correto e convencional falar tensão elétrica ou diferença de potencial elétrico.

### 3.4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é a capacidade que determinado material condutor tem de se opor, dificultar a passagem de corrente elétrica. Conforme o SI, é representada por “R” e sua unidade de medida é o “ $\Omega$ ” (Ohm), em homenagem ao físico e matemático alemão Georg Simon Ohm, que também formulou duas leis, consideradas fundamentais nos estudos de eletricidade, as Leis de Ohm, que veremos mais à frente.

A resistividade elétrica é a propriedade ou característica que um material tem que define o quanto ele dificulta a passagem de corrente elétrica. Muitos fatores contribuem e não contribuem para a passagem da corrente elétrica, caso a corrente

esteja percorrendo um fio condutor, o próprio comprimento desse fio se muito longo contribui para uma maior resistência elétrica, ou seja, não haverá uma boa ou considerável passagem de corrente elétrica.

A área da seção transversal do fio condutor tem influência nesses aspectos, porque fios mais largos terão maior fluxo de corrente elétrica passando por eles e, conseqüentemente, fios mais finos terão menor fluxo de corrente elétrica em seu interior. O material de que é constituído o fio, também influencia na condução de corrente elétrica devido à propriedade chamada resistividade, assim como a temperatura a que é exposto esse material. Várias experiências relatam que a resistividade pode desaparecer bruscamente abaixo de determinadas temperaturas.

Matematicamente, podemos descrever a resistência elétrica conforme as Leis de Ohm, a primeira lei de Ohm determina que a corrente elétrica em um condutor, seja diretamente proporcional à diferença de potencial elétrico aplicado a ele, relacionando assim, essas três grandezas, onde  $R = V.I$ , sendo “R” a resistência elétrica, “V” a diferença de potencial elétrico e “I” a intensidade de corrente elétrica.

A segunda lei de Ohm corresponde aos fatores e características que interferem na resistência elétrica de um fio condutor. Essa lei estabelece que a resistência dependa da espessura, do comprimento e do material de que é constituído o fio condutor. Relata-se que, a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional a sua espessura, isto é  $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ , sendo “R” a resistência elétrica, “ $\rho$ ” (rô) representa a constante de resistividade do condutor, expressa em  $\Omega.m$  (ohm), “L” o comprimento expresso em m (metros) e “A” é a área da seção transversal expressa em  $mm^2$ .

### 3.5 POTÊNCIA ELÉTRICA

Por definição, trata-se do trabalho realizado por uma carga elétrica. Em outras palavras, quando uma carga elétrica repele ou é atraída à outra carga em meio a um campo elétrico, um trabalho é realizado. Na mecânica, a potência é o quão rápido pode-se realizar um trabalho. A potência elétrica possui a mesma característica, entretanto, de natureza elétrica. Portanto, a potência elétrica é a taxa com que a energia elétrica é transformada em outra forma de energia, seja térmica, mecânica,

luminosa, dentre outras, em outras palavras a potência elétrica é o trabalho realizado pela corrente elétrica em determinado espaço de tempo.

A unidade de medida de potência elétrica no SI é o Watt (W), em homenagem ao matemático, engenheiro e inventor britânico James Watt que aprimorou a máquina a vapor.

Para citar um exemplo de potência elétrica, tenhamos como base um aparelho eletrodoméstico liquidificador, aparelho este que possui a finalidade de triturar alimentos. Digamos que este aparelho tem em seu manual, uma potência descrita de 60 W, isso quer dizer que ao ligarmos o aparelho na tomada de nossa residência, a corrente elétrica que chega até ele irá realizar um trabalho de transformar 60 Joules de energia elétrica em energia mecânica por segundo, fazendo com que o motor que existe no aparelho funcione e triture os alimentos.

Podemos expressar matematicamente a potência elétrica da seguinte forma:  $P = V.I$ , onde “P” é a potência elétrica em watts.

Utiliza-se também, a unidade (não reconhecidas pelo SI) CV (Cavalo-Vapor) para representar a potência elétrica em motores, onde 1 cV corresponde a 735,5 W e também existe a unidade HP, sigla em inglês que significa horse-power que equivale a 745,5 W, ressaltando que as unidades de medida CV e HP são usuais.

### 3.6 CIRCUITO ELÉTRICO

Em definição simples, um circuito elétrico, é um caminho fechado por onde circula uma corrente elétrica. Entretanto, há definições mais robustas ou completas para um circuito elétrico, onde podemos dizer que, o mesmo é um caminho fechado, que contém um conjunto de dispositivos ou equipamentos de funções diversas, conectados por meio de fios condutores, que permitem a passagem de cargas elétricas oriundas de uma fonte de tensão.

Podemos calcular as características de um circuito elétrico de potência, usando as Leis de Ohm e estudar o processo de transmissão de energia elétrica, em um sistema que envolve equipamentos robustos e cargas elétricas em movimento em grande escala.

### 3.7 ENERGIA ELÉTRICA

Para o entendimento desta pesquisa, energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho, ação ou movimento. Existem dois conceitos fundamentais de energia, são eles: energia potencial e energia cinética. A primeira é a energia armazenada como resultado de sua posição, ou seja, fica armazenada em determinado corpo e que pode conferir a este a capacidade de realizar trabalho, e a segunda é a energia resultante do movimento. Segundo o princípio de Lavoisier, a energia não pode surgir do nada e nem pode ser destruída, pode ser transformada em algum outro tipo de energia.

Nesse sentido, a energia elétrica é o trabalho realizado pela carga elétrica para que possa ser gerada outra forma de energia a partir desta, seja luminosa, mecânica, movimento, calor, dentre outras.

Em grande escala no Brasil, a energia elétrica é produzida nas usinas hidrelétricas, porém, hoje em dia está crescendo bastante a produção nas usinas eólicas, solares, termoelétricas e nucleares. Ela é usada para transmitir e transformar, a energia primária da fonte produtora que aciona os geradores em outros tipos de energia, que usamos em nossas residências.

No SI a unidade de medida de energia elétrica é o Joule (J) em homenagem ao físico britânico James Prescott Joule, podemos calcular a energia elétrica usando a expressão matemática  $E_{el} = P \cdot \Delta t$ , onde " $E_{el}$ " é a energia elétrica.

Entretanto, comumente é utilizado o Kilowatt-hora (kWh) para medir consumo de energia elétrica, medição usada pelas concessionárias de energia elétrica.

### 3.8 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

O Sistema Elétrico de Potência (SEP), é um grande sistema, que reúne o conjunto de todas as instalações que englobam geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, como também todos os equipamentos e dispositivos que fazem parte desse processo, inclusive a medição.

Este sistema, como existe hoje, foi desenvolvido de acordo com a proposta do engenheiro e inventor Nikola Tesla, idealizador do sistema polifásico de transmissão de energia elétrica em fios em corrente alternada, tal como pode ser visto na Figura 3.

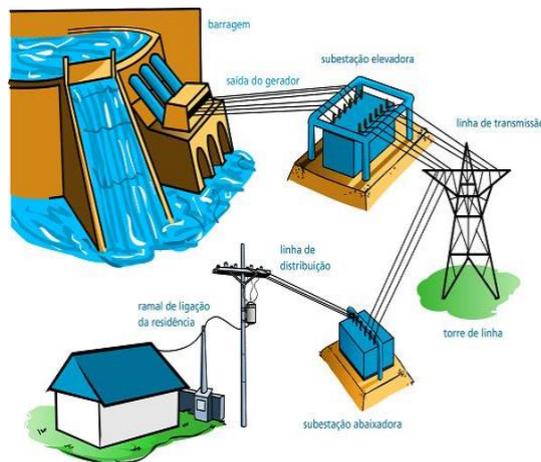


Figura 03. Sistema Elétrico de Potência.

Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+do+sistema+eletrico+de+potencia>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

### 3.8.1 Geração

A geração em escala industrial de energia elétrica pode ser realizada por meio do uso da energia potencial da água (geração hidroelétrica); por energia potencial dos combustíveis (geração termoelétrica); pela força dos ventos (geração eólica); por painéis ou células fotovoltaicas e radiação solar (geração solar); pela energia proveniente dos oceanos (geração das marés) ou também com calor produzido pela fissão de urânio enriquecido (geração nuclear), tal como a Figura 4.



Figura 04. Fontes geradoras de energia elétrica.

Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+fontes+de+energias>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

No Brasil, a maior parte de energia elétrica produzida vem de fontes renováveis, geração por meio das usinas hidrelétricas, eólicas e solares. Entretanto, existem também as fontes não renováveis, como geração através do petróleo, carvão mineral, geração nuclear, dentre outras.

As atividades de geração de energia são realizadas nas salas de máquinas das usinas, onde há salas de comando junto a painéis elétricos energizados, ou não, junto a barramentos elétricos, instalações de serviço auxiliar, tais como: transformadores de potencial, de corrente, de aterramento, banco de baterias, retificadores, geradores de emergência, dentre outros equipamentos.

Os riscos na fase de geração (movimento das turbinas/geradores) de energia elétrica são similares e comuns a todos os sistemas de produção de energia e estão presentes em diversas atividades, dentre elas, podemos citar: instalação e manutenção de equipamentos e maquinários (turbinas, geradores, transformadores, disjuntores, capacitores, chaves, sistemas de medição, etc.), manutenção das instalações industriais após a geração, operação de painéis de controle elétrico.

Quando observamos a eletricidade de uma maneira grandiosa, enxergamos que a fase de geração de energia elétrica é o ponto de partida onde a natureza, a ciência e a tecnologia se juntam para um bem maior para com a sociedade.

### 3.8.2 Transmissão

A transmissão nada mais é, do que o transporte da energia elétrica após a geração até os centros de distribuição e consumo da mesma. Contudo, para ser economicamente viável, a tensão elétrica (ou diferença de potencial elétrico), gerada nos geradores das usinas em corrente alternada, que normalmente é 13.800 V, deve ser elevada a valores padronizados em função da potência a ser transmitida, e das distâncias aos centros consumidores. Essa elevação é realizada nas subestações elevadoras, onde existem equipamentos que fazem essa conversão e/ou elevação.

Geralmente, esses valores de tensão variam de 69 a 230 mil V, dentre outros valores, dependendo dos critérios de projeto das usinas e linhas de transmissão.

A transmissão de energia elétrica no Brasil, ocorre por meio de cabos elétricos condutores (normalmente em material alumínio), e essa condução se faz em valores de tensão muito elevados, cerca de 230 mil volts ou 230 kV (Kilovolts), em virtude das grandes extensões das linhas de transmissão onde a resistividade elétrica dos fios condutores, se torna um desafio para a transmissão da energia em boa qualidade, pois devido ao comprimento do circuito a resistência elétrica do mesmo, se torna bem significativa para as perdas de energia ao longo do percurso.

O alumínio possui um valor constante de resistividade elétrica de, aproximadamente, 0,02857  $\Omega \cdot m$ . É comumente o mais usado nas linhas de transmissão no Brasil. Sabendo o comprimento e a seção transversal (bitola) dos cabos de uma linha de transmissão, podemos obter dados matemáticos das grandezas físicas envolvidas, como calcular a resistência elétrica do circuito aplicando a segunda lei de Ohm. Se tomarmos como exemplo, um circuito de transmissão de energia elétrica com 5 (cinco) quilômetros de comprimento, com cabos condutores de alumínio de seção transversal de 170 mm<sup>2</sup>, qual seria a resistência elétrica do circuito?

Aplicando a segunda lei de Ohm:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

onde:  $\rho = 0,02857 \Omega \cdot m$

$L = 5.000 \text{ m}$

$A = 170 \text{ mm}^2$

temos como resolução:

$$R = 0,02857 \times 5.000 / 170$$

$$R = 0,8402 \Omega$$

Sobre o valor de resistência elétrica em linhas de transmissão muito extensa (tais como podem ser vistas na Figura 5), o que se espera é que esse valor, seja o mais próximo de zero possível, para não haver significantes perdas de energia ao longo do caminho.



Figura 05. Linhas de transmissão de energia elétrica.

Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+linhas+de+transmissão+de+energia+elétrica>  
Acesso em 29 de junho de 2022.

### 3.8.3 Distribuição

É a parte do SEP já nos centros de utilização como cidades, bairros, indústrias e residências. Ela começa na subestação abaixadora, que contém equipamentos que convertem e/ou abaixam o valor da tensão de transmissão de 69.000 ou 230.000 Volts, para geralmente 13.800 Volts, para que essa tensão possa ser transportada pelas redes de distribuição existentes naquela área, e alimentem os transformadores de distribuição.

As empresas distribuidoras de energia (públicas ou privadas), são responsáveis pela entrega de energia elétrica aos consumidores finais, residências, comércios, indústrias, dentre outros. O sistema de distribuição, é muito mais amplo e ramificado que o de transmissão, e é neste sistema, seja urbano ou rural, que encontramos diversos equipamentos de distribuição, dentre eles transformadores,

chaves fusíveis de distribuição, principalmente a Fusesaver, que é o objeto de estudo deste trabalho. A figura 6 é a representação de uma rede de energia elétrica.



Figura 06. Rede de distribuição de energia elétrica.

Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+rede+de+distribuição+de+energia+elétrica>. Acesso em 29 de junho de 2022.

### 3.8.4 Consumo

O consumo de energia elétrica provém da alimentação dos transformadores de distribuição, que convertem e/ou abaixam a tensão primária de 7.967 Volts para 220 ou 380 Volts em um circuito monofásico e 13.800 Volts para tensão secundária de 220 ou 380 Volts em um circuito trifásico. Daí distribui-se para as indústrias, edifícios, residências, dentre outras unidades consumidoras.

Existem indústrias que provém de alimentação em rede primária de 7.967 ou 13.800 Volts devido equipamentos, motores elétricos que funcionam nesta classe de tensão. A figura 7 representa uma unidade consumidora de energia.

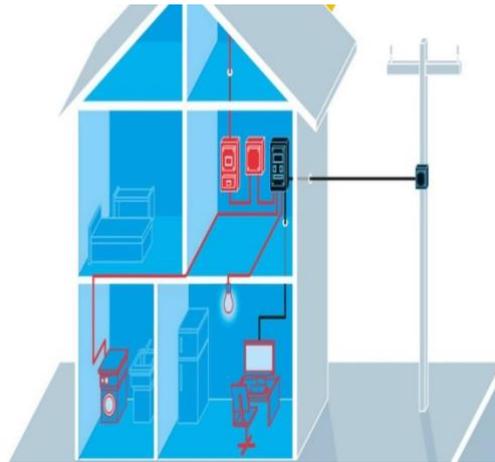


Figura 07. Unidade consumidora de energia elétrica.

Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+unidade+consumidora+de+energia+elétrica>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

### 3.9 TÉCNICO DE REDES E LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO

Dentre os vários agentes que trabalham diretamente no SEP, o Técnico de Redes e Linhas de Distribuição é o profissional de nível técnico em Eletrotécnica, que atua nas funções de inspeções, projetos, fiscalização de projetos, coordenação de equipes e monitoramento de equipamentos em linhas de distribuição de alta tensão.

Nas inspeções, o profissional verifica a olho nu os circuitos elétricos, ou linhas de distribuição de tensão com abundante carga elétrica, com o intuito de identificar possíveis defeitos que ocasionem curtos-circuitos, que podem causar falta de energia em grande escala. Os equipamentos de apoio são automóveis picapes, binóculos, dentre outros.

Na parte de projetos, caso haja necessidade, são realizados estudos sobre atividades de campo, como por exemplo, as substituições de transformadores por outros de maior carga, onde é necessário estudo sobre a distribuição de cargas para definir a potência real do transformador a ser instalado. Outras situações, são postes em estado precário, substituição de transformadores por outros de mesma potência, substituição de fios condutores em estado precário, fazemos esses projetos em tempo real.

A etapa de coordenação de equipes, é equivalente à fiscalização de projetos, pois se trata da supervisão das equipes na execução dos projetos. Do ponto de vista prático, no ato da execução de um projeto de substituição de um transformador, ou

substituição de postes, o Técnico de Redes e Linhas de Distribuição deve acompanhar de perto o serviço e garantir a sua execução conforme projetado, com segurança e qualidade. Caso haja algum imprevisto, deve tomar as providências necessárias para o êxito dos projetos.

As equipes supervisionadas pelo Técnico de Redes e Linhas de Distribuição, são denominadas equipes de Linha Morta e de Linha Viva. A primeira, realiza serviços nas redes de distribuição de baixa e alta tensão com as redes desenergizadas, ou seja, sem energia, realizam serviços de substituição de transformadores, postes, fios, dentre outros. Na figura 8, temos uma imagem dessa equipe.



Figura 8. Equipe de Linha Morta realizando a manutenção de redes em ação.  
Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba, Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.

As equipes de Linha Viva executam serviços em redes de distribuição de alta tensão energizadas, ou seja, com energia elétrica. Utilizam equipamentos de proteção individual (EPI's) e coletiva (EPC's), para que possam executar os serviços com segurança e qualidade. Uma das funções das equipes de Linha Viva é coletar medições de tensão nos circuitos de alta tensão, identificando quais são as fases (A, B ou C) do circuito, com um equipamento chamado fasímetro analógico. As figuras 9 e 10 mostram este equipamento.



Figura 9. Fasímetro analógico.

Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba, Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.



Figura 10. Fasímetro analógico.

Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Para coletar medições de corrente elétrica em redes de alta tensão, as equipes de Linha Viva, utilizam o equipamento denominado amperímetro digital ou alicate amperímetro como é mais conhecido. A Figura 11 mostra uma imagem desse equipamento.



Figura 11. Amperímetro digital ou alicate amperímetro.

Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba. Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Após as medições, a equipe repassa os valores medidos ao Técnico de Redes e Linhas de Distribuição, para realização do cálculo da potência e resistência elétrica do circuito. Em relação ao objeto de estudo desse trabalho, a Fusesaver Siemens, geralmente, são as equipes de Linha Viva que instalam esse equipamento nas redes de energia elétrica de alta tensão e colocam o mesmo em pleno funcionamento. Essa equipe utiliza caminhões ou picapes para realizam dos serviços. Nas figuras 12 e 13 temos imagens dessa equipe.



Figura 12. Equipe de Linha Viva.

Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba. Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.



Figura 13. Equipe de Linha Viva.

Fonte: Arquivo do autor e Técnico de Redes e Linhas de Distribuição do Estado da Paraíba. Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Em relação ao monitoramento de equipamentos, são realizadas inspeções a olho nu para determinar se os equipamentos em funcionamento nas redes de distribuição de alta tensão estão com defeitos físicos aparentes.

### 3.10 EQUIPAMENTOS DO SEP

Vamos falar agora um pouco dos equipamentos que existem no SEP diretamente ligados a redes de distribuição de energia elétrica.

#### 3.10.1 Chave Fusível / Elo Fusível de Distribuição

O SEP abrange muitos equipamentos e dispositivos elétricos, eletromecânicos, eletroeletrônicos e telecomandados a operar segundo a sua função e predestinação, conforme a característica do circuito elétrico ao qual foi designado. Dentre tais equipamentos, vamos falar um pouco a respeito do elo fusível e da chave fusível de distribuição.

As chaves fusíveis são dispositivos eletromecânicos que têm como função básica, a interrupção do circuito elétrico. Neste dispositivo, é acoplado o cartucho e, em seu interior, é instalado o elo fusível, que é o elemento de proteção, cuja característica é se romper em função tempo x corrente. Trata-se de uma peça (fio) facilmente substituível, composta de um elemento fusível, que derrete por ocasião de circulação de uma sobrecorrente. Porém, para garantir a interrupção da corrente

elétrica, deve o elo fusível possuir um pequeno tubo (que reaja quimicamente ao ser aquecido), cobrindo seu elemento ativo. Ao ser queimado pelo arco elétrico (grande movimentação de carga elétrica através do ar), o tubo deve produzir uma substância que libere gases ionizantes, que impedem que o arco elétrico continue fluindo entre os terminais do elo fusível.

Devido ao baixo custo e desempenho satisfatório para o nível de proteção, as chaves fusíveis, são os elementos mais utilizados na proteção de rede de distribuição de energia elétrica, em zonas urbanas e rurais.

Os elos fusíveis são codificados nas seguintes classificações:

Tipo H: São fusíveis de altos surtos, possuem um tempo de atuação longo, e são somente utilizados na proteção de transformadores de distribuição. Devido a sua atuação lenta, não irão operar na energização do transformador.

Tipo K: Possuem o tempo de atuação rápido, são utilizados na proteção de ramificações, que são trechos de redes de distribuição em tensão primária com pouca ou moderada carga elétrica.

Tipo T: São elos fusíveis que apresentam um longo tempo de atuação. Têm a finalidade de realizar a proteção de alimentadores, isto é, as linhas de distribuição em tensão primária com abundante carga elétrica. Na figura 14 temos uma imagem do elo fusível.



Figura 14. Elos fusíveis de distribuição.

Fonte: <http://protecaosmart.com.br/wp-content/uploads/2018/07/elo-fusivel2.jpg>.

Acesso em 29 de junho de 2022.

O princípio de funcionamento de uma chave fusível se baseia na extinção do arco elétrico, formado no interior do cartucho ou “canela”, devido à abertura do circuito após a fusão do elo fusível. O arco irá queimar o tubinho e/ou paredes do cartucho, produzindo gases deionizantes ( $\text{CO}_2$ , nitrogênio, etc.), que irão extingui-lo. Além disso, a expansão destes gases no interior do cartucho dá origem a uma intensa diferença de pressão interna, que irá expulsar os mesmos pela parte inferior. Isto origina um empuxo para cima (princípio da ação e reação), que desconecta o contato superior do cartucho do contato da chave, fazendo-o girar através de uma junta articulada. Após a operação da chave, o cartucho fica "pendurado", indicando a operação (popularmente conhecido como "canela arriada"). Daí dizer-se que a chave tem a propriedade indicadora ou sinalizadora visual.

Os componentes de uma chave fusível são: elo fusível (liga de material condutor), cartucho ou canela (tubo de fibra isolante), isolador (porcelana ou resina epóxi) e base ou dispositivo de fixação (aço zincado). A figura 15 apresenta uma imagem da chave fusível de distribuição.



Figura 15. Chave fusível de distribuição.

Fonte: [http://www.seuprodotonaweb.com.br/fotos/20181107\\_162132\\_chavefusivel.jpg](http://www.seuprodotonaweb.com.br/fotos/20181107_162132_chavefusivel.jpg).

Acesso em 29 de junho de 2022.

As chaves fusíveis são comumente usadas para proteção de circuitos elétricos em redes de distribuição. São muito empregadas para proteger transformadores de distribuição (Figura 16), como também para proteger ramificações (trechos de redes de distribuição). Uma vez instalada a chave fusível na rede e, caso surja algum defeito à frente dela e ocasione um curto-circuito, o fusível se rompe e a chave fusível desarma o cartucho. Em outras palavras: instala-se uma chave fusível para proteger um transformador, onde é acoplado um elo

fusível com limite de corrente elétrica respectivo à carga elétrica que o transformador irá conter. Supondo, então, que uma árvore venha a se chocar com a rede de distribuição neste circuito (Figura 17), ao se chocar; a árvore se torna o defeito da rede e ocasiona um curto-circuito, devido ao aterramento, que oferece um caminho mais rápido e com uma resistência elétrica muito inferior à do circuito para a corrente elétrica que circula na rede. Com isso acontece um aumento gradativo da corrente, ela se rompe e o cartucho da chave desarma.



Figura 16. Circuito elétrico com Chave Fusível e Transformador de Distribuição.  
Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+transformador+de+distribuição>.  
Acesso em 29 de junho de 2022.



Figura 17. Árvore se chocando com rede elétrica de distribuição.  
Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+árvore+na+rede+eletrica>.  
Acesso em 29 de junho de 2022.

### 3.10.2 Transformador de Distribuição

O transformador de distribuição fornece energia para as residências, hospitais, edifícios, indústrias, dentre outras unidades consumidoras. No momento em que o elo fusível se rompe, ocasiona a falta de energia nestes estabelecimentos, desta forma, a empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica da região deverá enviar uma equipe de profissionais habilitados, qualificados e autorizados para sanar o defeito e energizar novamente o circuito.

Os custos decorrentes de um período de falta de energia são diversos, que vão desde danos permanentes em equipamentos residenciais e comerciais, perdas de produtos biodegradáveis e até mesmo vidas humanas. Para as empresas de distribuição de energia elétrica, é essencial a busca pela redução do custo benefício dos serviços prestados, das despesas financeiras em geral mantendo a qualidade. Nesse sentido, foi desenvolvido um equipamento que fornece um ganho enorme em situações de falta de energia elétrica em redes de distribuição, tornou-se um avanço tecnológico nessa área e um grande investimento para as empresas concessionárias de energia elétrica, a chamada “Fusesaver Siemens”.

### 3.11 FUSESAVER SIEMENS

A Fusesaver foi desenvolvida pela empresa Siemens, que é considerada a maior empresa de tecnologia integrada do Brasil, atuando a mais de 110 anos no país. A Siemens está há mais de um século no mercado, trabalhando para ser referência em novas formas de eletrificar, automatizar e digitalizar o mundo. Segundo a própria empresa: “Falar em Siemens no Brasil é falar em fazer o que importa para a sociedade”. Trata-se de um equipamento usado em redes de distribuição de energia elétrica, com a proposta de ser uma solução de proteção perfeita, para ramificações de linhas aéreas de média tensão. A Fusesaver consegue remover completamente os impactos de faltas transitórias nas linhas de distribuição.

Daí vem o questionamento: o que é uma falta transitória?

Relembrando o exemplo da árvore (citado na subseção anterior), consideramos agora a nova situação: compreendemos que a árvore ao se chocar com a rede elétrica ocasiona um curto-circuito ou falta que é um termo técnico usado para classificar situações de curto-circuito em redes de distribuição.

Quando a árvore se choca com a rede de energia elétrica ocasiona a falta. Se o choque ocorrer por alguns instantes de tempo, isto é, se o contato com a rede for interrompido de alguma forma, damos o nome de falta transitória ou temporária. Esta situação hipotética está representada abaixo em uma ramificação de rede de distribuição, onde na figura 18 a árvore bate na rede de energia elétrica e, na figura 19 ela retoma sua posição inicial, cessando o contato com a rede.



Figura 18. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.



Figura 19. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.

Entretanto, se a árvore se chocar e continuar sobre a rede ou em contato com ela, ocorrerá o que se dá o nome de falta permanente. Vejamos abaixo na figura 20 um exemplo da falta permanente.



Figura 20. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.

Percebe-se que duas fases do circuito estão energizadas, ou seja, estão com fluxo de corrente elétrica em seu interior e uma delas não está, devido à árvore ter permanecido em contato com a mesma. Isso caracteriza uma falta permanente para uma das fases do circuito.

A Fusesaver (Figura 21) foi desenvolvida para atuar e promover ganhos de eficiência energética em casos de faltas transitórias, isso graças a sua singular velocidade de extinção de faltas (um meio-ciclo), que protege o elo fusível da chave fusível da rede.



Figura 21. Fusesaver Siemens. Fonte: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver). Acesso em 01 de maio de 2022.

### 3.11.1 Funcionamento da Fusesaver

A Fusesaver foi projetada para ser instalada em série com a chave fusível (figura 22). Quando ela reconhece uma corrente de falta, ela abre e se mantém aberta por um período pré-determinado (tempo morto). Então fecha novamente e permanece fechado. Dependendo da falta, há diferentes efeitos na ramificação.



Figura 22. Fusesaver em série com a chave fusível.

Fonte:

[https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast\\_ani\\_a4.jpg](https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast_ani_a4.jpg).

Acesso em 01 de maio de 2022.

### 3.11.2 Atuação em Faltas Transitórias

No momento da falta, a Fusesaver atua ou abre o circuito, com isso a falta desaparece durante o tempo morto. Depois do fechamento, a alimentação de energia é retomada, o elo fusível não se rompe e o Fusesaver está pronta para a próxima falta. Somente os clientes na ramificação de linha afetada terão interrupção da alimentação durante o tempo morto da Fusesaver, enquanto todos os outros clientes do circuito fonte, incluindo as ramificações de linhas próximas não vão sequer notar a sua operação em menos de um ciclo. Vejamos o gráfico da corrente elétrica em faltas transitórias na Figura 23.

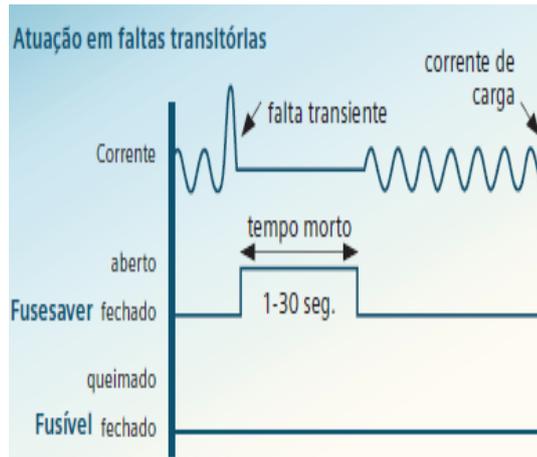


Figura 23. Gráfico de Falta Transitória.  
 Fonte: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver).  
 Acesso em 01 de maio de 2022.

Em um exemplo prático, numa ramificação a Fusesaver opera com valores de tensão primária de 13.800 Volts em circuitos trifásicos, sendo aproximadamente 7.967 Volts entre fases e em circuitos monofásicos. Esses valores de tensão podem ser coletados na rede através de um equipamento chamado multímetro, e os valores de corrente elétrica podem ser coletados através de um equipamento chamado fasímetro. Considerando que a Fusesaver está operando em um circuito trifásico, onde uma equipe de Linha Viva coletou na medição da corrente elétrica desse circuito o valor de 192,5 A, qual será o valor da resistência elétrica?

Aqui, aplicamos a primeira lei de Ohm, onde:

$$V = R \cdot I \text{ ou } R = \frac{V}{I}$$

No caso específico onde:  $V = 7.700 \text{ V}$  e  $I = 192,5 \text{ A}$ , teremos

$$R = 7.700 / 192,5$$

$$R = 40 \Omega \text{ (em valores arredondados)}$$

No momento da falta, ou seja, no momento em que a árvore se choca com a rede teremos um valor de corrente elétrica de 192,5 Ampères, que foi interrompida no circuito, o que causa uma falta de energia considerável. Com este valor de corrente, podemos calcular a potência elétrica que deixou de ser fornecida, nesse circuito, pela expressão:

$$P = V \cdot I:$$

$$P = 7.700 \times 192,5$$

$$P = 1.482,250 \text{ W}$$

Entretanto, após a árvore se afastar da rede e a Fusesaver contar o tempo morto, a corrente elétrica retoma seu fluxo normal no circuito.

### 3.11.3 Atuação em Falhas Permanentes

No momento da falta da energia, a Fusesaver fecha. Como o fator que resultou a falta ainda está presente, o resultado é uma corrente de falta imediata. A Fusesaver não irá operar novamente e permitirá que a corrente de falta queime o elo fusível. A perda de energia é inevitável aos clientes nessa ramificação de linha, enquanto os outros clientes recebem energia de forma sem interrupção. A Fusesaver restringe a queima de elos fusíveis em ramificações de linha apenas em casos inevitáveis de faltas permanentes. Vejamos o gráfico da corrente elétrica em faltas permanentes na Figura 24.

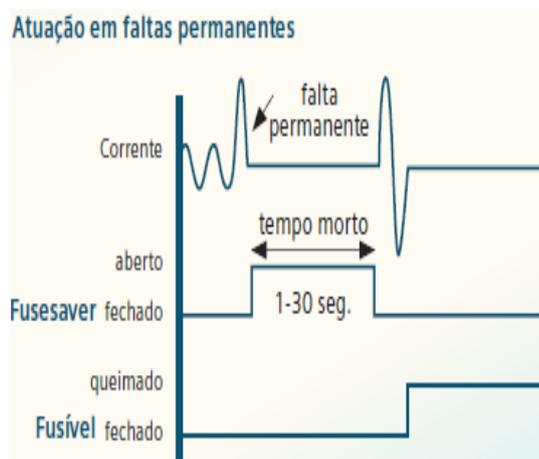


Figura 24. Gráfico de Falta Permanente.  
 Fonte: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver).  
 Acesso em 01 de maio de 2022.

A Fusesaver é um equipamento altamente tecnológico com um desempenho satisfatório para sua aplicação. Não é robusta e possui uma estrutura de componentes elétricos e eletrônicos bem distribuídos (Figura 25).

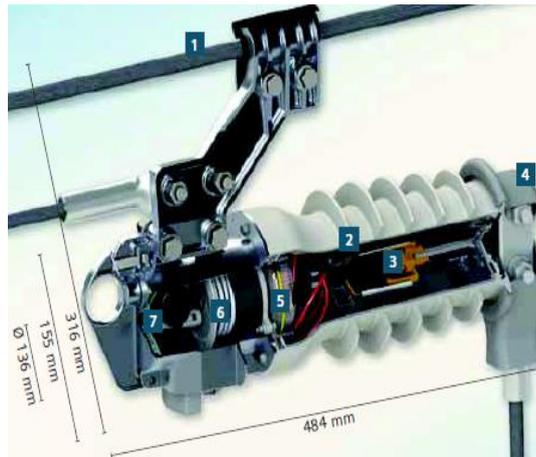


Figura 25. Componentes da Fusesaver.  
 Fonte: [www.siemens.com.br/Fusesaver](http://www.siemens.com.br/Fusesaver).  
 Acesso em 01 de maio de 2022.

- 1 - Lado morto.
- 2 - Transformador de corrente para detecção de falta.
- 3 - Câmara de interrupção a vácuo.
- 4 - Protetor de aves (opcional).
- 5 - Transformador de corrente para alimentação.
- 6 - Atuador magnético.
- 7 - Módulo eletrônico.

Para minimizar os custos de instalação e operação, a Fusesaver foi desenvolvida como parte de um sistema integrado de ferramentas e acessórios de simples instalação. Assim, todos os componentes trabalham juntos, com comissionamento rápido e operação confiável em todas as condições.

#### 3.11.4 Pontos Positivos

Como pontos positivos, podemos citar que a Fusesaver, numa visão geral, proporciona maior disponibilidade e redução de custos para a sua rede de distribuição de média tensão. Isso implica, efetivamente, na redução do número e duração das quedas de energia, o que limita o número de consumidores afetados

numa falta transitória; na redução dos custos de operação reduzida, que é diretamente proporcional à redução das chamadas para manutenção reduzida, na redução dos gastos com equipes de campo, com retorno típico de investimento num período menor que dois anos; no aumento de confiabilidade na rede, isso significa menos pagamento de multas devido às falhas de fornecimento de energia, por parte da empresa de distribuição de energia; na redução de gastos com materiais, como os elos fusíveis, cartuchos de chaves fusíveis, entre outros. A Fusesaver possui instalação fácil e rápida, pois não são necessárias mudanças no sistema de proteção da rede. Também é possível citar os benefícios em segurança para os funcionários, devido ao chaveamento em meio ciclo e autoalimentação. Enfim, é uma tecnologia inovadora e altamente integrada.

### **3.11.5 Pontos Negativos**

Incapacidade técnica de atuar em faltas permanentes, pois as faltas de energia são comuns em redes de distribuição devido aos agentes externos no dia a dia.

## **4. METODOLOGIA**

A abordagem utilizada para o desenvolvimento desse trabalho foi uma descrição qualitativa, com base na revisão bibliográfica direcionada aos fenômenos, que giram em torno do tema eletricidade e das tecnologias disponíveis, para a utilização de suas propriedades a serviço do desenvolvimento da sociedade.

Realizou-se uma breve e concisa descrição bibliográfica acerca da história da eletricidade, direcionada à apresentação de cientistas e engenheiros, pioneiros no desenvolvimento da ciência por trás da eletricidade e magnetismo.

Foi feita uma abordagem descritiva qualitativa sobre o conteúdo eletricidade, ressaltando algumas grandezas físicas envolvidas pertinentes aos temas estudados.

Buscou-se realizar uma descrição qualitativa da profissão de Técnico em Redes e Linhas de Distribuição, que é o profissional que atua diretamente na aplicação dos conceitos descritos nesse trabalho. Tal descrição satisfaz o perfil do

profissional que atua na área de física e pode ser o objeto de estudo de pesquisas futuras.

Foi realizada uma entrevista, de caráter descritivo e qualitativo, com um profissional Técnico em Redes e Linhas de Distribuição, que expressa as correlações da física com o objeto de estudo desse trabalho.

A base dos estudos foi documentários e artigos científicos, para o desenvolvimento de ideias e para a construção de conteúdo.

Foram realizadas discussões com o orientador e demais professores do curso de física, com o intuito de promover o surgimento de concepções para a construção de conteúdo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descrição qualitativa, que foi realizada sobre as grandezas físicas em todo o contexto desse trabalho, satisfaz a correlação entre o Ensino de Física Geral e o sistema de distribuição de energia elétrica existente, suas tecnologias e infraestrutura, que estão a serviço do desenvolvimento da sociedade.

O dispositivo descrito nesta pesquisa, a Fusesaver, é sem sombra de dúvidas, um avanço tecnológico na área da eletricidade. É um equipamento de proteção de redes bastante sofisticado, que possui um custo benefício considerável e um investimento bem-sucedido. Dentre as inúmeras tecnologias inovadoras do mundo científico, a Fusesaver é um bom exemplo do processo de desenvolvimento constante.

Este trabalho também se propôs a apresentar, em linhas gerais, o profissional de manutenção de redes de distribuição de energia elétrica, com o propósito de aumentar a gama de conhecimentos a respeito da Física por trás do SEP, mais especificadamente, os conhecimentos adquiridos nas disciplinas Física III e laboratório de Física Geral III.

A grande área da eletricidade magnetismo caminha junto com o desenvolvimento tecnológico, para prover um futuro cada vez mais deslumbrante e confortável para a sociedade e, certamente, há muita coisa ainda para ser desenvolvida.

Ainda por ser este um trabalho de caráter informativo, didaticamente falando, a teoria e prática aprendida durante a graduação é completamente aplicada pelo profissional descrito e atuante no SEP, ou seja, mesmo que em eixos paralelos, existe um nexos fundamental entre o objeto tecnológico de estudo e a física envolvida.

## REFERÊNCIAS

Creder, H. **Instalações Elétricas**. 15.º ed. 40(quarenta) anos, Edição Comemorativa. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2007 e 2008. pdf. Disponível em: <http://www.scribd.com/document/326167344/Livro-Instalações-Elétricas-Hélio-Creder-15-edicao-pdf>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 1: Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrodinamica/figuras/ccca1.gif>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 2: Fonte: [http://www.infoenem.com.br/wp-content/uploads/2016/12/corrente\\_alternada.jpg](http://www.infoenem.com.br/wp-content/uploads/2016/12/corrente_alternada.jpg). Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 03. Sistema Elétrico de Potência. Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+do+sistema+elétrico+de+potência> Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 04. Fontes geradoras de energia elétrica. Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+fontes+de+energias>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 05. Linhas de transmissão de energia elétrica. Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+linhas+de+transmissão+de+energia+elétrica> Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 06. Rede de distribuição de energia elétrica. Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=imagem+rede+de+distribuição+de+energia+elétrica> Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 07. Unidade consumidora de energia elétrica. Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=imagem+unidade+consumidora+de+energia+elétrica>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 8. Fonte: Arquivo do autor, Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 9. Fonte: Arquivo do autor, Smartphone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 10. Fonte: Arquivo do autor, Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 11. Fonte: Arquivo do autor, Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 12. Fonte: Arquivo do autor, Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 13. Fonte: Arquivo do autor, Smartfone Samsung Galaxy A02s, 2022.

Figura 14. Elos fusíveis de distribuição. Fonte: <https://protecaosmart.com.br/wp-content/uploads/2018/07/elo-fusivel2.jpg>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 15. Chave fusível de distribuição. Fonte: [https://www.seuprodutonaweb.com.br/fotos/20181107\\_162132\\_chavefusivel.jpg](https://www.seuprodutonaweb.com.br/fotos/20181107_162132_chavefusivel.jpg). Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 16. Circuito elétrico com Chave Fusível e Transformador de Distribuição. Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+transformador+de+distribuição>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura 17. Árvore se chocando com rede elétrica de distribuição. Fonte: <http://www.google.com.br/search?q=imagem+árvore+na+rede+eletrica>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Figura “18”. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura “19”. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura “20”. Fonte: MP4 Vídeo File (VLC). Siemens Fusesaver – Rede de Distribuição. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=QhSjyN7bwCM>. Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura 21. Fusesaver Siemens. Fonte: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver). Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura 22. Fusesaver em série com a chave fusível. Fonte: [http://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast\\_ani\\_a4.jpg](http://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast_ani_a4.jpg).

Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura 23. Gráfico de Falta Transitória. Fonte: [http://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast\\_ani\\_a4.jpg](http://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:e29508fdaad33f4af671ec60591f890e45918e97/width:1125/quality:high/strommast_ani_a4.jpg). Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura 24. Gráfico de Falta Permanente. Fonte: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver). Acesso em 01 de maio de 2022.

Figura 25. Componentes da Fusesaver. Fonte: [www.siemens.com.br/Fusesaver](http://www.siemens.com.br/Fusesaver). Acesso em 01 de maio de 2022.

Info Escola. Por Thomas Carvalho. **Corrente Elétrica**. Navegando e Aprendendo. Disponível em: <http://www.infoescola.com/fisica/corrente-eletrica/>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Mauricio Massazumi Oka. Versão 1.0 (nov.2000). História da Eletricidade. Disponível em: <http://lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>. Acesso em 29 de jun de 2022.

Professor Cláudio Luiz. **Lâmpada Incandescente**: História e funcionamento. Disponível em: <http://www.geocities.ws/infoqui/armazem/lampada.pdf>. Acesso em 29 de junho de 2022.

SILVA, Larissa Zeid Marques. Eletricidade no Lar, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo. Disponível em: [http://www.tcc.sc.usp.br/index.php?option=com\\_jumi&fileid=11&id=A7A5C7FEB63](http://www.tcc.sc.usp.br/index.php?option=com_jumi&fileid=11&id=A7A5C7FEB63). Acesso em 01 de maio de 2022.

Siemens Fusesaver™. **Maior disponibilidade e redução de custos para a sua rede de distribuição de média tensão**. Publicado em 2013. pdf. Disponível em: [www.siemens.com/Fusesaver](http://www.siemens.com/Fusesaver). Acesso em 01 de maio de 2022.

Toda Matéria. Por Pedro Menezes. **Conceitos e significados sobre Ciência**. Disponível em: <http://www.todamateria.com.br/o-que-e-ciencia/>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Toda Matéria. Por Rosimar Gouveia. **Diferença de Potencial**. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/diferenca-de-potencial/>. Acesso em 29 de junho de 2022.

Uol Educação. Por Carlos Roberto de Lana. Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação. **Tipos de Ciência**. Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/ciencias/ciencia-o-que-e-isso.htm>. Acesso em 29 de junho de 2022.

## ANEXOS

### **ANEXO A - Entrevista com o Técnico de Redes e Linhas de Distribuição**

Em meio a esse cenário, entrevistei um colega de trabalho que realiza as mesmas funções que desempenho, veja agora, alguns relatos do profissional entrevistado. De início foi feita perguntas de descrição pessoal e atividades que exerce, segue relato do entrevistado: Nome Widemarc de Araújo Nogueira exerce a função de Técnico de Redes e Linhas de Distribuição no estado da Paraíba há dois anos. Realiza atividades de inspeção em redes de distribuição de alta tensão, projetos de substituição de postes e transformadores, e acompanhamento de equipes de Linha Morta e Linha Viva.

Em relação aos equipamentos que existem no SEP, e/ou nas redes de distribuição de alta tensão, segue relato do entrevistado: existem Religadores de Linha monitorados via sistema na central de monitoramento. Existem sinalizadores de falta e chaves fusíveis. A chave fusível tem a funcionalidade de abrir o circuito elétrico quando há um curto-circuito a sua frente.

Em relação à Fusesaver Siemens, segue relato do entrevistado: é um equipamento ótimo, porque evita queimar o elo fusível das chaves fusíveis com maior frequência, e diminui as viagens das equipes para acionar novamente as chaves fusíveis.