

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
VEÍCULO SOB POTENCIAL DE REDE
ELÉTRICA DE 13,8 kV: RISCOS,
ACIDENTES E PREVENÇÃO

GUILHERME DORNELAS FERREIRA

Brasília, Julho 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

Guilherme Dornelas Ferreira

**VEÍCULO SOB POTENCIAL DE REDE
ELÉTRICA DE 13,8 kV: RISCOS,
ACIDENTES E PREVENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Professor Alcides Leandro da Silva, Dr.

Brasília, Julho 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Guilherme Dornelas

Veículo sob Potencial de Rede Elétrica de 13,8 kV: Riscos, Acidentes e Prevenção [Distrito Federal] .
VII 65p. 210X295mm. (ENE/FT/UnB. Engenheiro Eletricista, Engenharia Elétrica, 2018).

Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, 2018.

Orientação: Dr. Prof. Alcides Leandro da Silva

1. Acidentes Elétricos

2. Carro Sob Potencial

3. Ensaio Elétricos

4. Gaiola de Faraday

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA, Guilherme Dornelas (2018). Veículo sob Potencial de Rede Elétrica de 13,8 kV: Riscos, Acidentes e Prevenção [Distrito Federal] 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Dornelas Ferreira

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Veículo sob Potencial de Rede Elétrica de 13,8 kV: Riscos, Acidentes e Prevenção.

GRAU/ANO: Engenheiro Eletricista /2018.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Nome do Aluno: Guilherme Dornelas Ferreira

Endereço: Rua 19 Norte Lote 2 Aguas Claras

Email: guilhermedornelasf@gmail.com.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VEÍCULO SOB POTENCIAL DE REDE ELÉTRICA DE 13,8 kV: RISCOS, ACIDENTES E PREVENÇÃO

GUILHERME DORNELAS FERREIRA

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva

(Orientador, UnB/ENE)

Prof. Dr. Francisco Damasceno Freitas

(Membro Interno, UnB/ENE)

Prof. Dr. Franklin da Costa Silva

(Membro Interno, UnB/ENE)

Brasília, Julho 2018

Dedicatória

Aos meus pais, Kátia Silene e Mário Alves, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

Guilherme Dornelas

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre ter me dado sabedoria para lidar com as circunstâncias, coragem para enfrentar os medos e encarar os desafios e por ter me abençoado em toda a minha trajetória.

Aos meus pais, Kátia Silene Dornelas e Mário Alves Ferreira, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando, incentivando e dando todo o suporte necessário. Sou muito grato a tudo que já fizeram por mim. Seus ensinamentos e lições foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e amadurecimento.

Aos meus irmãos, Gustavo Dornelas Ferreira e Giovanni Dornelas Ferreira, por fazerem parte da minha vida e por todos os momentos bons que já vivenciamos.

Um agradecimento especial aos meus melhores amigos, Sávio Henrique Geraldo da Mota, Yuri Caldas Carneiro e Lucas Wolney Gomes Figueira, pela amizade verdadeira e por todos os momentos bons e ruins que já compartilhamos. Levarei para o resto da minha vida as nossas diversas histórias e lembranças de viagens, festas e encontros.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Elétrica, Caio Fiche, João Vitor, Iago Campos, Pedro Damasceno, Matheus Monteiro e Sergio Rjalm, por todas as dificuldades compartilhadas, pela amizade sincera, pelo convívio durante esses anos de faculdade e por todos os momentos de descontração.

Ao meu orientador, Alcides Leandro da Silva, por me acompanhar na realização desse trabalho, me dando todo o suporte necessário.

Ao engenheiro Frederico Dourado da CEB por ter cedido um transformador à Universidade, o que possibilitou a realização dos experimentos.

RESUMO

A presente monografia consiste em uma análise de um veículo sob potencial de 13,8 kV, buscando orientar e informar os principais riscos existentes e associados a essa situação e apresentando medidas que devem ser tomadas para evitar possíveis lesões ou mortes. Construindo uma base teórica diante dos tópicos principais, a monografia faz uma análise minuciosa da Gaiola de Faraday criada sobre o carro e apresenta os dados obtidos a partir de um ensaio que examina o comportamento de um pneu sob um potencial elevado, verificando se a isolamento do material é mantida ou se o mesmo é danificado pelo alto potencial. E por fim, são apresentados alguns registros de acidentes causados por carros sob potencial de 13,8 kV.

ABSTRACT

This report presents an analysis of a vehicle which is subject to a 13.8 kV potential, the work aims to furnish a guide and inform the main existing risks associated with this situation and presenting measures that must be taken to avoid possible injuries or deaths. Constructing a theoretical basis on the main topics, the work analyzes the Faraday Cage carefully on the car and show the data obtained from a test that examines the behavior of a tire under a high potential. Therefore, it is verified if the insulation of the material is maintained after receiving the discharge or if it is damaged by the high potential. Finally, some accidents records caused by cars with potential of 13.8 kV are presented.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estruturação do trabalho	2
2. ACIDENTES EM ATIVIDADE, ENVOLVENDO ELETRICIDADE NO BRASIL	3
2.1 Dados Estatísticos de Acidentes Elétricos	3
2.1.1 Estatísticas de acidentes de origem elétrica por ano	3
2.1.2 Estatísticas de acidentes seguidos de morte provocados por choque elétrico por localidade e local.	6
2.1.3 Estatísticas de acidentes de origem elétrica por gênero e por faixa etária	8
3. A GAIOLA DE FARADAY E O CARRO	11
3.1 A Gaiola de Faraday	11
3.2 Aplicações da Gaiola de Faraday	13
3.3 O carro como Gaiola de Faraday	15
4. EFEITOS DA ENERGIA ELÉTRICA SOBRE O CORPO HUMANO	17
4.1 Efeitos do choque elétrico	17
4.2 Influência da umidade da pele na resistência elétrica do corpo humano e o tempo de duração da corrente elétrica	20
4.3 Influência do percurso da corrente elétrica no corpo humano	22
4.4 Tensão de Passo e Tensão de Toque	23
4.4.1 Tensão de Toque	23
4.4.1 Tensão de Passo	25
5. PNEU SOB DIFERENÇA DE POTENCIAL	26
5.1 Procedimentos	26
5.2 Circuito equivalente simplificado do carro	38

5.2 Acidentes causados por carros sob potencial de 13,8 kV.....	39
6 INSTRUÇÕES E MEDIDAS A SEREM TOMADAS DIANTE DE UMA SITUAÇÃO DE CARRO ENERGIZADO	41
7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	46
7.1 Aspectos Gerais.	46
7.2 Perspectivas e trabalhos futuros.	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Total de acidentes de origem elétrica no ano 2017	5
Figura 3.2- Esboço da gaiola, realizado por Michael Faraday	12
Figura 3.3- Comportamento da esfera de um pêndulo dentro e fora da gaiola de Faraday	13
Figura 3.4- Representação da Gaiola de Faraday em um edifício	14
Figura 3.5- A roupa metálica impede que a pessoa da figura receba uma descarga elétrica	15
Figura 3.6- Representação de um carro como uma Gaiola de Faraday	15
Figura 4.1- Possíveis caminhos da corrente elétrica pelo corpo humano.	22
Figura 4.2- Representação da tensão de passo e da tensão de toque.	23
Figura 4.3- Exemplo de uma tensão de toque.....	24
Figura 4.4- Tensão de Passo.	25
Figura 5.1- Transformador cedido pela CEB e utilizado no ensaio citado.....	26
Figura 5.2- Pneu utilizado no ensaio.	27
Figura 5.3- Cortes realizados no pneu	27
Figura 5.4- Verificação do aterramento da gaiola metálica	28
Figura 5.5- Ponto de conexão da malha de aterramento	29
Figura 5.6- Circuitos de Força e de Comando do Experimento.....	30
Figura 5.7- Montagem dos circuitos.	32
Figura 5.8- Circuito no lado de alta tensão do transformador.....	33
Figura 5.9- Momento do rompimento do dielétrico.	34
Figura 5.10- Centelhas e fumaça do pneu durante a realização do ensaio	35
Figura 5.11- Posição do pneu entre as duas esferas.	36
Figura 5.12- Estado do pneu após a realização do ensaio.	36
Figura 5.13 Indícios de aço dentro do pneu.	37
Figura 5.14- Foto do acidente provocado por um cabo energizado em São Gonçalo	38
Figura 6.1- Representação da situação de carro energizado.....	41
Figura 6.2- Orientações a serem seguidas em uma situação de carro energizado. .	42

Figura 6.3- Alertar as pessoas próximas do acidente.	42
Figura 6.4- Momento do surgimento de chamas e fumaças no carro.	43
Figura 6.5- Orientações a serem seguidas caso o carro comece a pegar fogo	44
Figura 6.6- Quanto maior a distância, menor é o risco de uma tensão de passo.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.2- Total geral de acidentes de origem elétrica de 2013-2017	4
Gráfico 2.3- Mortes por choque elétrico por região do Brasil 2013-2017	6
Gráfico 2.4- Mortes por choque elétrico por localidade do Brasil 2013-2017	7
Gráfico 2.5- Acidentes de origem elétrica por gênero no ano de 2016	9
Gráfico 2.6- Total de mortes por faixa etária em 5 anos – 2013 a 2017.....	10
Gráfico 4.1- Chance de recuperação da vítima após uma parada respiratória	18
Gráfico 4.2- Zonas e faixas definidas pela IEC 60479.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Efeitos do choque elétrico em pessoas adultas e saudáveis	19
Tabela 4.2- Classificação da condição da pele do corpo humano	20
Tabela 4.3- Porcentagem da Corrente que passa pelo coração.	22

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRACOPEL: Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CEB: Companhia Energética de Brasília

IEC: Internacional Electrotechnical Commission

MTE: Ministério do Trabalho e Emprego

PROCOBRE: Instituto Brasileiro do Cobre

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Diferentemente de alguns outros segmentos, o segmento que envolve eletricidade requer um cuidado especial, pois os perigos não atingem apenas os profissionais que lidam com a energia elétrica, mas quaisquer pessoas que tenham contato com equipamentos elétricos.

Nos trabalhos diretos com eletricidade e nos demais setores da vida moderna, os riscos de acidentes podem ocorrer porque os sentidos humanos não percebem a presença de eletricidade, na maioria dos casos, até o momento da aproximação ou exposição por contato. [1]

Ao longo da história, muitas ações foram propostas e desenvolvidas técnicas e medidas de segurança para o manuseio com eletricidade dentro de parâmetros e regras, a fim de se criar premissas e rotinas como modelos e padrões. Ainda assim, tais ações não são suficientes para evitar que pessoas sejam gravemente feridas por todo o mundo, seja pelo desconhecimento básico ou por falta de informação; seja pela omissão ou não compromisso de todos os envolvidos na imensa cadeia elétrica e energética brasileira [2].

Com essa suposta inseparabilidade da eletricidade com as atividades cotidianas, há riscos de acidentes graves com eletricidade até mesmo dentro de um carro.

Ressalta-se a importância da classificação dos níveis de tensão. No Brasil, conforme a NBR 14039/2005, tem-se a seguinte divisão dos níveis de tensão:

- Baixa tensão: $U \leq 1 \text{ kV}$
- Média tensão: $1 \text{ kV} < U < 36,2 \text{ kV}$
- Alta tensão: $U \geq 36,2 \text{ kV}$

1.2 Objetivos

O principal objetivo do trabalho é realizar análise do risco sob um carro que se encontra sob alto potencial elétrico da ordem de alguns kV, buscando conscientizar e orientar a população

sobre os riscos e perigos presentes nessa situação. Além disso, proceder um ensaio com pneu de veículo popular, visando verificar o seu comportamento diante de um potencial de média tensão e alteração de suas características isolantes.

1.3 Estruturação do trabalho

A monografia está composta por 7 capítulos, detalhados a seguir.

O primeiro capítulo consiste na introdução do trabalho. Nesse tópico é apresentado os principais objetivos da monografia, as motivações que determinaram a escolha do tema e como o trabalho foi estruturado.

No segundo capítulo, aborda-se acidentes elétricos no Brasil, apresentando gráficos e estatísticas de diversos tipos, tais como quantidade de acidentes elétricos registrados por ano, acidentes por curto-circuito, descargas atmosféricas, acidentes por gênero, dentre outros.

No terceiro capítulo é realizado um estudo sobre a Gaiola de Faraday. A análise começa por meio de uma abordagem dos estudos de Michael Faraday e, posteriormente, um estudo mais detalhado sobre a Gaiola de Faraday e suas aplicabilidades.

O capítulo 4 apresenta uma análise da resistividade do ser humano. Basicamente um estudo da máxima tensão de passo suportada e os danos e lesões que uma determinada corrente pode provocar no corpo de uma pessoa.

No capítulo 5, apresentam-se os resultados encontrados no ensaio realizado, que analisou o comportamento de um pneu de um carro sob alto potencial.

O capítulo 6 contém orientações e instruções do que deve ser feito diante de uma situação de carro energizado, bem como as medidas que devem ser tomadas para evitar lesões ou até mesmo a morte dos envolvidos.

Por fim, nas conclusões, é feito um levantamento de todo o trabalho, análises realizadas e principais conclusões sobre o assunto e perspectivas de trabalhos futuros.

2. ACIDENTES EM ATIVIDADE, ENVOLVENDO ELETRICIDADE NO BRASIL

Dados estatísticos que apresentam a quantidade de acidentes de origem elétrica no Brasil são divulgados todos os anos. Com o objetivo da conscientização da população brasileira, mostrando os riscos e perigos associados a energia elétrica e o que ela pode causar .

A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos de Eletricidade – ABRACOPEL se destaca no Brasil como um instituto de confiabilidade e credibilidade no quesito de dados estatísticos. [2]

Dessa maneira, a presente seção apresenta dados estatísticos relacionados a acidentes de origem elétrica de diversas naturezas e por fim são apresentados alguns registros de acidentes elétricos provocados por carros sob alto potencial.

2.1 Dados Estatísticos de Acidentes Elétricos

De acordo com o Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica da ABRACOPEL, o número de acidentes elétricos no Brasil aumenta a cada ano. Somente no ano de 2017 foram registrados 1387 acidentes de origem elétrica, um aumento de cerca de 5,1% ao ano anterior. Sendo que uma grande parte de acidentes elétricos não são registrados pela população. Dessa maneira, acredita-se que o número de acidentes elétricos pelo Brasil é bem maior. Observa-se também que o número de acidentes elétricos é bem maior entre os homens. No ano de 2016, foram registrados 766 acidentes entre homens e um total de 150 entre mulheres. Os gráficos seguintes, apresentam diversos dados estatísticos relacionados a acidentes de origem elétrica no Brasil.

2.1.1 Estatísticas de acidentes de origem elétrica por ano

O Gráfico 2.1 seguinte, representa a quantidade de acidentes de origem elétrica registrados nos últimos anos. Dentre os acidentes, englobam-se casos de incêndio por curto-circuito, descargas atmosféricas, choques elétricos. [2]

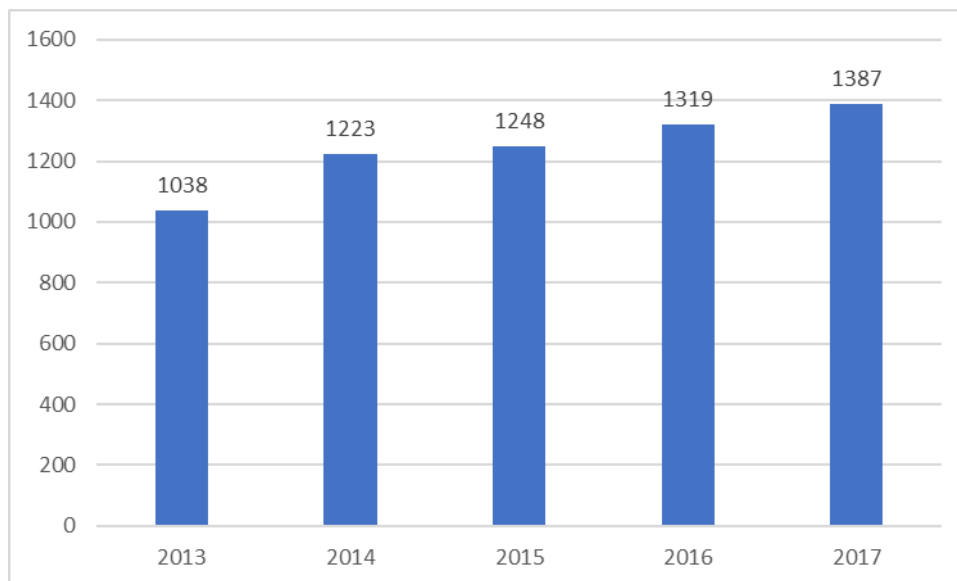


Gráfico 2.1- Total geral de acidentes de origem elétrica de 2013-2017 [2]

De acordo com os dados apresentados, constata-se um aumento a cada ano no número de acidentes que envolvem eletricidade no Brasil. No período analisado de 2013 a 2017, observa-se um aumento de 33,6%, passando de 1038 para 1387 casos anuais.

Segundo a Abracopel, o número de acidentes com eletricidade pode ser até 5 vezes maiores do que os representados no Gráfico 2.1. A Associação enfatiza a dificuldade em se contabilizar com precisão os casos reais de acidentes elétricos no Brasil. Porém, apenas os dados registrados e noticiados já representam uma quantidade bem expressiva e assustadora, principalmente nos últimos anos.

A Figura 2.2 seguinte representa a quantidade de acidentes de origem elétrica no ano 2017 segmentada por choque elétrico, incêndios gerados por curtos-circuitos e por descargas atmosféricas.

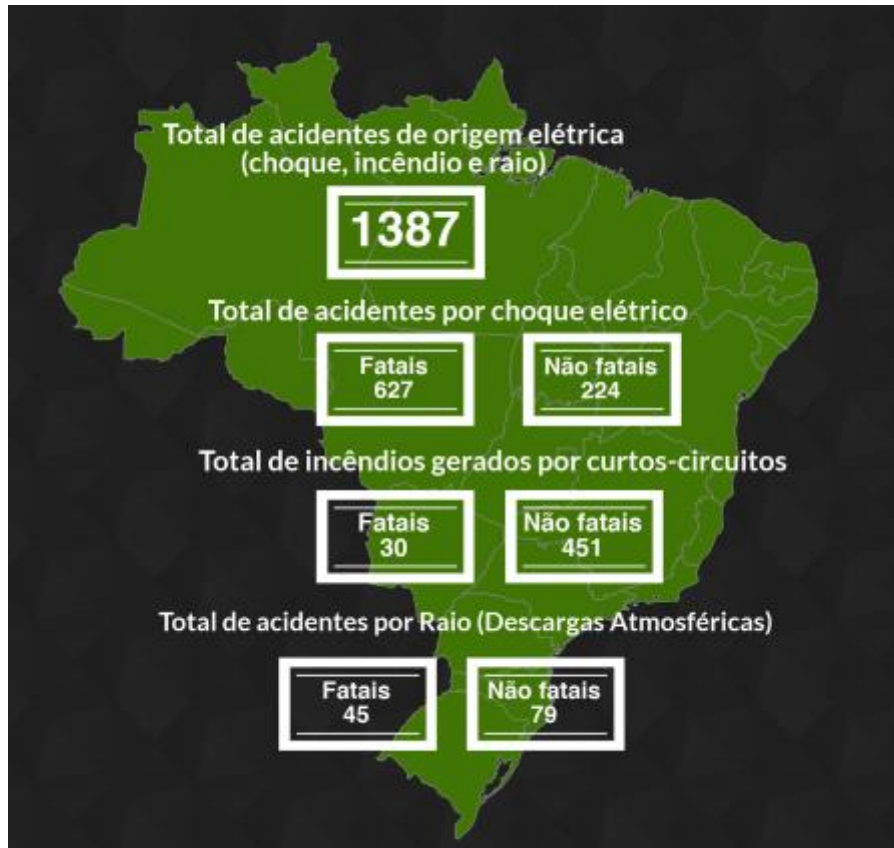


Figura 2.2- Total de acidentes de origem elétrica no ano 2017 [2]

Segundo a Abracopel, cerca de 3,8 acidentes de origem elétrica foram noticiados por dia no ano de 2017 no Brasil. Dentre os acidentes, um total de 851 casos foram por choque elétrico, representado 61.3% da quantidade total. Desse total de acidentes oriundos de choques elétricos, 627 foram seguidos de morte, ou seja, 73.6% dos choques foram fatais.

O estudo apresenta também a quantidade de incêndios gerados por curtos-circuitos, que representou cerca de 34,6% da quantidade total de acidentes no ano de 2017. Porém, nesse segmento, a quantidade fatais foi bem menor que a de não fatais, cerca de 30 pessoas morreram nos casos registrados, representando aproximadamente 6,2% dos 481 envolvidos nos acidentes provocados por curtos-circuitos. Grande parte desses curtos-circuitos são ocasionados por instalações elétricas antigas, uma grande quantidade de equipamentos conectados em uma mesma tomada por meio de extensões e gambiarras.

Por fim, a Associação apresentou o total de acidentes por raio (descargas atmosféricas), que no presente caso representou cerca de 8,9% da quantidade total de acidentes no ano de 2017. Sendo que desse total, 45 casos foram seguidos de morte e 79 não foram fatais.

2.1.2 Estatísticas de acidentes seguidos de morte provocados por choque elétrico por localidade e local.

O Gráfico 2.3 seguinte, divulgado pela Abracopel, faz um comparativo entre a quantidade de acidentes seguidos de morte por choque elétrico das principais regiões do Brasil desde o ano de 2013 até 2017.



Gráfico 2.3 - Mortes por choque elétrico por região do Brasil 2013-2017 [2]

De acordo com o estudo, nos últimos 5 anos, o Nordeste foi a região com o maior número de acidentes, mesmo não sendo a região com a maior população. A Abracopel afirma que o desconhecimento dos riscos que a eletricidade oferece é um dos grandes fatores para estes números, mas podemos afirmar que o descaso com a eletricidade se configura como o maior vilão. Como a fiscalização é pequena e a renda também, acabam por não contratar profissionais qualificados para a realização de uma instalação elétrica, o que acarreta em instalação de baixa qualidade e inseguras, resultando em riscos potenciais de acidentes . [2]

O Sudeste consistiu na segunda região com a maior quantidade de mortes por choque elétrico do Brasil. É importante ressaltar que nessa região se encontra a maior população do

Brasil, justificando a grande quantidade de casos envolvendo energia elétrica. Em contra partida, a região Norte representou a região com a menor quantidade de mortes, a Associação afirma que esse número inferior comparado as outras regiões é dado pela baixa densidade demográfica da região.

Esses dados reforçam a necessidade de se seguir as normas de segurança da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as normas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

O Gráfico 2.4 a seguir apresenta a quantidade de mortes por choque elétrico por localidade no Brasil no período de 2013 a 2017.

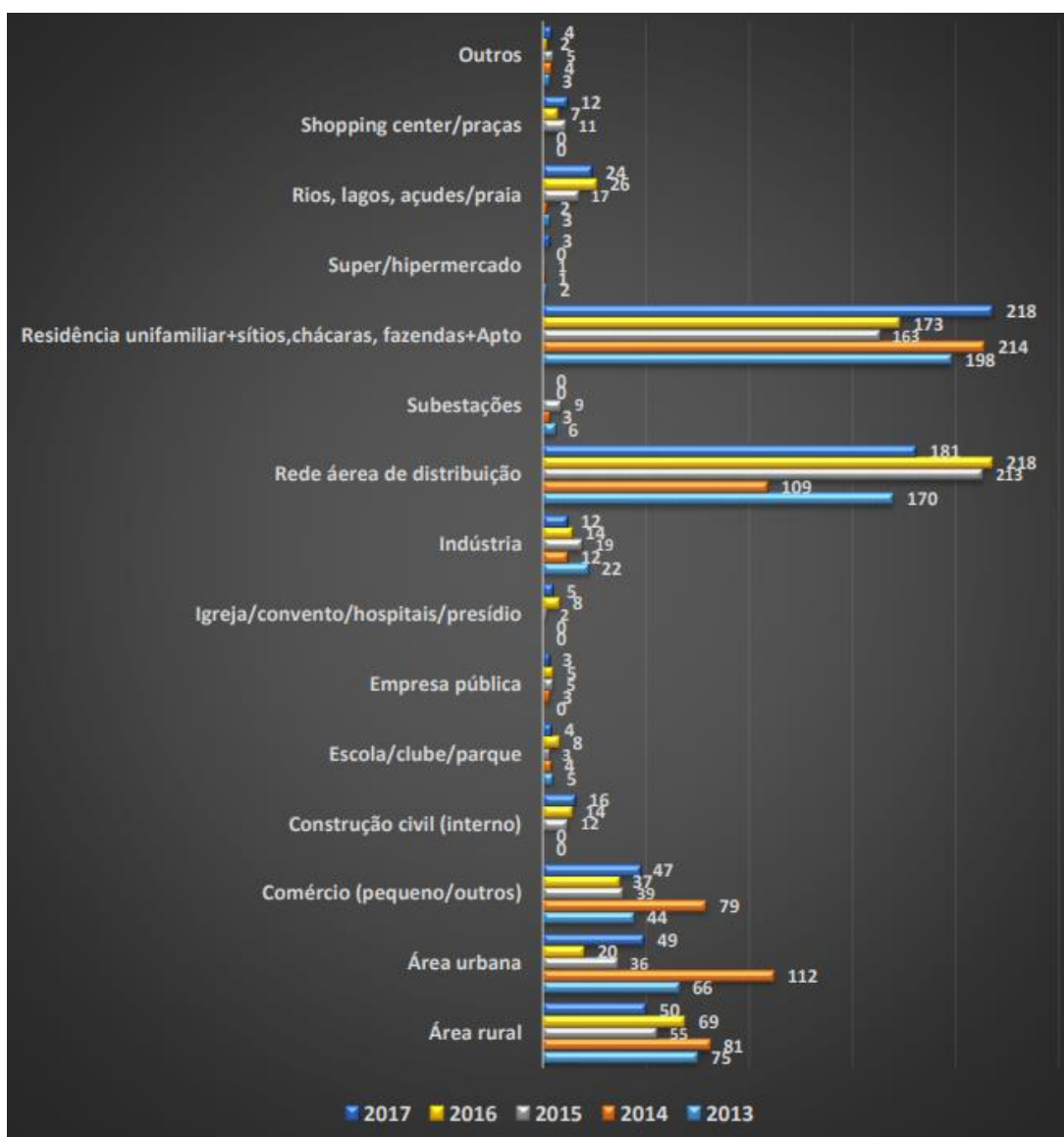


Gráfico 2.4 - Mortes por choque elétrico por localidade do Brasil 2013-2017 [2]

Os dados do Gráfico 2.4 mostram um aumento no número de acidentes provocados por choque elétrico em ambientes residências no Brasil nos últimos anos. A área residencial é o local que mais somou mortes nos últimos dois anos. Segundo a Abracopel, esses locais necessitam de mais ações de conscientização, uma vez que as distribuidoras de energia não medem esforços para tentar reduzir os acidentes em suas áreas de concessão, porém, em ambientes residências praticamente não existem campanhas ou projetos que visam a redução desses acidentes. O Instituto Brasileiro de Cobre (Procobre) realizou uma pesquisa em 2016 que avaliou as condições das instalações elétricas residenciais. De acordo com o estudo, apenas 29% das residências brasileiras têm projeto elétrico e 52 % não têm fio terra. Já o padrão da tomada de três polos, adotado obrigatoriamente a partir de 2011, está presente em somente 35% dos domicílios. O modelo leva em consideração a legislação de 2006 que exige que as construções tenham sistema de aterramento [3]. Segundo o Procobre, o cenário é bastante preocupante e mostra a necessidade de readequação das instalações elétricas, principalmente dos imóveis com idade média de 20 anos de construção [4].

A rede área de distribuição, de acordo com o Gráfico 2.4, consisti na segunda localidade com o maior índice de mortes provocados por choque elétrico. A Abracopel acredita que esse alto número de casos é dado por conta da maior proximidade das pessoas a rede de distribuição, pois em grande parte das cidades brasileiras, a rede de distribuição é o último ponto de acesso das concessionárias de energia antes de entrarem no ambiente residencial.

2.1.3 Estatísticas de acidentes de origem elétrica por gênero e por faixa etária

O Gráfico 2.5 a seguir, divulgado pela Abracopel, faz um comparativo da quantidade de acidentes de origem elétrica entre gêneros. Essa pesquisa evidencia que o número de acidentes entre homens é muito maior que entre mulheres.

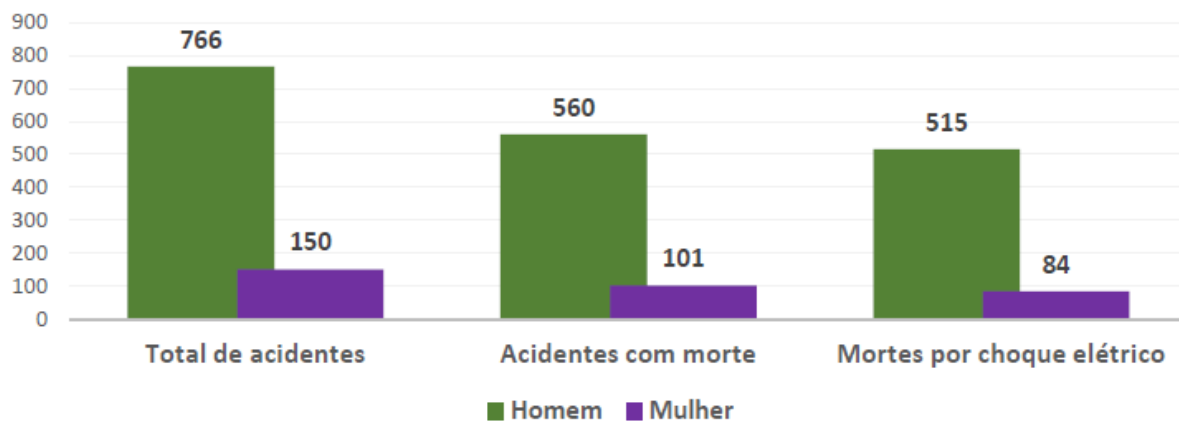


Gráfico 2.5 - Acidentes de origem elétrica por gênero no ano de 2016 [5]

De acordo com um estudo realizado em 2016 pela Abracopel, 80% dos acidentes provocados por energia elétrica acontecem entre homens, todo o restante, ou seja, cerca de 20% com mulheres. Desse total de casos, 72% dos acidentes resultaram em morte, sendo que desses casos fatais, 90% são oriundos de choque elétrico. De forma geral, os homens têm mais contato com a energia elétrica do que as mulheres, justificando esse elevado índice de acidentes entre pessoas do sexo masculino.

O Gráfico 2.6 a seguir, apresenta a quantidade total de mortes provocadas por energia elétrica por faixa etária de 2013 a 2017. O elevado número de acidentes revela uma realidade preocupante no Brasil e evidencia a importância da conscientização da população sobre os riscos da eletricidade.

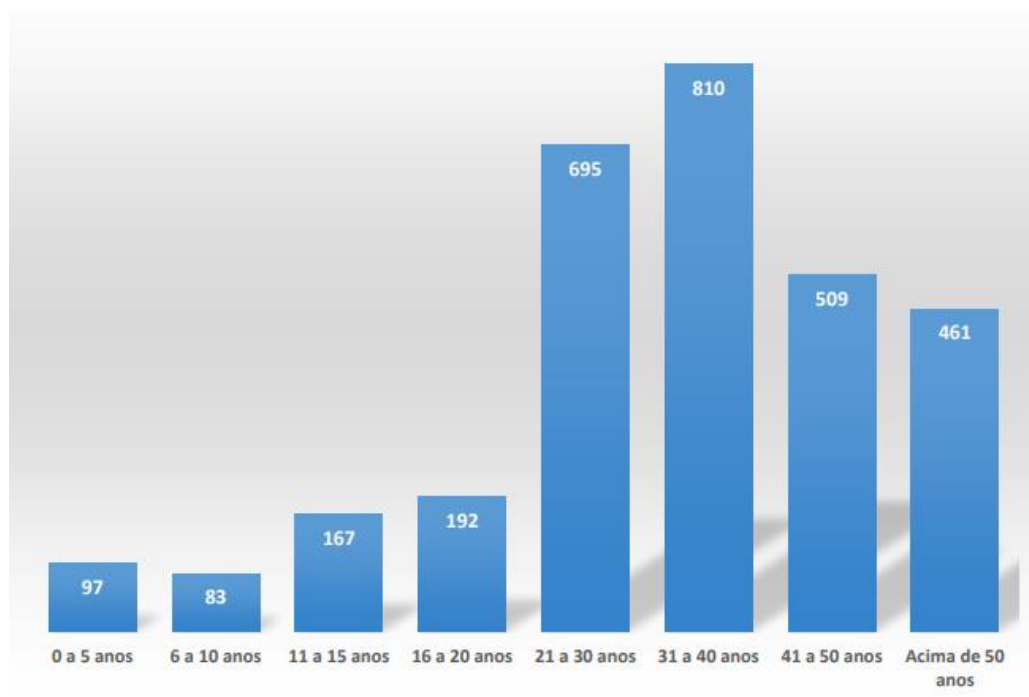


Gráfico 2.6- Total de mortes por faixa etária em 5 anos – 2013 a 2017 [2]

Segundo o estudo realizado pela Abracopel, de 2013 a 2017, foram registrados mais de três mil acidentes fatais de origem elétrica no Brasil. Mais de 50% dos casos aconteceram entre jovens de 21 a 40 anos. A Associação afirma que a falta de informação e o desconhecimento dos riscos faz com que estes jovens se arrisquem e acabem sofrendo algum tipo de acidente.

Só entre crianças e adolescentes de até 15 anos, foram constatados 347 acidentes fatais. O lar, muitas vezes tido como o ambiente mais seguro para as crianças, é também o local onde as mesmas estão vulneráveis a diversos tipos de acidentes, inclusive aqueles envolvendo a eletricidade. Em muitos casos, é em casa que as crianças têm contato com tomadas, fios eletrodomésticos, causadores de choques elétricos que podem ir de leves a graves. Um risco que sempre existiu, mas agora acende o alerta do país por conta do aumento do registro de óbitos infantis. [6]

3. A GAIOLA DE FARADAY E O CARRO

3.1 A Gaiola de Faraday

No ano de 1836, Michael Faraday, cientista inglês, realizou um determinado experimento com a intenção de verificar se a cavidade interior de uma esfera metálica, carregada com carga elétrica em toda a sua extensão, estaria verdadeiramente livre de influências elétricas em seu interior. No laboratório, Faraday aplicou carga de uma máquina eletrostática em esferas metálicas. Cada uma dessas esferas foi montada em um suporte isolante, para evitar vazamento de carga.

Usando um sensível detector de carga, Faraday introduziu várias hastes de arame através de alguns orifícios, posicionados de forma estratégica, onde era possível mexer, ora na superfície, ora no interior. Por meio dessa abertura, ele realizou testes, inserindo substâncias. [7]

O que ficou evidente para Michael Faraday é que o detector nada acusou na superfície interna. Ao examinar dentro da cavidade, também não detectou qualquer sinal de efeitos elétricos. E em cada caso, a esfera carregada em sua superfície, induziu uma carga oposta em objetos próximos. O físico concluiu, sem exceção, que a carga ficava exclusivamente na superfície externa de cada esfera.

Não se contentando em apenas sondar o interior de esferas metálicas, Faraday decidiu aumentar drasticamente a escala de seu experimento. Estava confiante de que seus resultados justificariam a construção de um experimento em grande escala, para mapear a distribuição da carga e, conseqüentemente, da eletricidade. A Gaiola de Faraday, como ficou conhecido o experimento, tomou a forma de um cubo de madeira grande, envolto em fios de cobre e estanho trançados, para fazer da superfície um condutor contínuo. [8]

A gaiola foi montada em suportes de vidro isolante, havia uma porta para que Faraday pudesse entrar, a fim de fazer as medidas necessárias, que lhe dessem a certeza de que não existia efeitos elétricos no interior do condutor carregado, mesmo quando submetido à uma alta tensão, na superfície do lado de fora. Primeiramente, ele precisava confirmar se o cubo fora construído adequadamente, pois se assim não fosse, as conseqüências de seu

experimento seriam desastrosas, podendo até mesmo serem fatais. Dessa maneira, Faraday colocou um detector de carga fora e outro dentro da gaiola, de modo tal, que poderia olhar por uma fenda, enquanto a superfície da gaiola era submetida à descargas elétricas de uma máquina eletrostática. Ele se preocupou em distribuir a rede metálica condutora de maneira uniforme, permitindo uma boa comunicação entre os condutores. Uma outra preocupação estava no fato dele ter certeza de que tudo estaria conectado, pois caso contrário, ocorreriam faíscas de descargas elétricas intensas, podendo causar incêndios.

Após a realização de medições e testes procedimentais, Faraday adentrou ele mesmo a gaiola, demonstrando que poderia ficar em seu interior em total segurança, mesmo o cubo sofrendo descargas de eletricidade. [7]

Com esse experimento, Faraday observou também que a carga elétrica era dependente do estado elétrico do operador, ou seja, se o operador não estivesse neutro, a carga que ele possui influenciaria na observação experimental. Essa experiência, foi extremamente importante na busca pelo entendimento da estrutura da matéria.

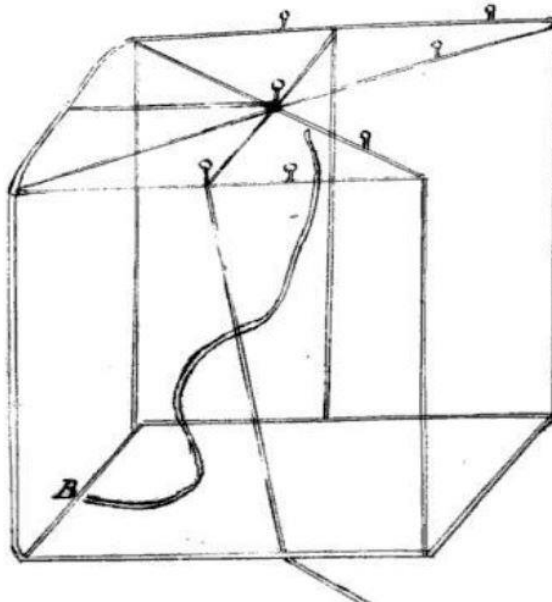


Figura 3.1- Esboço da gaiola, realizado por Michael Faraday [9]

Dessa maneira, conclui-se que quando uma casca esférica metálica é carregada, toda a carga fica concentrada na superfície externa, e o campo elétrico dentro da casca é nulo (isso não vale apenas para a casca esférica, mas a toda superfície condutora oca). Se houver uma carga externa próxima, a carga na casca se distribuirá de modo desigual, mas o campo interno continuará nulo. Se a carga for neutra, uma carga oposta deve se acumular na superfície interna, mas ainda assim o campo interno é nulo. A região interna é completamente livre de influências elétricas externas. Qualquer campo elétrico de origem externa produz uma distribuição de cargas na superfície externa da parede da gaiola que cancela o campo na parte interna.

A Figura 3.2 a seguir, representa um exemplo clássico da gaiola de Faraday, quando a esfera do pêndulo eletrostático se encontra no interior da gaiola, a mesma não sofre influências elétricas da esfera externa eletrizada. Ao retirar a gaiola, percebe-se uma interação entre as duas partes.

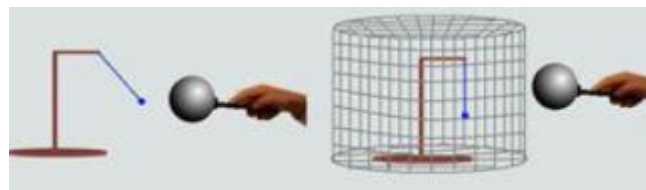


Figura 3.2- Comportamento da esfera de um pêndulo dentro e fora da gaiola de Faraday [10]

3.2 Aplicações da Gaiola de Faraday

A partir do experimento da gaiola realizado por Faraday, diversas aplicações práticas surgiram em virtude do entendimento das características das matérias, tais como:

- Os cabos utilizados para conectar instrumentos musicais elétricos nos amplificadores. Possuem blindagem que impede o ruído por interferência elétrica.
- A blindagem de cabos. O cabo coaxial utilizado para TV a cabo protege os condutores internos de interferências externas.

- O gabinete de um computador. É mais uma das consequências das aplicações do experimento da gaiola, impedindo que partes internas sofram interferências elétricas externas.
- A câmara de cozimento de um forno de micro-ondas. É uma Gaiola de Faraday feito para conter os sinais de RF (Rádio Frequência) do magnetron, aparelho que cozinha o alimento.
- Também serve para garantir a segurança de instalações perigosas, tais como locais de preparação de explosivos.
- Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. A edificação é coberta em todos os lados por um cabo condutor de eletricidade aterrado em vários pontos desta edificação, dessa maneira, é criado uma proteção contra raios para todas as pessoas e objetos que se encontram no interior da estrutura. [7]

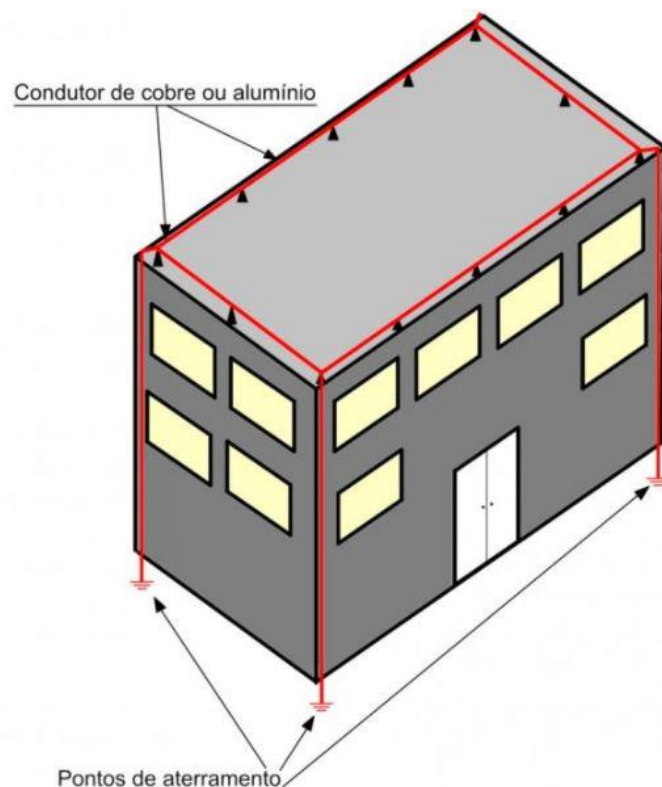


Figura 3.3 - Representação da Gaiola de Faraday em um edifício [11]

A Figura 3.4 a seguir, apresenta um experimento semelhante ao de Faraday, mas, no presente caso, a roupa metálica é que faz a blindagem eletrostática e impede que a pessoa receba uma descarga elétrica.



Figura 3.4- A roupa metálica impede que a pessoa da figura receba uma descarga elétrica [12]

3.3 O carro como Gaiola de Faraday

Um outro bom exemplo são os carros. Um automóvel não é considerado uma Gaiola de Faraday ideal, porque existem partes não-metálicas, partes metálicas conectadas ao interior, cabos, fios. De qualquer forma, o princípio ainda funciona e a carga elétrica percorre o exterior do veículo, o carro é considerado uma gaiola metálica oca, mantendo a energia em sua carcaça, isolando quem estiver dentro do veículo, sendo que no interior não haverá corrente elétrica. No capítulo 6, serão abordadas algumas recomendações e orientações do que deve ser feito diante de uma situação de um carro que se encontra em contato com cabo energizado .

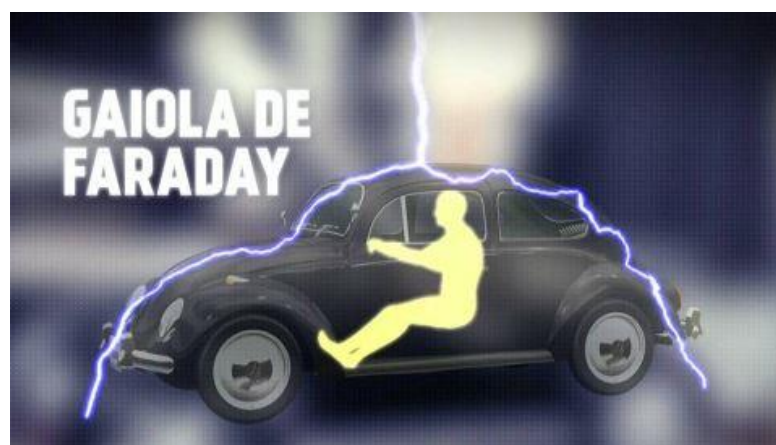


Figura 3.5- Representação de um carro como uma Gaiola de Faraday [12]

Mesmo considerando o carro como uma Gaiola de Faraday, quando sob potencial de alguns quilovolts (kV), os pneus, inicialmente isolantes, sofrem redução do poder dielétrico. A quebra da capacidade dielétrica está relacionada com o aumento do campo elétrico. É importante ressaltar, que o campo elétrico é um tipo de força em que as cargas elétricas geram ao seu redor, trata-se de uma grandeza vetorial, em que as cargas elétricas que se aproximam estão sujeitas às forças de interação: seja de atração ou de repulsão. [13]

Diante dos exemplos apresentados, conclui-se que são inúmeras as aplicações e as implicações da Gaiola de Faraday, estando muito presente e possuindo muita relevância na vida dos seres humanos.

4. EFEITOS DA ENERGIA ELÉTRICA SOBRE O CORPO HUMANO

4.1 Efeitos do choque elétrico

Choque elétrico é a perturbação, de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano (ou de animais) quando este é percorrido por uma corrente elétrica [14].

Teoricamente, os choques elétricos podem ocorrer de duas formas distintas [15]:

- i. Contato Direto: quando existe um contato acidental entre a pessoa e um condutor que apresenta isolamento danificado. Ocorre por exemplo quando o indivíduo toca em um fio desencapado ou introduz objeto metálico em tomadas energizadas.
- ii. Contato Indireto: quando o indivíduo toca uma superfície não comumente eletrizada mas que passou a tornar-se condutora devido a falha no isolamento ou contato de elemento energizado com a carcaça do equipamento. Por exemplo, uma geladeira com falha no isolamento de seus condutores apresenta corrente em sua parte metálica.

Os acidentes por choque elétrico por meio de contato indireto são considerados menos graves que os de contato direto, pois possuem correntes de menor intensidade, visto que são provenientes da concentração de cargas estáticas existentes em carcaças de equipamentos condutores.

É importante ressaltar também que parte dos acidentes por choques elétricos acontecem por imprudência das pessoas, sendo que boa parte deles poderiam ter sido evitados caso fossem seguidas as normas técnicas adequadas de proteção.

Os efeitos da perturbação produzida pelo choque elétrico variam e dependem de determinadas circunstâncias, tais como o percurso da corrente no corpo humano, a intensidade, o tempo de duração e a frequência da corrente elétrica, as condições orgânicas do indivíduo.

O choque elétrico nas pessoas ou nos animais pode causar sequelas irreversíveis ou até mesmo a morte. As principais perturbações causadas pela passagem de corrente elétrica, são: [16]

- Inibição dos centros nervosos, inclusive dos que comandam a respiração, causando assim a parada respiratória;
- Alteração no ritmo cardíaco podendo produzir fibrilação ventricular e consequentemente a parada cardíaca;
- Queimaduras profundas, produzindo necrose do tecido, ossos, músculos;
- Alteração do sangue provocada por efeitos térmicos eletrolíticos da corrente elétrica;
- Perturbação no sistema nervoso;
- Queimaduras superficiais com sequelas em vários órgãos do corpo humano produzindo deficiências futuras como problemas renais e mentais;
- Contrações musculares ou tetanização dos músculos;
- Retenção sanguínea.

O Gráfico 4.1 abaixo apresenta a probabilidade de recuperação da vítima de choque elétrico após uma parada respiratória. Percebe-se que é necessário uma ação rápida, pois após 9 minutos de parada respiratória, não existem chances de recuperação da vítima.

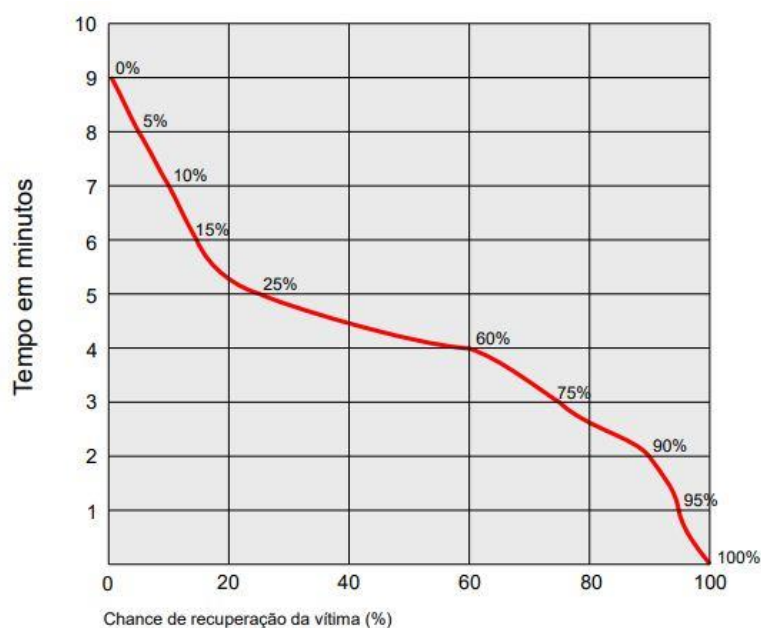


Gráfico 4.1 - Chance de recuperação da vítima após uma parada respiratória [17]

As sensações produzidas nas vítimas de choque elétrico variam desde uma ligeira contração superficial, até uma contração violenta dos músculos. Quando essa contração atinge o músculo cardíaco, pode paralisá-lo. A partir de uma corrente elétrica de 1 mA, as pessoas já sentem os efeitos do choque elétrico, esse valor é chamado de Limiar de Sensação. A Tabela 4.1 abaixo, apresenta os efeitos do choque elétrico em seres humanos:

Intensidade (mA)	Perturbações prováveis	Estado após o choque	Salvamento	Resultado Final
1	Nenhuma	Normal	-----	Normal
1 – 9	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contrações musculares.	Normal	Desnecessário	Normal
9 – 20	Sensação dolorosa, contrações violentas, perturbações circulatórias,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 – 100	Sensação insuportável, contrações violentas, asfixia, perturbações circulatórias graves inclusive fibrilação ventricular,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte
> 100	Asfixia imediata, fibrilação ventricular.	Morte aparente	Muito difícil	Morte
Vários Ampéres	Asfixia imediata e queimaduras graves	Morte aparente ou imediata	Praticamente impossível	Morte

Tabela 4.1- Efeitos do choque elétrico em pessoas adultas e saudáveis [18]

4.2 Influência da umidade da pele na resistência elétrica do corpo humano e o tempo de duração da corrente elétrica

O efeito do choque elétrico depende também da resistência elétrica do corpo humano. Essa resistência varia de acordo com a umidade da pele do corpo. Por exemplo, uma pele molhada resultará em uma resistência elétrica menor que a de uma pele seca. A Tabela 4.2 da Norma NBR 5410/2008 apresenta as condições que modificam a resistência do corpo humano.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO CORPO HUMANO		
Classificação	Características	Aplicações e Exemplos
Elevada	Condições secas	Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, inclusive o suor).
Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente elétrica de uma mão à outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida (suor) e a superfície de contato sendo significativa (por exemplo, um elemento está seguro dentro da mão).
Fraca	Condições molhadas	Passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés.
Muito Fraca	Condições imersas	Pessoas imersas na água, por exemplo, em banheiras e piscinas.

Tabela 4.2- Classificação da condição da pele do corpo humano [19]

De acordo com a Tabela 4.2, conclui-se que a umidade da pele afeta diretamente a resistência elétrica do corpo humano. A NBR 5410 faz uma classificação da condição da pele, e a partir dessa definição, observa-se que o aumento da umidade da pele, gera uma redução da resistência elétrica do corpo. Dessa maneira, peles molhadas ou úmidas estão mais propícias ao choque elétrico.

É importante enfatizar, também, que além do valor da corrente elétrica e da resistência elétrica do corpo humano, os efeitos do choque elétrico nas pessoas e animais, dependem do tempo de duração da corrente elétrica. A Internacional Electrotechnical Commission – IEC realizou um estudo que estabeleceu zonas e faixas de corrente em miliampères (mA), que podem ser prejudiciais ao ser humano, levando em conta a intensidade de corrente (mA) e o período de exposição (em segundos). A norma IEC 60479 que resulta deste estudo, define quatro zonas de efeitos do choque elétrico para corrente alternada em um trajeto entre a mão esquerda aos pés. O Gráfico 4.2 a seguir, apresenta essas quatro zonas em função do Tempo x Corrente:

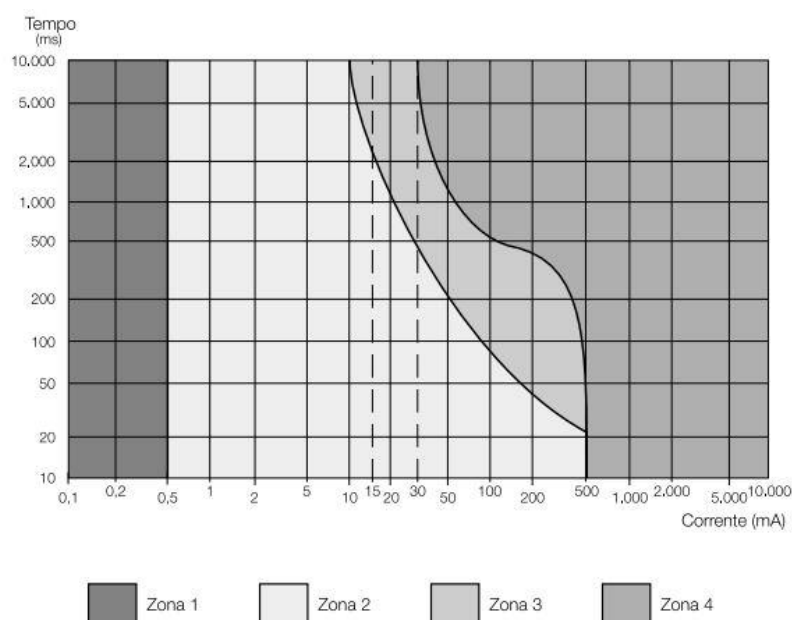


Gráfico 4.2- Zonas e faixas definidas pela IEC 60479. [20]

- Zona 1: Nenhum efeito perceptível.
- Zona 2: Efeitos fisiológicos geralmente não-danosos
- Zona 3: Efeitos fisiológicos notáveis (parada cardíaca, parada respiratória, contrações musculares) geralmente reversíveis
- Zona 4: Elevada probabilidade de efeitos fisiológicos graves e irreversíveis (Fibrilação cardíaca, queimadura)

4.3 Influência do percurso da corrente elétrica no corpo humano

O corpo humano é um condutor de eletricidade e a sua resistência varia de pessoa para pessoa e ainda depende do percurso da corrente. A corrente elétrica no corpo humano sofrerá variações conforme for o trajeto percorrido e com isso provocará efeitos diferentes no organismo, quando percorridos por corrente elétrica, os órgãos vitais do corpo podem sofrer agravamento e até causar sua parada levando a pessoa a morte. Na Figura 4.1 abaixo, são apresentados alguns possíveis caminhos da corrente elétrica pelo corpo humano, sempre considerando a passagem pelo coração.

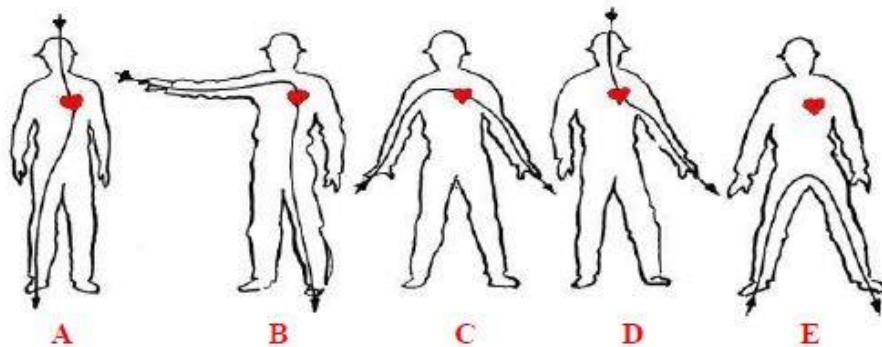


Figura 4.1- Possíveis caminhos da corrente elétrica pelo corpo humano. [21]

Trajeto	Porcentagem da Corrente no Coração
Da cabeça para o pé direito (A)	9,7%
Da mão direita para o pé esquerdo (B)	7,9%
Da mão direita para a mão esquerda (C)	1,8%
Da cabeça para a mão esquerda (D)	1,8%
Entre os pés (E)	0%

Tabela 4.3 - Porcentagem da Corrente que passa pelo coração. [21]

Vale ressaltar, que os choques elétricos mais danosos são os que tem a corrente elétrica atravessando caminhos do corpo humano que percorrem o coração. Alguns miliamperes de corrente elétrica percorrendo o coração ou o cérebro já são suficientes para causar a morte.

4.4 Tensão de Passo e Tensão de Toque

Quando correntes elétricas entram no sistema de aterramento e se dispersam no solo, diferenças de potenciais são criadas. Essas tensões podem provocar choques elétricos quando aplicadas ao seres humanos. Nessas circunstâncias, é extremamente importante o entendimento de tensão de passo e tensão de toque.

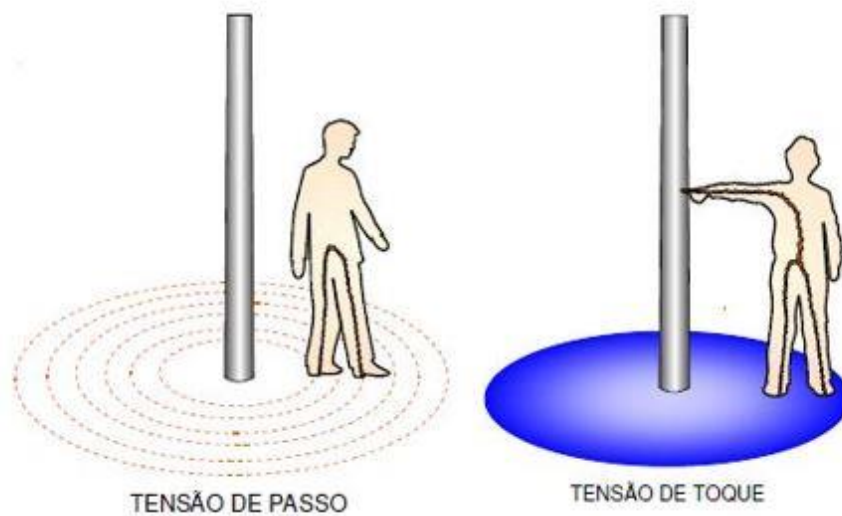


Figura 4.2- Representação da tensão de passo e da tensão de toque. [22]

4.4.1 Tensão de Toque

A tensão de toque é classificada como a tensão elétrica entre uma estrutura metálica e algum ponto da superfície do solo separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance do braço de um ser humano, considera-se uma distância igual a 1 m por definição. Ou seja, a diferença de potencial existente entre os membros inferiores e superiores de um indivíduo. Por exemplo, se ocorrer uma falha em uma linha de transmissão e um cabo energizado se romper e entrar em contato com uma parte metálica, haverá uma corrente de curto-circuito passando pela torre. Essa corrente gerará diferentes potenciais no solo desde a base da estrutura metálica até uma certa distância. A Figura 4.3 seguinte, apresenta a situação exemplificada.

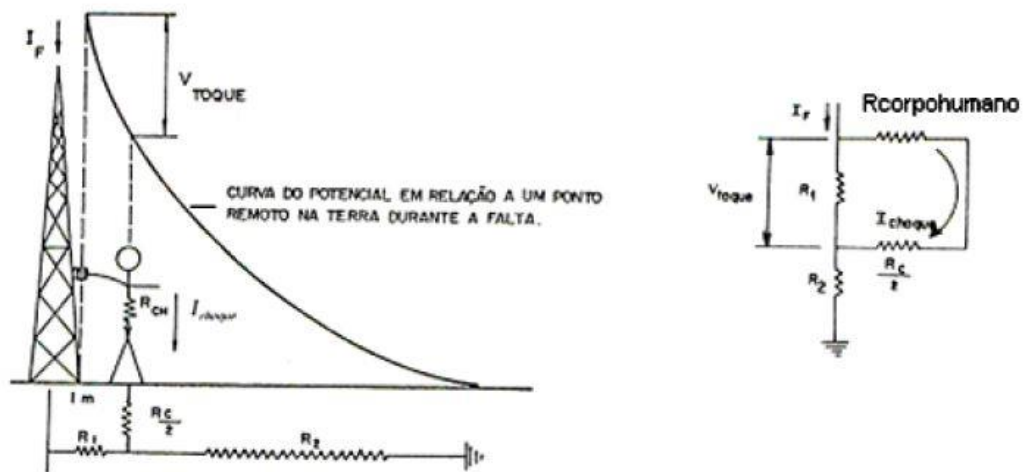


Figura 4.3- Exemplo de uma tensão de toque. [23]

Se algum ser humano encostar na base da estrutura metálica no momento do curto-circuito, formará um caminho fechado entre a torre e o solo e a corrente elétrica passará pelo corpo da pessoa, isto é, entre a mão e o pé do ser humano, haverá uma diferença de potencial comumente conhecida como tensão de toque.

Na Figura 4.3, a resistência representada por R_1 consiste na resistência da terra que vai da base da estrutura metálica até um metro de distância. O trecho remanescente de terra é representado pela resistência R_2 . Cada um dos pés em contato com a terra terá uma resistência de contato simbolizada por $R_{contato}$.

Dessa maneira, é possível determinar a tensão de toque através da seguinte equação:

$$V_{toque} = \left(R_{corpohumano} + \frac{R_{contato}}{2} \right) \cdot I_{toque} \quad (I)$$

De acordo com uma orientação da IEEE-80, $R_{contato} = 3\rho_s$, sendo que ρ_s refere-se a resistividade superficial do solo. Dessa forma, substituindo a consideração de $R_{contato}$ na equação de V_{toque} acima, temos a seguinte expressão:

$$V_{toque} = \left(R_{corpohumano} + 1,5\rho_s \right) \cdot I_{toque} \quad (II)$$

4.4.1 Tensão de Passo

A tensão de passo é interpretada como a diferença de potencial em que um ser humano se encontra entre as duas pernas, no momento em que uma corrente elétrica esteja passando pela terra, ou seja, uma tensão de uma sistema de aterramento à qual uma pessoa pode ser exposta, quando seus pés estão separados pela distância equivalente a um passo. Salienta-se que a tensão de passo reduz à medida em que o indivíduo se afasta do ponto de aterramento. Dessa forma, a tensão de passo será máxima apenas quando um dos pés da pessoa estiver junto ao ponto de aterramento e o outro, afastado a uma distância de um passo dele.

De modo similar a expressão encontrada para a tensão de toque, é possível determinar a equação que relaciona às variáveis do sistema com a tensão de passo da seguinte forma:

$$V_{passo} = (R_{corpohumano} + 2 \cdot R_{contato}) \cdot I_{passo} \quad (III)$$

Considerando a orientação da IEEE-80 novamente, temos a seguinte expressão:

$$V_{passo} = (R_{corpohumano} + 6 \cdot \rho_s) \cdot I_{passo} \quad (IV)$$

Diante do que foi abordado, é importante enfatizar alguns pontos:

- i) A tensão de passo é considerada menos perigosa que a tensão de toque, pois a probabilidade de o coração estar no caminho da corrente é menor.
- ii) Superfícies equipotenciais são criadas no solo pelas tensões. Se uma pessoa estiver completamente dentro da mesma superfície, não ocorrerá uma diferença de potencial e por conseguinte, não haverá choque elétrico.
- iii) Dependendo da intensidade do choque elétrico, os músculos dos membros inferiores podem ser contraídos, fazendo com que a pessoa caia e encoste no chão com as mãos, formando um caminho fechado para a corrente. A Figura 4.4 seguinte, demonstra a situação citada.

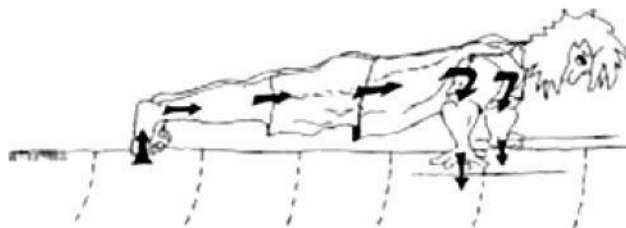


Figura 4.4- Tensão de Passo. [23]

5. PNEU SOB DIFERENÇA DE POTENCIAL

Quando um cabo energizado de uma Rede de Distribuição se rompe e cai sobre um carro, este se torna um objeto sob potencial. Os pneus são responsáveis por isolarem a parte metálica do carro do solo. Porém, foram constatados em alguns acidentes, que após um determinado tempo sob um alto potencial, os pneus perderam suas características isolantes e passaram a conduzir eletricidade até pegarem fogo.

5.1 Procedimentos

A partir da constatação, foram buscadas informações com alguns fabricantes de pneus a respeito desse assunto. As informações obtidas foram muito superficiais, sendo que alguns fabricantes não souberam responder ou disseram que por política interna da empresa não divulgam dados técnicos a terceiros.

Dessa maneira, por falta de informações, optou-se por realizar um ensaio que analisa o comportamento do pneu sob alto potencial no laboratório de Alta Tensão do Departamento de Engenharia Elétrica da UnB. Para a realização do ensaio, foi utilizado um transformador monofásico 10 kVA, classe 15 kV.



Figura 5.1- Transformador cedido pela CEB e utilizado no ensaio citado.

Para dar continuidade ao ensaio, foram feitos alguns cortes no pneu de modo a verificar e analisar o comportamento em diferentes posições. O pneu utilizado estava em boas condições e os cortes foram feitos com uma lixadeira em uma serralheira.



Figura 5.2- Pneu utilizado no ensaio.



Figura 5.3- Cortes realizados no pneu.

O ensaio foi realizado no laboratório de Alta Tensão do Departamento de Engenharia Elétrica. Esse laboratório estava desativado há muitos anos. Dessa maneira, antes da realização do experimento foi necessário fazer uma limpeza no local e uma verificação no funcionamento dos equipamentos existentes.

O laboratório é constituído por uma grande gaiola metálica e internamente são realizados os ensaios em uma tensão elevada. Essa estrutura funciona como uma Gaiola de Faraday. A princípio, a Gaiola é toda aterrada, entretanto, visando a segurança das pessoas e o correto funcionamento do ensaio, foram realizados alguns testes com a intenção de verificar se realmente toda a estrutura metálica estava aterrada. Para a realização dos testes de aterramento, foram utilizadas uma lâmpada de 100 W e um voltímetro para verificar a tensão sobre a lâmpada. Dessa maneira, conectou-se um pólo da lâmpada a uma fase na tomada e o outro pólo a um bastão de aterramento. A Figura 5.4 abaixo, apresenta a situação citada.

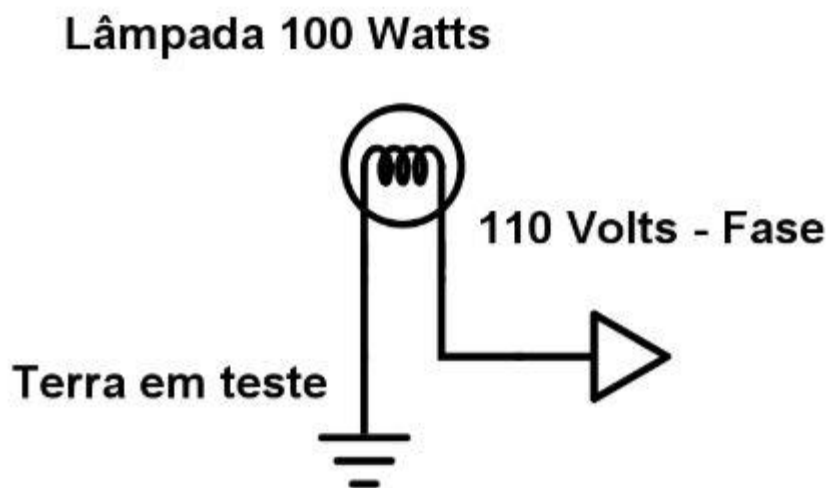


Figura 5.4 - Verificação do aterramento da gaiola metálica [24].

Se a estrutura metálica realmente estiver aterrada, ao encostar o bastão de aterramento na gaiola, a lâmpada deverá acender, quanto mais próximo do normal for o brilho da lâmpada, mais baixa é a resistência da terra. Dessa forma, foi utilizado o bastão para verificar todas as partes da gaiola metálica e constatou-se que todos os pontos da estrutura está devidamente aterrado, ou seja, as tensões medidas pelo voltímetro em diferentes pontos eram iguais. Essa prática é um bom artifício com o qual é possível verificar as condições gerais do aterramento. A Figura 5.5 seguinte, apresenta um determinado ponto de conexão da malha de aterramento da estrutura metálica existente no laboratório que foi realizado os ensaios .



Figura 5.5- Ponto de conexão da malha de aterramento.

Após a verificação do aterramento da gaiola metálica, os circuitos da figura 5.6 foram montados. Os circuitos foram divididos em circuito de força e em circuito de comando. O circuito de força é responsável pela conexão dos terminais do transformador a rede elétrica, ou seja, é responsável pela alimentação do transformador. Já o circuito de comando, como o próprio nome diz é responsável pelo comando do circuito de força, determinando quando o transformador será energizado. Essa divisão proporciona mais segurança, pois o acionamento é remoto e o usuário não tem um contato direto com o circuito de força.

No circuito de comando, ao pressionar o botão Liga, o circuito é fechado e a bobina do contator é energizada e, por conseguinte, o contato auxiliar normalmente aberto do contator é fechado, realizando o selo (retenção) do contator. Dessa maneira, ao soltar a botoeira Liga, a bobina permanece energizada. O sinalizador em paralelo com a bobina também é acionado, indicando a presença de corrente elétrica no circuito. No momento em que a bobina é energizada, os contatos principais do contator são acionados, em consequência, a rede elétrica é conectada ao transformador. Ao pressionar o botão Desliga, a bobina do contator é desenergizada, logo, os contatos retornam para a posição inicial e o transformador é desligado da rede elétrica. Para acionar o circuito de força novamente,

basta pressionar o botão Liga. A partir desse esquema, é possível acionar o circuito de força com segurança e sem interferências externas.

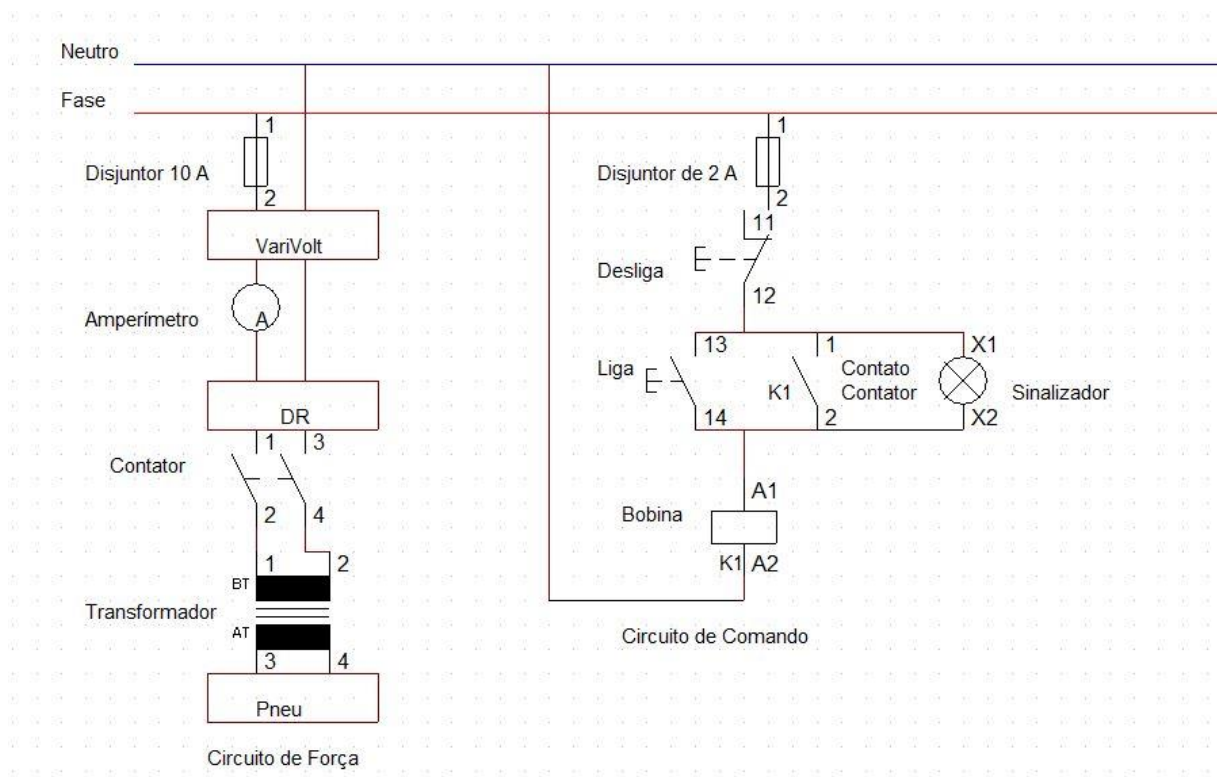


Figura 5.6- Circuitos de Força e de Comando do Experimento.

Em ambos os circuitos foram utilizados dispositivos de segurança, no circuito de comando foi utilizado um disjuntor de 2 A, pois os dispositivos presentes são simples e não demandam muita energia. Já no circuito de força, foram utilizados um disjuntor de 10 A e um disjuntor diferencial residual, comumente chamado de DR. Os disjuntores são dispositivos de segurança que protegem os circuitos contra sobrecargas e curtos-circuitos. Além de manter a isolação, garantindo uma vida útil dos condutores, o disjuntor proporciona um funcionamento adequado da instalação e dos equipamentos a ela conectados. Os disjuntores DR possuem uma outra função, esse dispositivo protege os usuários das instalações contra os efeitos do choque elétrico. Ao constatar uma fuga de corrente do circuito, o DR desliga o circuito imediatamente. Basicamente, o dispositivo compara a corrente de entrada com a corrente de saída do circuito, se a diferença entre elas for maior que o limite suportado pelo DR, o mesmo é acionado.

No circuito de força também foi utilizado um Varivolt que tem a função de regular a tensão fornecida pela rede. Essencialmente, o equipamento recebe em sua entrada a tensão fixa da

rede elétrica e fornece em sua saída, um valor de tensão ajustável. Esse ajuste da tensão de saída é feito girando-se manualmente o eixo que movimenta o cursor do Varivolt. Esse equipamento possibilitou o aumento gradual da tensão nos terminais do transformador.

No ensaio foi utilizado um transformador com as seguintes especificações:

- Transformador Monofásico de 10 kVA, classe 15 kV, 220 V, à óleo.

A principal função de um transformador é modificar os valores de tensão, no presente caso é necessário aumentar o nível de tensão. Um transformador possui um núcleo, feito de um material altamente magnetizável, e duas bobinas com uma quantidade diferente de espiras entre si, chamadas de primário e secundário. A bobina denominada de primário recebe a tensão da rede, ou seja, representa o lado de baixa tensão do transformador. Já a bobina chamada de secundário, representa o lado de alta tensão, pois fornece a tensão modificada. O seu funcionamento é fundado na criação de uma corrente induzida no secundário, a partir da variação do fluxo gerada pelo primário. [25]

A partir das tensões nominais do transformador, é possível determinar a relação de transformação pela seguinte fórmula, onde V_1 representa a tensão no primário, V_2 a tensão no secundário e a_t a relação de transformação:

$$\frac{V_2}{V_1} = a_t \quad (I)$$

Por meio dessa relação, é possível transferir ou refletir as tensões de um lado para o outro.

Nas redes de distribuição elétrica, a energia é transmitida em um nível de tensão de linha de aproximadamente 13,8 kV, uma tensão bem elevada para a maioria dos consumidores. Se essa energia fosse utilizada para alimentar as unidades consumidoras, os equipamentos elétricos seriam danificados, pois não foram projetados para suportar essa tensão. Dessa maneira, a energia passa por um transformador de energia e a tensão de linha é rebaixada para 380 V, de onde pode ser extraída a tensão de 220 V. Essa mudança garante que os equipamentos funcionem com segurança e eficiência.

No experimento, utilizou-se um transformador monofásico. A tensão máxima no lado de alta tensão é $\frac{13,8 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 7,967 \text{ kV}$. Com isso, é possível determinar a relação de

transformação para o presente caso. Considerando uma tensão máxima de 220 V no lado de baixa tensão, temos uma relação de transformação $a_t = \frac{7967 V}{220 V} = 36,21$.

Portanto, a partir da relação de transformação, conclui-se que a tensão no lado de alta tensão é 36,21 maior que no lado de baixa tensão. Dessa forma, é possível determinar a tensão no lado de alta sempre quando for aplicado uma tensão no lado de baixa.

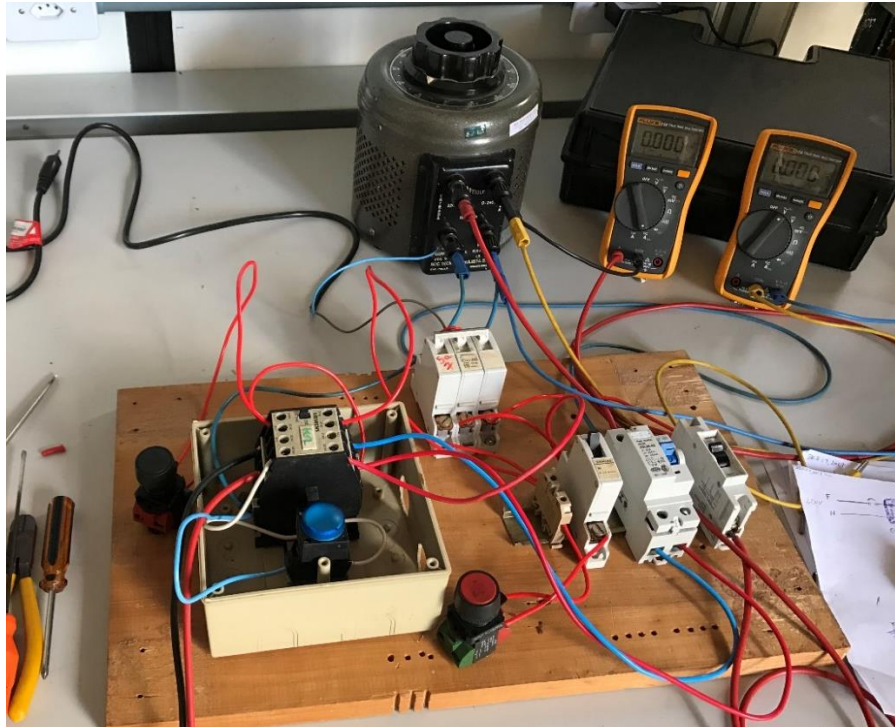


Figura 5.7- Montagem dos circuitos.

É importante ressaltar, que os equipamentos utilizados da Universidade de Brasília são muito antigos e possuem muitas limitações, logo, foi requerido cuidado redobrado no manuseio dos equipamentos. Foram utilizados multímetros a fim de monitorar a corrente e a tensão em determinados pontos dos circuitos. Por exemplo, a corrente máxima suportada pelo Varivolt é de 6 A, por conseguinte, colocou-se um amperímetro em série com o intuito de acompanhar o aumento da corrente. Todas as vezes que o valor se aproximava do limite suportado, era necessário reduzir a tensão de saída, ou até mesmo desligar o instrumento para não danificá-lo. Dessa forma, a realização do experimento ficou limitada, pois os equipamentos não podiam funcionar em condições de uma corrente mais elevada.

Visando facilitar a montagem dos circuitos e seguindo as orientações das normas, foram utilizados cabos vermelhos para fase e cabos azuis para neutro.



Figura 5.8- Circuito no lado de alta tensão do transformador.

No lado de alta tensão do transformador, optou-se por colocar duas resistências em paralelo de 50 k Ω , resultando em uma resistência equivalente de 25 k Ω . A finalidade dessas resistências é limitar a corrente no momento do curto-circuito. Na Figura 5.8, temos um suporte verde com duas esferas metálicas, entre essas esferas é colocado o material que se deseja analisar. O suporte verde é isolante e não afetará o funcionamento do circuito. Com o intuito de verificar se a montagem do circuito foi realizada corretamente, no primeiro momento do ensaio, não foi colocado nenhum material entre as esferas, somente foi ajustada uma distância de aproximadamente 1 mm entre elas.

Sabe-se que a rigidez dielétrica do ar seco é de aproximadamente 3 kV/mm. [27] Teoricamente, no presente caso, ao se aplicar uma tensão de 3000V, espera-se que ocorra o rompimento do dielétrico.

Com a intenção de verificar esse rompimento, foi aplicada uma tensão em torno de 3000 V no lado de alta tensão do transformador, e por conseguinte, foi constatada uma passagem

de corrente entre as duas esferas. Porém, no momento do rompimento do dielétrico, o valor da corrente aumentou muito. Logo, foi necessário reduzir a tensão no Varivolt para não danificar o equipamento.

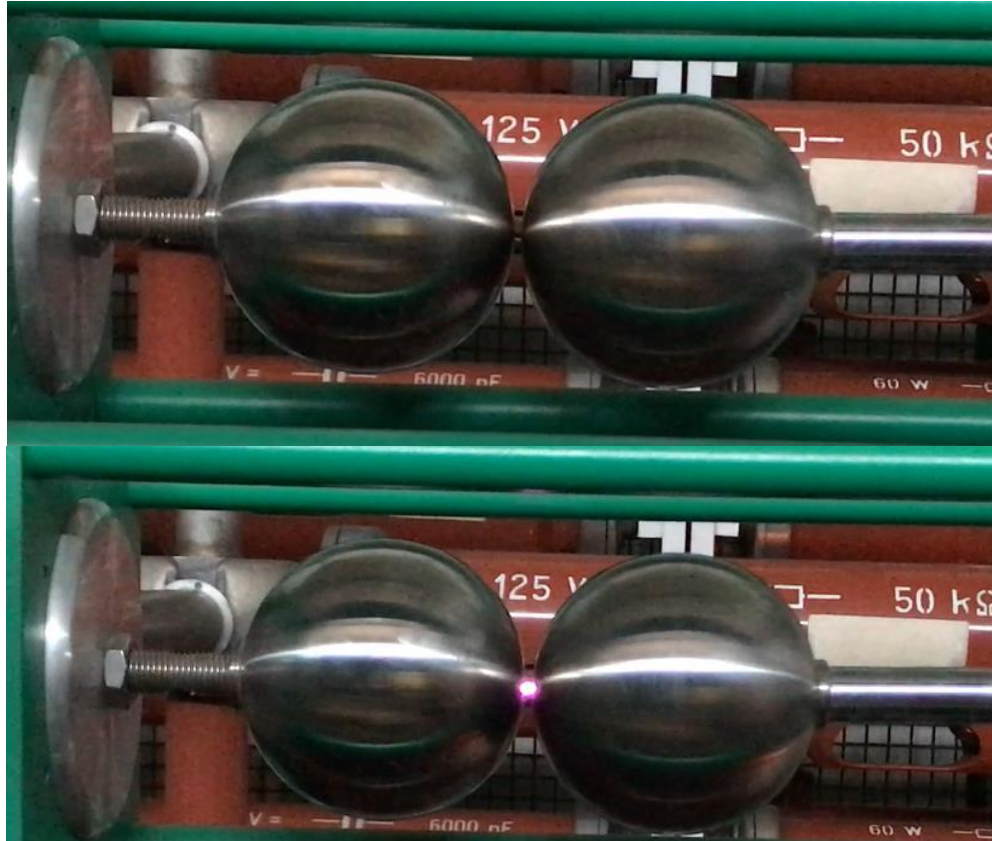


Figura 5.9- Momento do rompimento do dielétrico.

Posteriormente, foi colocada uma amostra de pneu entre as duas esferas. Em seguida, a tensão foi aumentada gradativamente até alcançar 220 V no lado de baixa tensão. Ao aplicar essa tensão no lado de baixa, temos cerca de 7.967 V no lado de alta tensão. Essa tensão é considerada a tensão eficaz. Já a tensão de pico é dada por $V_{eficaz} \times \sqrt{2}$, resultando em uma tensão de pico de aproximadamente 11.267 V. A medida que aumentávamos a tensão, foram observados centelhamentos e uma fumaça saindo do pneu. Ocorreu também um aumento no valor da corrente, desse modo, foi necessário novamente reduzir a tensão no Varivolt para não danificar os equipamentos. Foi observado também, que o valor da corrente oscilava muito no multímetro.

Foi analisado o comportamento do pneu em posição vertical e horizontal e ambas as posições apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, presença de centelhamentos e fumaça.

Como os equipamentos utilizados são bem antigos e possuem muitas limitações, não foi possível manter o pneu sob alto potencial por muito tempo, limitando a realização do ensaio. Porém, a partir das características observadas, é possível presumir que após um certo tempo aplicando esse potencial, o pneu pegaria fogo, porque foram constatadas muitas faíscas.



Figura 5.10 - Centelhas e fumaça do pneu durante a realização do ensaio.



Figura 5.11 - Posição do pneu entre as duas esferas.

A Figura 5.11 acima, indica a posição do pneu no suporte isolante. É importante enfatizar, que a posição das esferas são ajustáveis, facilitando a inserção do material a ser analisado. A Figura 5.12, apresenta o estado do pneu após a realização do experimento. Observa-se na imagem, por meio dos círculos verdes, que o pneu foi danificado em vários locais, afetando a característica isolante do material.



Figura 5.12 - Estado do pneu após a realização do ensaio.

É possível fazer uma analogia do experimento realizado a uma situação real. No lado de alta tensão, temos uma resistência equivalente de 25 kΩ em série com o pneu. Esta resistência pode ser considerada como uma resistência da carcaça de um carro, dessa maneira, é possível assemelhar-se a uma situação real de carro energizado.

A partir dos dados de tensão no lado de alta tensão e considerando uma distância média da roda até o chão de aproximadamente 80 mm, é possível calcular o campo elétrico. A intensidade de um campo elétrico num ponto, resulta da carga elétrica que origina o campo e da distância que se encontra o ponto. Considerando uma tensão de 11.267 V entre a roda e o chão, obtemos um campo elétrico $\bar{E} = \frac{11.267 \text{ V}}{0,08 \text{ m}} \cong 140 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$.

A Figura 5.13 abaixo, mostra a existência de aço dentro do pneu, essa característica contribui para a condutividade da corrente.



Figura 5.13- Índícios de aço dentro do pneu.

5.2 Circuito equivalente simplificado do carro

No primeiro momento, utilizou-se um multímetro para verificar a continuidade na carcaça metálica do carro e constatou-se que toda a carcaça do carro se encontra no mesmo potencial, porque foi verificado continuidade em diversos pontos. Mediu-se também a resistência da carcaça do carro em diversos pontos e encontrou-se um valor aproximado de 21 k Ω . Foi considerado também a resistência de 50 k Ω para cada roda e uma resistência de 1000 Ω entre o pneu e o solo. Dessa maneira, considerando uma diferença de potencial de 11 kV, foi possível estimar um circuito equivalente simplificado de um carro sob um elevado potencial, indicado na Figura 5.14 abaixo.

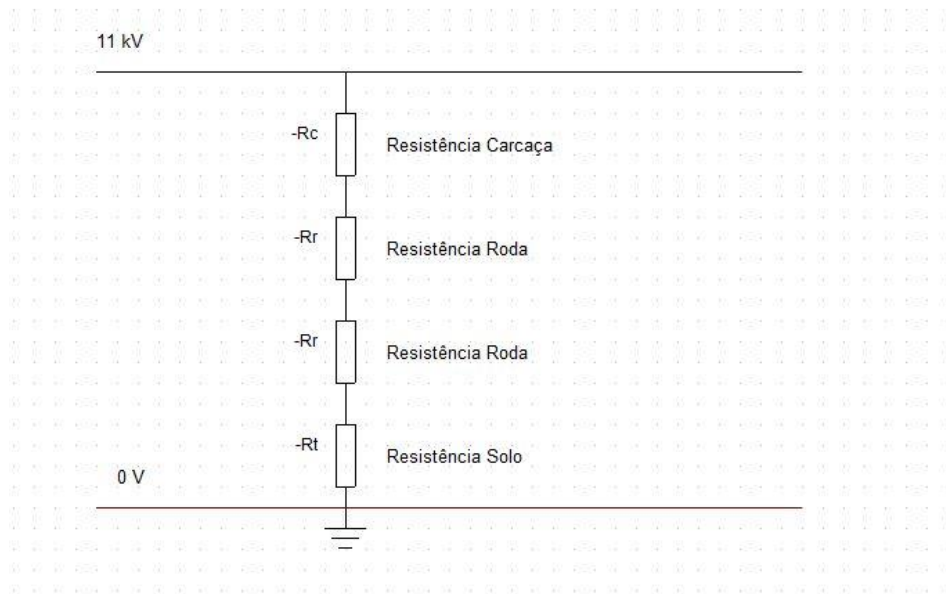


Figura 5.14- Circuito equivalente simplificado estimado.

5.2 Acidentes causados por carros sob potencial de 13,8 kV.

Nos últimos anos, foram identificados alguns registros de acidentes causados por carros sob alto potencial, logo, alguns desses acidentes são detalhados a seguir.

Na data de 03/01/2016, em São Gonçalo – SP, 4 pessoas da mesma família morreram eletrocutadas, segundo informações do sétimo BPM. Entre os mortos estava um bebê de 9 meses. A PM informou que foi chamada para verificar o rompimento de um cabo de energia e ao chegar ao local do acidente encontrou os corpos na calçada em frente à casa dos parentes. Próximo estava um cabo de eletricidade caído ainda soltando faíscas. Segundo informações do Batalhão, a família tinha saído da casa dos parentes e estava em direção ao carro quando o cabo de alta tensão teria caído sobre o veículo. [27]



Figura 5.15 - Foto do acidente provocado por um cabo energizado em São Gonçalo. [27]

Na data de 25/02/2015, em São Paulo capital, um temporal causou alagamentos, derrubou árvores e resultou na morte de um motorista, que foi eletrocutado por um cabo de energia que se soltou na rua. De acordo com os bombeiros, o homem foi atingido diretamente pelos fios após estacionar o carro e descer do veículo. [28]



Figura 5.16 - Foto do acidente provocado por um cabo energizado em São Paulo [28]

Na data de 05/04/2015, pai e filho, foram eletrocutados em condomínio residencial de Brasília. Por meio de nota, a concessionária de energia local informou que o acidente foi causado pelo rompimento de um cabo de alta tensão. Segundo o Corpo de Bombeiros, ao cair, o cabo encostou em um pneu de um carro estacionado no local, que começou a pegar fogo. As vítimas foram eletrocutadas ao tentarem escapar do carro e a descarga chegou a derreter os pneus do automóvel, como visto na Figura 5.17 abaixo. [29]



Figura 5.17- Foto do estado do pneu após o contato com o cabo energizado. [29]

6 INSTRUÇÕES E MEDIDAS A SEREM TOMADAS DIANTE DE UMA SITUAÇÃO DE CARRO ENERGIZADO

A maioria da população não tem conhecimento e noção dos danos que a energia elétrica pode causar. Dessa maneira, uma situação de carro energizado devido ao rompimento de uma linha energizada, pode acabar resultando em ferimentos graves ou até mesmo na morte de diversas pessoas, se não forem seguidas as instruções apropriadas e medidas recomendadas. Com o intuito de orientar a população e evitar possíveis acidentes, serão apresentadas a seguir algumas recomendações do que deve ser feito ao presenciar uma circunstância análoga a citada.



Figura 6.1 - Representação da situação de carro energizado. [30]

Em uma situação de risco conforme a Figura 6.1 acima, o melhor a se fazer é permanecer dentro do carro se possível, porque uma linha de distribuição ativa sobre o veículo pode torná-lo energizado, logo, ao tentar sair do carro, a pessoa pode ser eletrocutada. Dessa maneira, se ao redor não tiver chamas ou fumaças, não existe um perigo imediato e a ação mais segura é ficar dentro do carro até aparecer alguma ajuda especializada. Se existirem outras pessoas dentro do carro, o ideal é repassar essa instrução a todas, porque se uma única pessoa resolver sair incorretamente do carro, todas as outras estarão em risco de eletrocussão.

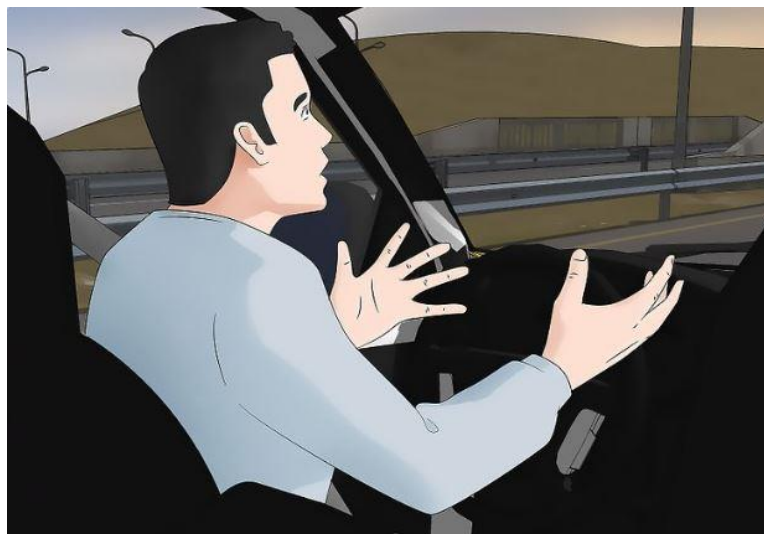


Figura 6.2 - Orientações a serem seguidas em uma situação de carro energizado. [30]

É extremamente importante evitar o contato com partes metálicas do carro. O recomendável é permanecer sentado com as mãos afastadas do chassi, pois existe a possibilidade de a carcaça estar carregada eletricamente. Dessa forma, o ideal é ligar para a polícia ou os bombeiros e explicar a situação vivenciada. Provalvemente, os agentes repassarão orientações e instruções similares as apresentadas.



Figura 6.3 - Alertar as pessoas próximas do acidente. [30]

Uma outra recomendação indispensável, é avisar as pessoas que se encontram no lado de fora do carro a não chegarem perto do incidente. Se existirem carros se aproximando, é sugerido buzinar para sinalizá-los de que eles não devem se aproximar da linha energizada.



Figura 6.4 - Momento do surgimento de chamas e fumaças no carro. [30]

Se começar a sair faíscas ou fumaças do carro, será necessário sair imediatamente de dentro dele. Para isso, é importante ter certeza que o carro está começando a pegar fogo, porque abandonar o carro sempre é uma situação de alto risco. Dessa maneira, se for observado fumaças sem chamas, é relevante atentar, se a fumaça não é proveniente da exaustão do carro. A fumaça do fogo é mais densa e não se dissipa rapidamente, enquanto que a fumaça da exaustão do carro desaparece mais ligeiramente. Se for identificado chamas, o carro tem grande indícios de pegar fogo e será necessário evacuar rapidamente e cuidadosamente dele. Para isso, abra a porta do carro sempre evitando tocar a parte metálica, porque a mesma pode estar energizada. Por conseguinte, ao invés de sair do carro na forma convencional, mantenha as pernas juntas e os braços cruzados, certificando-se de não deixar qualquer parte do corpo tocar a carcaça do carro. Gire o corpo de modo que esteja inclinado para pular para fora do carro. Pule para fora do carro, mantendo os pés juntos, de forma que ambos toquem o chão ao mesmo tempo, reduzindo consideravelmente as chances de ser eletrocutado por conta da tensão de passo. É importante enfatizar também, que o corpo deve estar no ar, no momento que os pés tocam o chão. Caso contrário, os riscos de lesões ou de vida são altos.



Figura 6.5 - Orientações a serem seguidas caso o carro comece a pegar fogo [30].

Após pular para fora do carro, é necessário se afastar o mais rápido possível dele, porém, ao invés de caminhar normalmente, ou seja, levantando um pé de cada vez, o ideal é caminhar com os dois pés bem juntos ou pulando, certificando-se de que ambos os pés encostem no chão ao mesmo tempo. Essa ação é necessária, porque a eletricidade se propaga no solo e cria uma tensão de passo conforme explicado anteriormente, logo, se uma pessoa der um passo muito longo, a mesma estará sujeita a uma corrente que percorrerá seu corpo. Quanto maior a tensão do fio, menor será a distância do passo que causará essa tensão de passo.

Uma distância de aproximadamente 15 m do carro é a considerada segura, dessa maneira, antes de alcançar essa distância é recomendado caminhar ou pular com os pés juntos para evitar qualquer tensão. Após essa distância, a pessoa reduz consideravelmente os riscos de sofrer uma tensão de passo. [30]



Figura 6.6- Quanto maior a distância, menor é o risco de uma tensão de passo [30]

No caso de uma pessoa que esteja fora do carro presenciar uma situação análoga a abordada, é importante manter uma distância segura afim de evitar qualquer acidente. Se nas circunstâncias houver pessoas dentro do carro, o ideal é repassá-las os procedimentos de segurança, porque os envolvidos podem não ter conhecimento das instruções. É relevante enfatizar também que se trata de uma situação delicada e para evitar qualquer tipo de lesão ou até mesmo a morte é necessário seguir as recomendações de segurança rigorosamente.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 Aspectos Gerais.

De acordo com os dados apresentados, conclui-se que a alta ocorrência de acidentes elétricos no Brasil é uma realidade. Somente no ano de 2017 foram registrados 1.387 acidentes, uma média de 3,8 acidentes por dia, sendo que uma grande quantidade de acidentes não são registrados. Os dados estatísticos evidenciam a importância da conscientização da população, porque uma grande quantidade de acidentes elétricos poderiam ter sido evitados se as pessoas tivessem mais conhecimento e informações dos riscos que a energia elétrica pode causar aos seres humanos.

A presente monografia aborda um caso específico de acidente envolvendo carro energizado devido ao rompimento de uma rede elétrica. Apesar de ser uma circunstância bem peculiar, foram constatados e apresentados acidentes desse gênero, dessa forma, observa-se que muitas pessoas não sabem como se comportar diante uma situação análoga a essa.

Conclui-se também, que em uma situação dessas, um carro devido a sua cobertura metálica se configura-se como uma Gaiola de Faraday. De acordo com Michael Faraday, uma superfície metálica carregada eletricamente em toda a sua extensão está livre de interferências elétricas em seu interior. Dessa maneira, no primeiro momento, uma pessoa se encontra segura dentro do carro em uma situação similar a essa. Porém, em casos específicos foram constatados que os carros energizados pegaram fogo depois de um certo tempo.

Após realizar um determinado experimento, que analisou o comportamento de um pneu de carro popular sob alto potencial, verificou-se a presença de fumaça e de faíscas no pneu. Devido as limitações dos equipamentos e de materiais, não foi possível realizar testes mais detalhados e mais longos, mas a partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que de fato as características isolantes do pneu não são mantidas. Isso é dado, devido a presença de aço dentro do pneu e por ser submetido a um alto potencial, criando um elevado campo elétrico. Esse fatores justificam a causa do fogo em acidentes registrados.

Um dos principais objetivos desse experimento foi simular uma situação real de carro energizado, pois não foram encontradas informações detalhadas a respeito desse assunto.

Portanto, podemos finalizar a análise afirmando que a situação estudada possui grandes riscos e perigos a população. Dessa maneira, é extremamente importante seguir as recomendações apresentadas a fim de evitar consequências mais drásticas.

Atualmente, a energia elétrica está muito presente na vida dos seres humanos, logo, os indivíduos estão constantemente submetidos aos riscos associados a eletricidade. Com isso, um conhecimento desses riscos, é extremamente essencial para evitar acidentes de origem elétrica. Essa conscientização dos riscos deve ser difundida pelo governo por meio de campanhas públicas, pelas distribuidoras que são detentoras das redes de distribuição e fornecem energia aos consumidores cativos e pelas escolas que transmitem conhecimento aos jovens. Se houvessem mais informações entre as pessoas dos perigos da energia elétrica, o número de acidentes elétricos no Brasil não seria tão elevado.

7.2 Perspectivas e trabalhos futuros.

A partir deste trabalho, existe a perspectiva de continuidade à esta linha de pesquisa com diversos temas relacionados. Alguns deles são:

- Veículos sob ação de descargas atmosféricas.
- Comportamento de diversos materiais sob alto potencial
- Análise detalhada da Gaiola de Faraday

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FILHO, Silvério C.S . **Um estudo sobre os efeitos da eletricidade no corpo humano sob a égide da saúde e segurança do trabalho**, São Paulo, Universidade Nove de Julho
- [2] Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos de Eletricidade – **Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica 2018**.
- [3] Instituto Brasileiro do Cobre – **Raio X das Instalações Elétricas Residências Brasileiras**.
- [4] Disponível em : <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-05/acidentes-eletricos-causaram-quase-600-mortes-em-2016-diz-estudo> . Acesso em Fevereiro de 2018.
- [5] Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos de Eletricidade – **Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica 2017**.
- [6] Disponível em : <http://hojeemdia.com.br/horizontes/seguran%C3%A7a/cresce-o-n%C3%BAmero-de-mortes-de-crian%C3%A7as-por-acidentes-envolvendo-rede-el%C3%A9trica-1.371436>. Acesso em Março de 2018.
- [7] LEITE, Rodrigo Pietro. **Por dentro da Gaiola de Faraday: Estudos e ideias sobre a estrutura da matéria (1836 – 1838)**. São Paulo, Pontífica Universidade Católica de São Paulo, 2012.
- [8] FRANK, A. J. L. James. **Michael Faraday a very short introduction**. New York, Oxford University, 2010.
- [9] DANIELI, Carlos Luciano De. **Estudo da Gaiola de Faraday como Blindagem para Ondas Eletromagnéticas**. São Paulo, UNICAMP, 2008.
- [10] Disponível em: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/eletricidade/eletrostatica/1664-2/>. Acesso em Abril de 2018.
- [11] Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/gaiola-de-faraday-o-que-e-qual-a-sua-aplicacao/> . Acesso em Abril de 2018.

[12] Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/blindagem-eletrica.htm>. Acesso em Abril de 2018.

[13] GRAÇA, Claudio. **Eletromagnetismo**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

[14] LOURENÇO, Heliton. **Análise da Segurança do Trabalho em Serviços com Eletricidade sob a Ótica da Nova NR-10**. Foz do Iguaçu, União Dinâmica de Faculdades Cataratas, 2012.

[15] Companhia Energética de Minas Gerais S/A – **Manual de Instalações Elétricas Residenciais**.

[16] Disponível em: <https://www.cursonr10.com/efeitos-do-choque-eletrico>. Acesso em Abril de 2018.

[17] Disponível em: http://www.fazerseguranca.com/documentos/dds/DDS_riscos_em_instalacao_e_servicos_com_eletricidade.pdf. Acesso em Abril de 2018.

[18] Disponível em: http://www.fazerseguranca.com/documentos/dds/DDS_riscos_em_instalacao_e_servicos_com_eletricidade.pdf. Acesso em Abril de 2018.

[19] Companhia Energética de Minas Gerais S/A – **Manual de Instalações Elétricas Residenciais**.

[20] Siemens - <https://www.siemens.com/br> . Acesso em Abril de 2018

[21] SILVA, Dirceu. **Aspectos da Física do Raio: buscando elucidar um fenômeno pouco compreendido**, São Paulo, UNICAMP.

[22] Disponível em: <http://tecnicosaudeambiental.blogspot.com.br/2014/04/tensao-de-contacto-e-tensao-de-passo.html>. Acesso em Maio de 2018.

[23] KINDERMANN, Geraldo. **Choque Elétrico**. Porto Alegre: Sagra DC Luzzatto, 22ª ed., 2000.

[24] Disponível em: <http://dicasdesomeluz.blogspot.com.br/2012/08/aterramento-eletrico-como-funciona-e.html>. Acesso em Maio de 2018.

[25] IRWIN, J. David. **Análise Básica de Circuitos para Engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

[26] VILLATE, Jaime E. **Eletricidade, Magnetismo e Circuitos**. Porto, Universidade do Porto, 2013.

[27] Disponível em : <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/01/em-sao-goncalo-4-da-mesma-familia-morrem-possivelmente-eletrocutados.html> . Acesso em Dezembro de 2017.

[28] Disponível em : <http://g1.globo.com/carros/noticia/2015/02/se-fio-cair-sobre-carro-nao-desca-recomendam-especialistas.html>. Acesso em Dezembro de 2017.

[29] Disponível em : <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2015/04/duas-mulheres-morrem-eletrocutadas-dentro-de-carro-em-condominio-no-df.html>. Acesso em Março de 2018.

[30] Disponível em: <https://www.wikihow.com/React-if-a-Power-Line-Falls-on-Your-Car>. Acesso em Maio de 2018.