



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

PREVENÇÃO DE ACIDENTES NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Mauricio Dias Paixão da Silva

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro

Abril de 2016

PREVENÇÃO DE ACIDENTES NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Mauricio Dias Paixão da Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.

Prof. João Pedro Lopes Salvador, M.Sc.

Eng. Tiago Figueira Leão Pinheiro

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL de 2016

Silva, Mauricio Dias Paixão da

Prevenção de Acidentes nas Instalações Elétricas/ Mauricio Dias Paixão da Silva. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

XII, 110 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p.105.

1. Acidentes Elétricos. 2. Consequências de Acidentes Elétricos. 3. Normas. 4. Segurança Pessoal. 5. Prevenção de Acidentes Elétricos. I. Nascimento, Jorge Luiz do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Título.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado saúde e por tornar possível a conclusão do meu curso.

Aos meus pais, Manoel e Acacia, por sempre terem me incentivado a estudar e feito de tudo para que isto ocorresse. Obrigado pelos momentos felizes e tristes vividos juntos, pelo apoio, pelos conselhos, pelas broncas, pelos sorrisos, pelos choros, por tudo.

Às minhas avós, Eunice e Marina, por todo o carinho, apoio, convívio, conselhos e ensinamentos, muito obrigado.

Aos meus irmãos. Em especial, gostaria de agradecer ao meu irmão Marquinhos por desde o início ter acreditado em mim e por todo apoio e preocupação que teve comigo ao longo da vida e mais ainda no decorrer da faculdade, sempre me auxiliando em tudo o que precisei.

Ao professor, orientador e amigo, Jorge Luiz do Nascimento, pelo apoio, disponibilidade e paciência que teve comigo nas matérias, estágio e projeto final.

Aos professores e funcionários da UFRJ, em ordem alfabética, Antônio Lopes, Heloi José, Katia Tripoli, Oumar Diene, Robson Dias, Jorge Nemésio, Sergio Sami, Tatiana Lessa, por terem sido fonte de inspiração durante esses anos e que muito contribuíram para minha formação profissional.

Aos professores e amigos do Miguel Couto, unidade Jacarepaguá, local que me proporcionou muitos ensinamentos e do qual tenho ótimas lembranças. Em especial, gostaria de lembrar do diretor Godoy, *in memoriam*, por todo o esforço e dedicação em ensinar.

À professora Solange, a Sol, que, sem trocadilhos, iluminava a todos durante as aulas de química. Obrigado, professora, por ter conseguido me ensinar um pouco sobre reações químicas!

Aos grandes amigos de graduação que fiz desde o início e ao longo da faculdade, e que viveram junto comigo as tristezas e alegrias, conquistas e derrotas, dificuldades e facilidades de um curso árduo, mas gratificante. Sem vocês, os anos passados nesta faculdade seriam difíceis ou até impossíveis de serem completados. Que nossa amizade, conversas, sorrisos e abraços se mantenham eternizados nas salas, nos corredores, no departamento, na UFRJ, enfim, em nossas lembranças e vidas, mesmo que nosso convívio não tenha mais a mesma frequência. Em especial, gostaria de lembrar dos

meus queridos amigos, em ordem alfabética: Clarissa Edgar, Diodotce Fernandes, Fabio Cunha, Hyrlann Almeida, Leandro Marinho, Sersan Dias, Tiago Oliveira, Vanildo Cunha e Yasmin Grassi, pessoas por quem tenho grande carinho, admiração e orgulho em ter conhecido e aprendido muito com cada um. Tenham certeza de que levarei cada um de vocês comigo por aonde eu for.

Muito obrigado a todos!

Resumo do Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica – UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Prevenção de Acidentes nas Instalações Elétricas

Mauricio Dias Paixão da Silva

Abril / 2016

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Curso: Engenharia Elétrica

Este trabalho aborda os principais tipos de acidentes envolvendo a energia elétrica. Anualmente, centenas de acidentes envolvendo a eletricidade ocorrem no Brasil, acarretando em sérios prejuízos pessoais, psicológicos e financeiros. A omissão, negligência, autoconfiança, falta de aplicação das normas, ausência de um projeto de engenharia e a falta de manutenção são algumas das causas destes acidentes. Muitos desses acidentes poderiam ser evitados através de métodos preventivos. Os métodos preventivos englobam a aplicação da técnica e dos procedimentos normatizados pelas normas vigentes além de comportamentos pessoais diante de fenômenos que envolvam a energia elétrica. Dessa forma, é de grande importância que não só os profissionais da área técnica tenham interesse nesses métodos, mas também as pessoas leigas, já que grande parte da energia elétrica produzida é utilizada por essa categoria de usuários.

Palavras chave: Acidentes Elétricos, Consequências dos Acidentes Elétricos, Normas, Segurança Pessoal, Prevenção de Acidentes Elétricos.

Abstract of Undergraduate Project presented to the Department of Electrical Engineering of POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

PREVENTION OF ACCIDENTS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS

Mauricio Dias Paixão da Silva

APRIL /2016

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.

Course: Electrical Engineering

This work discusses the major types of accidents involving electricity. Every year, hundreds of accidents involving electricity occur in Brazil, resulting in serious personal, psychological and financial losses. The omission, negligence, self-confidence, lack of standards application, lack of engineering project and lack of maintenance are some of the causes of these incidents. Many of these accidents could be avoided through preventive methods, including the application of techniques and standard procedures by the rules in force as well as personal behavior before electrical phenomena. Thus, it is of paramount importance that not only technical professionals are interested in these methods, but also people without technical knowledge, since much of the electricity produced is used by this category of users.

Key words: Electrical Accidents, Standards, Personal Safety, Prevention of Electrical Accidents.

Dedico este trabalho aos meus familiares, aos meus professores e aos meus amigos.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	2
1.2	Motivação	2
1.3	Relevância.....	3
1.4	Estrutura do documento	3
2	Acidentes em instalações elétricas	4
2.1	Tipos de acidentes	4
2.1.1	Contatos com partes vivas ou energizadas	5
2.1.2	Descargas atmosféricas	7
2.1.3	Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização.....	8
2.1.4	Curto-circuitos nas linhas de alimentação	10
2.1.5	Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção.....	11
2.1.6	Seccionamento inesperado de circuitos	12
2.1.7	Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas	12
2.1.8	Sobretensões.....	14
2.1.9	Presença de tensões imprevistas	15
2.1.10	Produção de arcos e faiscamentos.....	16
2.2	Efeitos fisiológicos do choque	18
3	Prevenindo acidentes elétricos	21
3.1	Contatos com partes vivas ou energizadas	21
3.2	Descargas atmosféricas	30
3.3	Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização.....	33
3.4	Curto-circuito nas linhas de alimentação	38
3.5	Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção.....	43

3.6	Seccionamento inesperado de circuito	45
3.7	Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas	47
3.8	Sobretensões.....	52
3.9	Presença de tensões imprevistas	54
3.10	Produção de arcos e faiscamentos	55
4	Aplicação das Normas	60
4.1	Contatos com partes vivas ou energizadas	60
4.2	Descargas atmosféricas	72
4.3	Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização.....	79
4.4	Curto circuitos nas linhas de alimentação.....	82
4.5	Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção.....	85
4.6	Seccionamento inesperado de circuito	86
4.7	Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas.....	89
4.8	Sobretensões.....	93
4.9	Presença de tensões imprevistas.....	95
4.10	Produção de arcos e faiscamentos.....	98
5	Conclusões	102
	Referências Bibliográficas	105

Lista de Figuras

Figura 2.1: Contato direto	5
Figura 2.2: Contato indireto	6
Figura 2.3: Reportagem de jornal relatando o acidente no BRT	7
Figura 2.4: Descarga atmosférica	7
Figura 2.5: Tomada de corrente submetida a uma sobrecarga	9
Figura 2.6: Incêndios por curto-circuito – região 2014	10
Figura 2.7: Incêndios por curtos-circuitos – local – 2014	10
Figura 2.8: Ponto quente em uma conexão elétrica obtido através da técnica da termografia.....	11
Figura 2.9: Reportagem de jornal relatando a morte de uma família em São Gonçalo ..	13
Figura 2.10: Cabo de alta tensão caído na rua	14
Figura 2.11: Identificação da tensão de tomadas e ligação de motores	15
Figura 2.12: Arco elétrico em serviço de manutenção	16
Figura 2.13: Arco elétrico formado na abertura de uma chave sob carga	17
Figura 3.1: Barramento vivo de um quadro de distribuição	22
Figura 3.2: Fios desencapados	22
Figura 3.3: Desligar eletrodomésticos puxando o fio	23
Figura 3.4: Corte de plugue e partes energizadas aparentes	23
Figura 3.5: Emendas em fios	23
Figura 3.6: Quadro de distribuição com espelho	24
Figura 3.7: legenda de perigo de choque	24
Figura 3.8: Conector para emenda de fios	25
Figura 3.9: Sistema de aterramento e conexão do condutor de aterramento	27
Figura 3.10: Dispositivo à corrente diferencial-residual DR	28
Figura 3.11: Abertura manual de disjuntores	29
Figura 3.12: Para-raios de linhas de distribuição	31
Figura 3.13: Supressor de surto	31
Figura 3.14: Benjamins e extensões	34
Figura 3.15: Dinâmica no perfil de carga	34
Figura 3.16: Identificação dos circuitos	35
Figura 3.17: Tomadas de uso específico	35
Figura 3.18: Troca de disjuntores em um quadro de distribuição	36

Figura 3.19: Identificação dos circuitos em um quadro de distribuição	37
Figura 3.20: Queda de árvore na rede elétrica	39
Figura 3.21: Incidência de descargas atmosféricas em linhas de alimentação	39
Figura 3.22: Ações de vandalismo na rede elétrica	40
Figura 3.23: Manutenção na rede de distribuição	41
Figura 3.24: Poda de árvores feita pelas concessionárias de energia	41
Figura 3.25: Fusível limitador de corrente	42
Figura 3.26: Religadores de circuitos de distribuição	43
Figura 3.27: Pontos quentes obtidos através da termografia	45
Figura 3.28: Esquema de aterramento IT e Dispositivo de supervisão de isolamento (DSI)	47
Figura 3.29: Pipa próximo a rede elétrica	48
Figura 3.30: Para-raios em linhas de distribuição	49
Figura 3.31: Queda de cabo de energia em cima de veículo	50
Figura 3.32: Demonstração de como retirar um cabo de cima de uma vítima	51
Figura 3.33: Identificação da tensão dos pontos de tomada de energia	54
Figura 3.34: Vestimentas apropriadas para trabalhadores que intervêm no sistema elétrico	57
Figura 3.35: Uso do ultrassom para detectar arcos e faiscamentos	58
Figura 3.36: Fita de autofusão	58
Figura 4.1: Esquema TN-S	68
Figura 4.2: Esquema TN-C	68
Figura 4.3: Rompimento do condutor PEN do sistema TN-C	69
Figura 4.4: Esquema TN-C-S	69
Figura 4.5: Esquema TT	70
Figura 4.6: Esquema IT isolado	71
Figura 4.8: Captor de descarga atmosférica	75

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Efeitos fisiológicos em função do nível de corrente	20
Tabela 4.1: Classificação das estruturas quanto ao nível de proteção	74
Tabela 4.2: Seções mínimas dos condutores em função do nível de proteção de um SPDA	75
Tabela 4.3: Seções mínimas dos condutores em função do material e altura da edificação	76
Tabela 4.4: Espaçamento médio dos condutores de descida	76
Tabela 4.6: Distâncias mínimas entre condutores e o solo	92
Tabela 4.7: Suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação	95

1 Introdução

Sem dúvida, a energia elétrica trouxe muitos benefícios ao longo do tempo. No entanto, a eletricidade também apresenta muitos riscos, não só para aqueles que trabalham nas instalações, como também para as pessoas inadvertidas e até os animais.

Muitos acidentes acontecem todos os anos. Ocorrências envolvendo fiação desencapada, partes energizadas expostas e sem barreiras de proteção, pontos de alta tensão próximos aos locais de trânsito ou estada de pessoas, além de instalações executadas sem observação de norma, ou por leigos desabilitados e desqualificados são comuns. Sem contar os danos materiais provocados por incêndios iniciados em condições de sobrecargas, curtos-circuitos ou instalações mal executadas e sem a proteção adequada e os casos em que ocorrem danos materiais, seguidos de danos pessoais e morte. E ainda há de se considerar os riscos advindos da natureza, como as descargas atmosféricas.

A ABRACOPEL- Associação Brasileira Contra os Perigos da Eletricidade - entidade esta que desde 2007 levanta dados estatísticos sobre acidentes elétricos no Brasil confirma as mortes que ocorrem todos os anos. Segundo a entidade, centenas de acidentes elétricos ocorrem anualmente em residências e nas indústrias, ocasionando mortes e danos materiais. Em 2015, houve 1.222 casos de acidentes envolvendo eletricidade [1], somando os choques elétricos aos de incêndios por curtos-circuitos e também acidentes envolvendo descargas atmosféricas (raios), sendo que em 2014, o total foi de 1.038 acidentes. O total de acidentes com choques elétricos, em 2015, foi de 822, sendo 627 fatais. No caso dos curtos-circuitos [1], o total foi de 311 casos, sendo que 295 evoluíram para incêndio, resultando em 20 mortes (todas elas em residências). As descargas atmosféricas foram responsáveis por 89 acidentes, sendo que 46 pessoas perderam a vida.

Diante do grande número de acidentes elétricos, envolvendo mortes e danos materiais, a preocupação aumenta e percebe-se a necessidade da implantação, quase obrigatória, de sistemas eficientes de proteção para evitar ou, pelo menos, reduzir a possibilidade de tais acidentes. Infelizmente, as normas de instalações elétricas que obrigam tecnicamente que tais sistemas de proteção sejam instalados, são esquecidas em muitos casos, ou são executados de forma precária ou incompleta. Os sistemas de aterramento e isolamento combinados com as demais formas de proteção elétrica podem reduzir os índices desses acidentes. Tais sistemas precisam ser adequados e agirem com

segurança, precisão e rapidez no momento em que forem solicitados a operar para que os usuários de energia elétrica fiquem protegidos de acidentes elétricos e consequentes danos pessoais e materiais.

Outro dado importante levantado pela ABRACOPEL é o que se refere aos locais em que as pessoas sofrem tais acidentes. Os ambientes unifamiliares [1], ou seja, as residências destacam-se com 180 mortes em 2014, representando 84 % dos 214 acidentes elétricos em todos os ambientes habitáveis como apartamentos, áreas comuns de prédios, sítios, chácaras ou fazendas.

Diante desses números alarmantes relacionados aos acidentes elétricos é que se propõe, neste trabalho, a aplicação de conhecimentos de proteção nas principais situações de riscos de acidentes aqui mencionadas e outras que serão apresentadas ao longo do corpo do texto. A fim de cumprir essa finalidade, o texto aborda os principais temas envolvendo o aterramento elétrico, além de tópicos relacionados a surtos de tensão originados por descargas elétricas. Dessa forma, espera-se que este trabalho possa ser utilizado pelo pessoal técnico como orientação de futuros projetos envolvendo sistemas de proteção elétrica em baixa tensão.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo identificar e analisar os principais casos de riscos de acidentes elétricos, provocados pela ausência de sistemas de proteção adequados. Para tanto, os conceitos da matéria Proteção de Sistemas Elétricos serão revisados, no sentido de contribuir para o devido tratamento com a aplicação dos conteúdos teóricos e das prescrições de Norma.

É objetivo também elaborar um material que possa ser utilizado para fins de orientação, por técnicos da área elétrica, a fim de auxiliar na elaboração de projetos que envolvam técnicas de aterramento e proteção contra surtos de tensão, que visem à proteção de pessoas e animais domésticos contra choques elétricos, além de evitar danos materiais devido às sobretensões por descargas atmosféricas.

1.2 Motivação

Contribuir para a redução dos acidentes com energia elétrica, poupando vidas, danos pessoais e materiais.

1.3 Relevância

O trabalho se faz oportuno na medida em que os acidentes elétricos têm recebido cada vez mais ênfase nas mídias jornalísticas e nas redes sociais, enfatizando cada vez mais a preocupação da sociedade com a temática da segurança nas instalações elétricas.

1.4 Estrutura do documento

Este capítulo apresentou uma introdução que contextualiza as motivações e objetivos do presente trabalho.

No Capítulo 2, estão abordados os riscos de acidentes elétricos que serão discutidos ao longo deste documento. Além disso, as consequências de cada acidente também estão apresentadas.

O Capítulo 3 trata de algumas circunstâncias que podem fazer com que os acidentes ocorram. Este capítulo aborda os métodos de prevenção para cada risco de acidente através de uma linguagem simples, mais direcionada para as pessoas leigas que desejam se manterem informadas sobre o assunto.

O Capítulo 4 aborda a prevenção contra os acidentes de uma maneira mais formal através das recomendações das normas pertinentes a cada risco de acidente listado.

O Capítulo 5 contém a conclusão geral do trabalho e a proposição de trabalhos futuros, que possam enriquecer a análise aqui realizada. Em seguida estão mostradas as referências bibliográficas.

2 Acidentes em instalações elétricas

Todos os anos, diversos acidentes envolvendo a eletricidade ocorrem em vários locais. Seja no ambiente habitável, comércio, indústria e na construção civil, os sinistros estão relacionados à imprudência, negligência, imperícia, autoconfiança, falta de manutenção e podem causar danos pessoais, materiais ou ambos.

Os danos pessoais podem ser consequências diretas ou indiretas, envolvendo eventualidades elétricas. O choque elétrico é a consequência mais imediata, mas em decorrência deste, podem existir outros acontecimentos, como a queda, causando mais lesões às vítimas.

Os danos materiais também estão associados aos acidentes elétricos. A queima de eletrodomésticos, avaria de materiais elétricos, perda de linha de produção, interrupção de serviços e incêndios estão entre os principais danos materiais.

Muitos acidentes elétricos evoluem para incêndios. Isso ocorre devido a problemas na instalação elétrica, como redes obsoletas, falta de manutenção, sobrecarga e a não atuação da proteção elétrica por não ter sido dimensionada adequadamente.

Em se tratando de ambientes habitáveis, muitos proprietários não se preocupam com o estado da instalação elétrica que, muitas vezes, é antiga e inadequada à nova concepção de carga instalada, dada a nova realidade econômica e tecnológica que permitiu que muitas famílias pudessem adquirir novos aparelhos.

2.1 Tipos de acidentes

Diversos tipos de acidentes envolvendo eletricidade podem ocorrer em uma instalação elétrica. Os sinistros mais comuns são:

- i. Contatos com partes vivas ou energizadas.
- ii. Descargas atmosféricas.
- iii. Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização.
- iv. Curto-circuito em linhas de alimentação.
- v. Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção.
- vi. Seccionamento inesperado de circuito.
- vii. Queda de cabos ou de estruturas vivas.
- viii. Sobretensões.
- ix. Presença de tensões imprevistas.

- x. Produção de arcos e faiscamentos.

2.1.1 Contatos com partes vivas ou energizadas

Este acidente é caracterizado por uma interação de pessoas ou animais com as partes energizadas de uma instalação, permitindo que um campo elétrico se estabeleça pelo corpo da vítima e, por conseguinte, haja uma circulação de corrente elétrica. Este acidente pode ocorrer de forma direta ou indireta.

Contato direto

O contato direto é quando há um toque da vítima com as partes normalmente energizadas conforme mostra a Figura 2.1. As partes normalmente energizadas podem ser os condutores sem isolamento, barramentos, conexões e terminais elétricos.

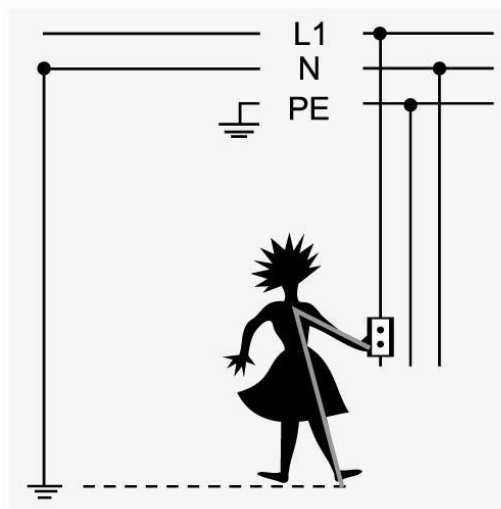


Figura 2.1: Contato direto [35]

Os contatos diretos com as partes vivas ou energizadas, que a cada ano provocam milhares de acidentes graves (muitos até fatais), são provocados geralmente por falha de isolamento adequado, por ruptura ou remoção indevida das partes isolantes, ou por imprudência de uma pessoa com relação a uma parte viva. Terminais de equipamentos não isolados, condutores e cabos com isolação danificada ou deteriorada e equipamentos de utilização velhos são as “fontes” mais comuns de choques por contatos diretos. Observe, por exemplo, que o mau hábito de desconectar o plugue da tomada de aparelhos portáteis (como ferro de passar roupa e secador de cabelos) ou móveis (como enceradeiras e aspirador de pó) puxando o cabo ou o fio aumenta em muito o perigo de acidentes elétricos, pois devido à tração, o isolamento pode ser deteriorado, fazendo com que as partes vivas fiquem expostas.

Contato indireto

O contato indireto é quando ocorre um toque da vítima com estruturas que ficaram energizadas acidentalmente por alguma falha no isolamento dos circuitos elétricos conforme mostra a Figura 2.2.

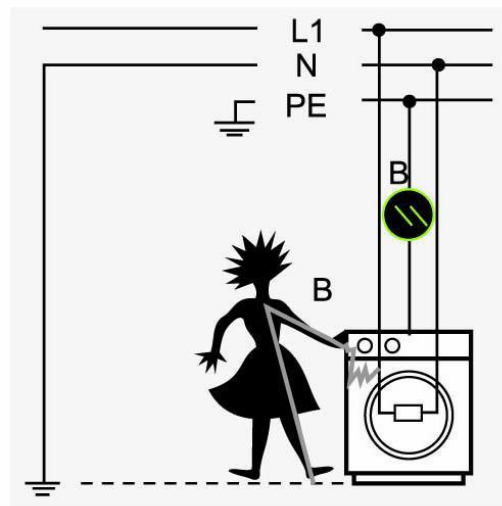


Figura 2.2: Contato indireto [35]

O isolamento de um condutor é projetado para suportar correntes nominais e devem permanecer protegidos de atritos mecânicos a fim de preservar suas características dielétricas. No entanto, situações como sobrecarga ou o envelhecimento do próprio material podem levar esta capa protetora à degradação, permitindo que as carcaças dos aparelhos entrem em contato com as partes vivas, representando um perigo de choque oculto, pois muitas vezes o usuário não imagina que a parte externa dos equipamentos se encontra energizada.

Os contatos indiretos são particularmente perigosos, pois quando o usuário encosta a mão em uma massa (por exemplo, na carcaça de um equipamento de utilização), ele não suspeita de uma eventual energização acidental, provocada por falha ou por defeito interno no equipamento. Infelizmente, acidentes que envolvam a energização acidental de estruturas são bem comuns.

Um acidente recente desta natureza ocorreu em uma estação de ônibus do BRT de Madureira, região metropolitana do Rio de Janeiro, conforme reportagem de jornal mostrada na Figura 2.3. Uma criança de quatro anos, ao passar pela roleta, levou uma descarga elétrica, devido a uma provável falha de isolamento das partes energizadas, fazendo com que as partes metálicas da catraca ficassem acidentalmente energizadas. A criança teve duas paradas cardíacas e precisou ser internada, ficando em coma induzido.

Felizmente a criança sobreviveu a este acidente, pois foi socorrida e reanimada a tempo por um policial.



Figura 2.3: Reportagem de jornal relatando o acidente no BRT [2]

As consequências deste tipo de acidente são alterações do ritmo cardíaco, podendo ocorrer a fibrilação e parada cardíaca, contrações musculares, asfixia, queimaduras, ausência de oxigênio em todo o organismo por falência do sistema respiratório, alterações profundas no sangue provocadas pelos efeitos térmicos e eletrolíticos da corrente elétrica.

Outras consequências como os danos materiais também podem ocorrer. Podemos citar a quebra de material de apoio, danos a ferramentas e objetos de uso pessoal e incêndios.

2.1.2 Descargas atmosféricas

Este acidente é caracterizado por descargas de correntes de natureza impulsiva de vários quiloampères da nuvem para o solo, sendo originado por fenômenos naturais conforme mostra a Figura 2.4. Nessa ocorrência, pessoas, animais, rede elétrica, estruturas metálicas ou prediais localizadas na terra podem ser atingidos, sofrendo vários danos.



Figura 2.4: Descarga atmosférica [3]

Essa eventualidade pode provocar surtos de tensão induzidos ou diretos. Os surtos indiretos ocorrem quando as descargas atmosféricas atingem as linhas de transmissão e distribuição de energia e incidem diretamente em árvores, estruturas ou no solo, as ondas eletromagnéticas originadas pela corrente elétrica que circula no canal da descarga atmosférica se propagam pelo meio (geralmente o ar), induzindo corrente elétrica e, por conseguinte, tensões induzidas nos condutores metálicos que estiverem em seu raio de alcance. Estima-se essa distância da ordem de 1 a 3 km [35]. Os surtos diretos ocorrem quando uma descarga atmosférica incide diretamente sobre a edificação ou sobre pontos muito próximos a eles, todos os elementos metálicos ali existentes e o eletrodo de aterramento ficam, por frações de segundo, submetidos a níveis diferentes de tensão. Essas diferenças de tensão vão gerar correntes de surto que circularão por diversos pontos da estrutura, inclusive, principalmente pela instalação elétrica. Dessa forma, este incidente pode causar sérios prejuízos.

Segundo dados fornecidos pela ABRACOPEL, o número de acidentes envolvendo descargas atmosféricas (raios) foi de 1.222 em 2015 (em 2014, este total foi de 1038 acidentes). As descargas atmosféricas foram responsáveis por 89 acidentes, sendo que 46 pessoas perderam a vida em 2015 [1].

Também, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE [4], o fenômeno causa prejuízos de US\$ 200 milhões ao Brasil anualmente. Os raios afetam as linhas de transmissão de energia, de telefonia, as indústrias, causam incêndios em estruturas e florestas, queda de estruturas e matam pessoas e animais.

As consequências deste tipo de acidente são sérias queimaduras e outros danos ao coração, pulmões, sistema nervoso e outras partes do corpo, através do aquecimento e uma variedade de reações eletroquímicas no caso de um raio atingir uma pessoa diretamente. A chance de sobreviver a uma incidência de um raio é de apenas 2% [5]. As pessoas também podem ser atingidas por correntes elétricas que se propagam no solo, a partir do ponto que o raio atingiu. São as chamadas descargas laterais.

2.1.3 Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização

Esse tipo de acidente é caracterizado quando um circuito é exigido acima do seu limite e há uma circulação de corrente superior a nominal. Esta ocorrência é muito comum em instalações elétricas, mas tem chamado atenção em ambientes habitáveis.

Atualmente, devido às facilidades de crédito e maior oferta de novos produtos, os usuários têm cada vez mais adquirido eletrodomésticos mais potentes, como ar

condicionado com uma maior capacidade de refrigeração, mas sem atentar para a capacidade do referido circuito, provocando uma sobrecarga conforme pode ser visto na Figura 2.5.



Figura 2.5: Tomada de corrente submetida a uma sobrecarga [6]

Outro costume corriqueiro é a utilização dos chamados benjamins, um conector onde é possível como ligar vários aparelhos em uma só tomada de corrente, sobrecarregando este circuito. Além disso, é comum que diante da atuação da proteção, os usuários troquem apenas o dispositivo de proteção por um de maior capacidade, deixando o circuito com os mesmos condutores de antes, o que representa um sério risco à integridade da instalação. Este tipo de ação pode exigir uma corrente da fonte muito superior àquela que condutor foi projetado para suportar, fazendo com que haja um aumento de temperatura, superior ao limite de sua isolação provocando sérios acidentes envolvendo danos pessoais e materiais.

As consequências deste tipo de acidente são os danos pessoais como queimaduras e choques elétricos devido ao aumento da temperatura e também pelo comprometimento da isolação do condutor. Além disso, danos materiais podem ocorrer. Devido ao aquecimento do circuito e a deterioração de seu material isolante, um curto circuito franco pode se estabelecer, oferecendo condições para que um incêndio ocorra.

Os acidentes envolvendo sobrecargas de energia que evoluíram para curtos-circuitos e então para incêndios subiram em 2014, e a região Sudeste se destaca neste quadro com 39% das ocorrências [1] conforme mostra a Figura 2.6.

Incêndios por curto-circuito - região 2014

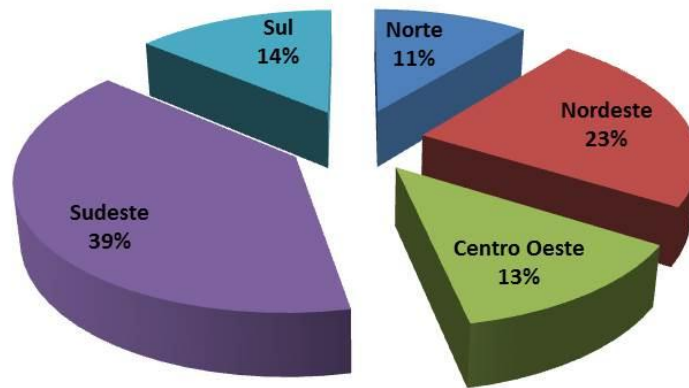


Figura 2.6: Incêndios por curto-circuito – região 2014 [1]

Do total de 295 incêndios originados por curtos-circuitos [1], 136 ocorreram em ambientes residenciais (casas, apartamentos, sítios, fazendas), sendo que 118 ocorreram em residências unifamiliares (casas). Nestes acidentes em residência, 20 pessoas perderam suas vidas conforme mostra a Figura 2.7.

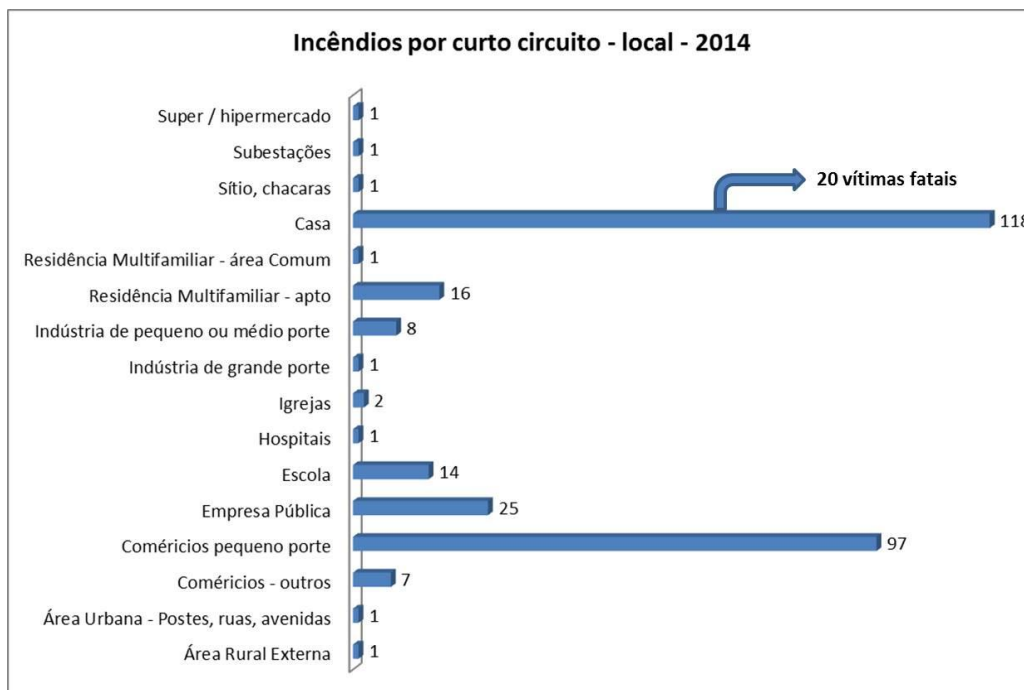


Figura 2.7: Incêndios por curtos-circuitos – local – 2014 [1]

2.1.4 Curtos-circuitos nas linhas de alimentação

Neste trabalho será considerado este termo para se referir ao tipo de acidente que poderá ocorrer nas linhas de distribuição ou nos ramais de alimentações das instalações elétricas. Nesse tipo de acidente, há uma drástica elevação da corrente drenada pelos circuitos, fazendo com que haja um grande aumento de temperatura nos materiais

elétricos, especialmente os condutores elétricos. Geralmente, neste tipo de ocorrência, o limite térmico dos condutores é alcançado, fazendo com o isolamento fique deteriorado, dando origem a outros acidentes como os incêndios.

As consequências deste tipo de acidente são os danos pessoais e materiais. Os danos materiais são a destruição de materiais isolantes e mecânicos dos componentes elétricos pela ação térmica da corrente de curto e o deslocamento de equipamentos elétricos pela ação dinâmica da corrente de curto, caso a proteção não abra o circuito em um tempo adequado. Além disso, poderá haver prejuízos financeiros com perda da produção de fábricas devido a interrupção do fornecimento de energia.

Os danos pessoais deste tipo de acidente são graves queimaduras, caso pessoas ou animais sejam atingidas por um condutor ou estrutura que por ventura se desprenda de seu lugar de origem. Também a interrupção de circuitos médicos pode representar um sério risco de vida para pacientes que dependem de aparelhos elétricos para sobreviver.

2.1.5 Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção

Esse tipo de acidente pode ocorrer quando há um aperto incorreto nos parafusos dos conectores, conexões corroídas, oxidadas ou por falhas de componentes elétricos. Além de erros de projetos, falhas em montagem e falta de manutenção preventiva podem provocar este tipo de anomalia.

A consequência deste tipo de anomalia é o aquecimento excessivo das conexões, graças ao aumento da resistência de contato, que somada a própria resistência dos materiais, pode deteriorar o isolamento dos cabos, terminais, deformação dos materiais, chegando a fundi-los, além de danificar equipamentos e por fim provocar incêndios conforme pode ser visto na Figura 2.8.

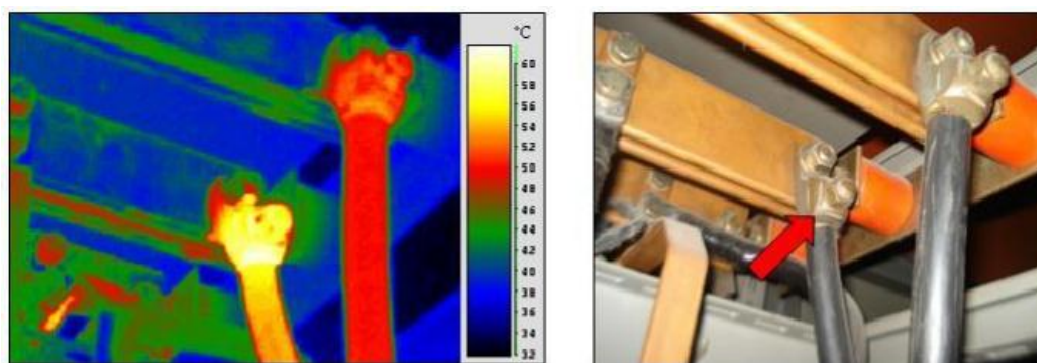


Figura 2.8: Ponto quente em uma conexão elétrica obtido através da técnica da termografia [7]

2.1.6 Seccionamento inesperado de circuitos

O seccionamento inesperado pode ocorrer diante de algumas circunstâncias. Pode se dar por uma ação humana indevida no controle da rede elétrica. Neste caso, há um acionamento voluntário e direto dos equipamentos de manobra e proteção dos quadros de distribuição. Também, em subestações, pode haver um acionamento elétrico indevido dos botões e chaves elétricas dos painéis de comando e força, abrindo disjuntores que suprem circuitos importantes. Este acidente pode acontecer também pela ação indevida da proteção. Neste caso, os relés podem estar com defeito. A abertura também pode ocorrer quando há uma falta no sistema, provocando assim uma ação da proteção a fim de preservar o sistema de eventuais danos. Quando estas situações ocorrem, a alimentação elétrica dos circuitos é cortada, podendo representar sérios danos.

As consequências deste acidente são a queima de dispositivos elétricos, sobretensões, prejuízos nas linhas de produção, interrupção inadequada dos serviços, inclusive aqueles essenciais como os equipamentos médicos cirúrgicos e de CTIs, pânico e ruídos excessivos. Esta primeira eventualidade poderá provocar outros acidentes elétricos, pois a partir do seccionamento inesperado de algum circuito, haverá perda de carga, fazendo com que a tensão no receptor aumente. Dessa forma, a proteção contra sobretensões poderá atuar, tirando outros circuitos de operação.

2.1.7 Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas

Este acidente é caracterizado pelo deslocamento de estruturas vivas para lugares que não ofereçam condições de segurança para as pessoas e animais, pois a maior parte da rede aérea de distribuição é desencapada ou não isolada. Alguns cabos e fios têm uma capa que não oferece nenhuma proteção às pessoas. Serve apenas para protegê-los do sol, da chuva e outras intempéries.

Esse tipo de acidente pode ser causado por chuvas, ventos, queda de árvores na rede elétrica, colisão em postes, instalação defeituosa ou falta de manutenção nos equipamentos e emendas em cabos em vez da troca total do trecho podem fazer com que um cabo ou uma estrutura se parta, deixando-os pendurados ou caídos no chão.

As consequências deste tipo de incidente são os danos pessoais e materiais. Os danos pessoais serão caracterizados por sérias queimaduras internas, parada cardíaca e respiratória e, por fim, a morte imediata, no caso de uma pessoa ou animal ser atingido.

Os danos materiais serão ocasionados pelos prejuízos financeiros por uma eventual queda das estruturas elétricas no solo, podendo atingir toda sorte de outras estruturas. Outros acidentes poderão ocorrer, como incêndios devido ao contato das estruturas de alta tensão com outras estruturas no solo.

Esse acidente que tem chamado atenção e se tornado recorrente, tendo em vista os diversos casos noticiados pela mídia. Esse tipo de eventualidade é uma das mais perigosas e aleatórias que podem ocorrer.

Diversas reportagens já relataram os casos em que cabos de alta tensão que caíram sobre veículos em ruas, inclusive com vítimas fatais.

Um acidente desta natureza chamou atenção em São Gonçalo, na região metropolitana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2016. Nesta ocasião, [8] cinco pessoas de uma mesma família foram atingidas por uma descarga elétrica fortíssima, sendo que quatro das cinco pessoas morreram na hora conforme mostra a Figura 2.9.



Figura 2.9: Reportagem de jornal relatando a morte de uma família em São Gonçalo [8]

No caso de queda de cabos em vias públicas, esse acidente é caracterizado pela presença de condutores energizados expostos em calçadas e nas ruas conforme pode ser visto na Figura 2.10.



Figura 2.10: Cabo de alta tensão caído na rua [9]

2.1.8 Sobretensões

Sobretensões podem ser transitórias ou permanentes. As transitórias são causadas por descargas atmosféricas ou por manobras e rompimentos na rede. Já as sobretensões permanentes são causadas pelo rompimento de cabos da rede elétrica, falha de isolamento para outra instalação de tensão mais elevada ou a perda do condutor neutro da instalação.

As consequências deste tipo de acidente são sérios prejuízos materiais e pessoais. Como danos materiais, destacam-se a queima de equipamentos elétricos, principalmente em ambientes residenciais, resultando em diversas ações em trânsito na justiça contra as concessionárias de energia elétrica. Em residências, esse tipo de anomalia é comum e recorrente, devido ao aumento da tensão da rede provocada principalmente por manobras na rede e por descargas atmosféricas. Já em ambientes industriais, destacam-se os danos como a destruição de materiais por explosões e incêndios em áreas classificadas, já que sobretensões podem danificar isolamentos e provocar faíscas ou por formação de arcos elétricos.

Como danos pessoais estes incidentes podem provocar choques violentos ou mortais nas pessoas ao tocarem em estruturas ou equipamentos sujeitos a estas sobretensões. Há casos relatados de choques desta natureza ao se tocar em telefone com fios em residências.

Um caso envolvendo morte causada por sobretensão ocorreu em São Lourenço da Serra (Grande São Paulo). Segundo a reportagem publicada na folha online [10] no dia 4 de janeiro de 2014, um cabo de alta tensão da Eletropaulo caiu sobre a linha telefônica no dia anterior, em um trecho próximo ao km 311 da autopista Régis Bittencourt. Esse acidente resultou na morte de uma dona-de-casa. Ao atender o

aparelho que havia tocado em sua casa – o que também aconteceu na maior parte dos domicílios da cidade-, a vítima, que morava às margens da rodovia, recebeu uma violenta descarga elétrica. Em seguida, teve parada cardiorrespiratória. A autópsia e a certidão de óbito apontaram que a causa da morte foi devido a uma descarga de alta tensão. Segundo a perícia, a vítima foi atingida por uma descarga de 12 kV.

2.1.9 Presença de tensões imprevistas

Este acidente é caracterizado pela presença de tensões não esperadas em pontos elétricos. Nesta modalidade de acidente inclui-se a alimentação de tomadas de energia com uma tensão diferente da esperada, ligação dos enrolamentos de motores em delta em vez de estrela, ou ainda a ligação de uma rede elétrica de forma indevida, como uma segunda fase no lugar do neutro.

Esta eventualidade pode ocorrer devido à negligência, por não identificar corretamente os pontos de tomada conforme pode ser visto na Figura 2.11. Mas também ocorre por erro humano no momento da ligação de um ou mais circuitos nos barramentos dos quadros de distribuição. Uma simples inversão da ligação do condutor neutro no quadro de distribuição poderá energizar vários circuitos com uma tensão muito superior à esperada. Poderão, por exemplo, surgir 220 V em vez de 127 V, ou ainda 380 V em vez de 220 V. Além disso, deve-se ter muito cuidado na ligação de motores elétricos no que tange a configuração dos enrolamentos conforme pode ser visto também na Figura 2.11.

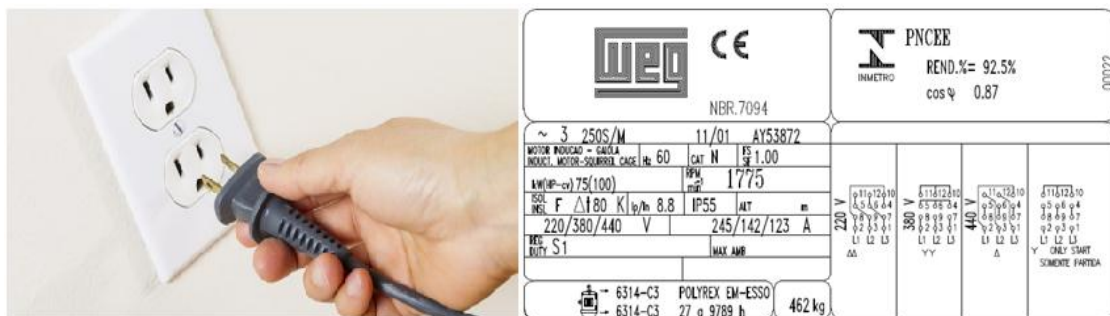


Figura 2.11: Identificação da tensão de tomadas e ligação de motores [11]

As consequências deste tipo de acidente são a queima imediata de aparelhos elétricos, pois o isolamento destes dispositivos está dimensionado para uma classe de tensão. Quando uma tensão superior a nominal é aplicada a aparelhos elétricos, pode se estabelecer um curto franco, o que poderá provocar outras ocorrências além da

destruição do próprio aparelho, como incêndios e queimaduras pela explosão dos circuitos elétricos por falha de isolamento.

2.1.10 Produção de arcos e faiscamentos

A produção de arcos e faiscamentos caracteriza-se por uma corrente elétrica que se estabelece em um meio dielétrico pela ionização das moléculas que o compõe.

Este acidente pode ocorrer pela abertura indevida de contatos sob carga, por contatos intermitentes em circuitos indutivos e capacitivos, entre pontos de uma instalação elétrica sob potenciais diferentes e descuidadamente próximos e não isolados.

Esta eventualidade ocorre em muitos materiais elétricos como em disjuntores, chaves magnéticas, seccionadores e cabos elétricos.

No caso de chaves magnéticas, um defeito na bobina magnética pode provocar a abertura intermitente dos contatos de força, acarretando no faiscamento das conexões elétricas, reduzindo a sua vida útil

Em ambientes industriais, em subestações e na rede elétrica em que estão envolvidas altas potências, o arco elétrico pode se tornar muito perigoso para as pessoas que atuam diretamente na operação e a manutenção destes sistemas, podendo provocar sérios acidentes conforme pode ser visto na Figura 2.12.



Figura 2.12: Arco elétrico em serviço de manutenção [12]

O arco elétrico (ou arco voltaico) é uma ocorrência de curtíssima duração (menor que 1/2 segundo), e muitos são tão rápidos que o olho humano não chega a perceber, conforme pode ser visto na Figura 2.13.



Figura 2.13: Arco elétrico formado na abertura de uma chave sob carga [12]

Os arcos elétricos são extremamente quentes. Próximo ao "laser", eles são a mais intensa fonte de calor na terra. Sua temperatura pode alcançar 20.000°C.

Os arcos elétricos são eventos de múltipla energia. Forte explosão e energia acústica acompanham a intensa energia térmica. Em determinadas situações, uma onda de pressão também pode se formar, sendo capaz de atingir quem estiver próximo ao local da ocorrência.

As consequências deste tipo de acidente são sérios danos pessoais e materiais.

Em se tratando de danos pessoais, a severidade da lesão para as pessoas na área onde ocorre a falha depende da energia liberada pelo arco, da distância que separa as pessoas do local e do tipo de roupa que utilizam. As mais sérias queimaduras por arco voltaico envolvem a queima da roupa da vítima pelo calor do arco elétrico. Tempos relativamente longos (30 a 60 segundos, por exemplo) de queima contínua de uma roupa comum aumentam tanto o grau da queimadura quanto a área total atingida no corpo. Isso afeta diretamente a gravidade da lesão e a própria sobrevivência da vítima. Se houver centelha ou arco, a temperatura deste é tão alta que destrói os tecidos do corpo. Também podem desprender-se partículas incandescentes que queimam ao atingir os olhos.

Além dos riscos de exposição aos efeitos térmicos do arco elétrico, também está presente o risco de ferimentos e quedas, decorrentes das ondas de pressão que podem se formar pela expansão do ar. Na ocorrência de um arco elétrico, uma onda de pressão pode empurrar e derrubar o trabalhador que está próximo da origem do acidente. Essa queda pode resultar em lesões mais graves se o trabalho estiver sendo realizado em uma

altura superior a dois metros, o que pode ser muito comum em diversos tipos de instalações.

Infelizmente este tipo de acidente não só faz parte da rotina de quem opera em sistemas de alta tensão. Acidentes desta natureza têm ocorrido por profissionais que cuidam da poda de árvores, operam guindastes e gruas e ocorre pela aproximação indevida das altas tensões.

Já como danos materiais, poderá haver derretimento e conseqüente fusão dos materiais ocasionada pela elevadíssima temperatura. Além disso, há a possibilidade de ocorrência de incêndios e explosões nos ambientes onde ocorra este incidente.

2.2 Efeitos fisiológicos do choque

Choque elétrico é a perturbação, de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica. Dependendo da intensidade e do tempo do choque elétrico, a corrente elétrica provoca maiores danos e efeitos fisiopatológicos no homem. O acidente provocado por choque elétrico, dependendo da intensidade, pode ser um dos mais terríveis para o homem, tendo como conseqüência a morte. As fotos de acidentes trágicos que poderiam causar constrangimentos pela gravidade do acidente não foram mostradas neste trabalho, por respeito às pessoas próximas das vítimas, mas podem ser vistas em [13].

Embora o circuito elétrico deva apresentar um nível de tensão capaz de vencer a resistência elétrica do corpo, o que determina a gravidade do choque é a intensidade da corrente que circula durante o choque, além do caminho percorrido pela corrente elétrica. Os mais graves são aqueles em que a corrente elétrica passa pelos órgãos cardiorrespiratórios, principalmente o coração.

O choque elétrico pode ocasionar contrações violentas dos músculos, tetanização, fibrilação ventricular do coração, asfixia, lesões térmicas e não térmicas, podendo levar a óbito, até mesmo como efeito indireto de quedas.

Contrações musculares

As contrações musculares, que embora não acarretem uma forma direta de lesões fatais, poderão originá-las de maneira indireta. Nesta situação, uma pessoa poderá ser levada a, involuntariamente, chocar-se com alguma superfície, sofrendo contusões e quedas. Uma grande parcela dos acidentes por choque elétrico provoca lesões provenientes de batidas e quedas.

Tetanização

A tetanização é um fenômeno decorrente da contração muscular produzida por uma corrente elétrica. Uma pessoa em contato com uma peça sob tensão pode ficar “agarrada” a ela no período em que durar a diferença de potencial, que, dependendo da duração, pode levar à inconsciência e até a morte.

Fibrilação ventricular

A fibrilação ventricular é uma alteração do ritmo cardíaco, levando à contração fora de ritmo do coração, que impede a circulação de sangue pelo corpo, resultando na falta de oxigênio nos tecidos do corpo e no cérebro. A fibrilação ventricular do coração poderá ocorrer se houver intensidades de corrente da ordem de 15 mA, que circulem por períodos de tempo superiores a um quarto de segundo.

Asfixia

A asfixia poderá levar a morte da vítima, se a intensidade da corrente elétrica for de valor elevado, normalmente acima de 30 mA, e circular por um período de tempo relativamente pequeno, normalmente por alguns minutos. Daí a necessidade de uma ação rápida, no sentido de interromper a passagem da corrente elétrica pelo corpo. A morte por asfixia advém do fato do diafragma se contrair tetanicamente, cessando assim, a respiração.

Lesões térmicas

As lesões térmicas podem gerar queimaduras de 1º, 2º e 3º graus nos tecidos, levando-os a destruição. As queimaduras, dependendo da intensidade e do caminho da corrente, poderão ser tanto superficiais, na pele, como profundas, inclusive nos órgãos internos. Também podem gerar um aquecimento, por efeito Joule, suficiente para a carbonização de ossos e cartilagens, além da queima de terminações nervosas e sensoriais.

Lesões não térmicas

As lesões não térmicas causam danos celulares, espasmos musculares, contração descoordenada do coração (fibrilação), parada respiratória e cardíaca, ferimentos resultantes de quedas e perda do equilíbrio.

Eletrólise do sangue

Ao ser submetido a um choque elétrico em corrente contínua, os sais minerais presentes no sangue se aglutinam, podendo provocar a mudança de concentração de alguns sais, como íon potássio (K^+) responsável pelo funcionamento do nodo sinoatrial, ou formar coágulos, resultando na redução da circulação sanguínea.

Fatores determinantes da gravidade

Dentre os fatores e as características que determinam a gravidade do choque elétrico e a variação dos efeitos da perturbação produzida pelo choque, podemos citar:

- i. O percurso da corrente através do corpo humano.
- ii. Características da corrente elétrica: intensidade, o tempo de duração, a espécie (contínua ou alternada) e a frequência.
- iii. As condições orgânicas do indivíduo.
- iv. Resistência do corpo humano.

Um resumo das consequências do choque no ser humano [34] foi elaborado pelo professor Dulcídio A. Pereira em uma publicação da GE nº10 – janeiro de 1956 e segue reproduzida na Tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1: Efeitos fisiológicos em função do nível de corrente [34]

Intensidade de corrente alternada (50-60 Hz) que percorre o corpo (mA)	Perturbações possíveis durante o choque	Estado possível logo após o choque	Ação de salvamento	Resultado final mais provável
1 (limiar da sensação)	Nenhuma	Normal	-	Normal
1 a 9	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta e contrações musculares	Normal	Desnecessária	Normal
9 a 20	Sensação dolorosa, contrações violentas, asfixias (1), anoxia (2), anoxemia (3), perturbações circulatórias.	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 a 100	Sensação insuportável, contrações violentas. Anorexia, Anoxia, Asfixia. Perturbações circulatórias graves, incluindo às vezes, fibrilação ventricular.	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte. Muitas vezes não há tempo de salvar e a morte ocorre em poucos minutos.
Acima de 100	Asfixia imediata, fibrilação ventricular, alterações musculares e queimaduras.	Morte aparente	Muito difícil	Morte
Alguns amperes	Asfixia imediata, queimaduras graves.	Morte aparente ou imediata	Praticamente impossível	Morte

(1) Asfixia: é a ausência de respiração

(2) Anoxia: é a ausência de oxigênio no sistema respiratório

(3) Anoxemia: é a ausência de oxigênio no sangue e é uma consequência da anoxia.

3 Prevenindo acidentes elétricos

Diante dos riscos de acidentes elétricos, faz-se necessário um sistema de proteção contra danos. Essa rede de proteção abrange não só aqueles que lidam diretamente com a operação e manutenção de sistemas elétricos, mas também os que apenas fazem uso deste recurso.

As eventualidades elétricas podem ocorrer em diversas circunstâncias. Assim algumas medidas são necessárias, a fim de tentar evitar toda sorte de incidente que possa acontecer.

A prevenção de acidentes deve começar na fase de elaboração de um projeto elétrico de qualquer instalação, passando pela manutenção e utilização. Além disso, as normatizações devem ser seguidas.

Algumas medidas no sentido de evitar ou minimizar os acidentes são: o dimensionamento adequado dos componentes, o uso de isolamento e separação elétrica, o uso de dispositivos de proteção dos circuitos, o uso de aterramento nas instalações e dispositivos de detecção de correntes de fuga, a instalação de para-raios e, ainda, procedimentos operacionais adequados e comportamentos defensivos perante a iminência ou diante de um acidente elétrico já estabelecido.

A seguir, serão analisados os casos mais recorrentes de riscos de acidentes em instalações elétricas, cada caso sob a ótica da proteção a fim de evitar cada uma das ocorrências citadas. No entanto, o objetivo deste capítulo não é focar na proteção elétrica com todo o seu rigor técnico, mas sim com uma linguagem simples, com o mínimo possível de termos técnicos, a fim de que o texto possa ser utilizado por pessoas leigas no assunto, contribuindo dessa forma para que os acidentes elétricos sejam minimizados.

3.1 Contatos com partes vivas ou energizadas

Já foi citado que os contatos com as partes vivas ou energizadas podem ocorrer de duas formas; através de contatos diretos ou indiretos, podendo este acidente ocorrer por imprudência, descuido ou ainda por negligência em instalações elétricas.

Contatos diretos

Este acidente pode ocorrer por diversos motivos: substituição de disjuntores em painéis de distribuição; fios desencapados; ato de desligar os eletrodomésticos pelos

fios; cortar o plugue de conexão dos eletrodomésticos e contato com emendas mal executadas em fios.

A substituição de disjuntores em um quadro de distribuição residencial pode representar um sério perigo, pois um descuido pode provocar um contato acidental no barramento vivo do quadro conforme pode ser visto na Figura 3.1.



Figura 3.1: Barramento vivo de um quadro de distribuição [14]

Os fios desencapados são os condutores de energia sem a capa protetora. A exposição da parte interna dos condutores poderá levar a um contato direto com as partes energizadas da instalação conforme pode ser visto na Figura 3.2.

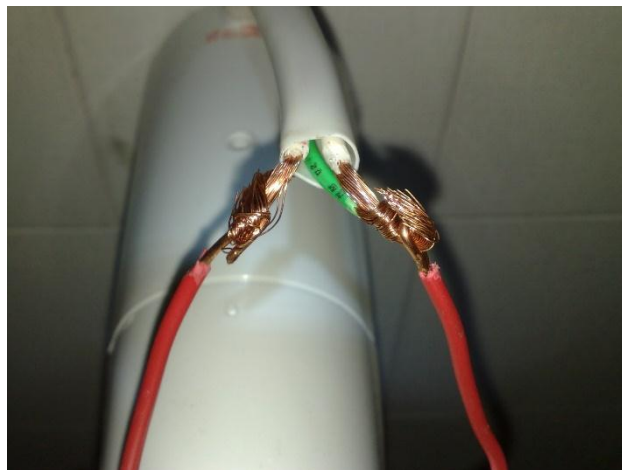


Figura 3.2: Fios desencapados [15]

Desligar os eletrodomésticos puxando os seus fios pode destruir a isolamento dos cabos por tração. Assim, as partes vivas podem ficar expostas, representando um risco de contato direto com as partes energizadas conforme pode ser visto na Figura 3.3.



Figura 3.3: Desligar eletrodomésticos puxando o fio [15]

O corte do plugue conector dos eletrodomésticos devido a um mau contato é uma atitude corriqueira especialmente em residências. Essa atitude expõe os usuários a choques elétricos perigosos, pois as partes energizadas ficarão expostas conforme pode ser visto na Figura 3.4.



Figura 3.4: Corte de plugue e partes energizadas aparentes [15]

A emenda de fios é a junção de vários trechos de condutores para formar uma extensão maior. Mesmo que se faça uma isolação com fita isolante, com o passar do tempo, esta capa irá se soltar, expondo a emenda conforme pode ser visto na Figura 3.5.

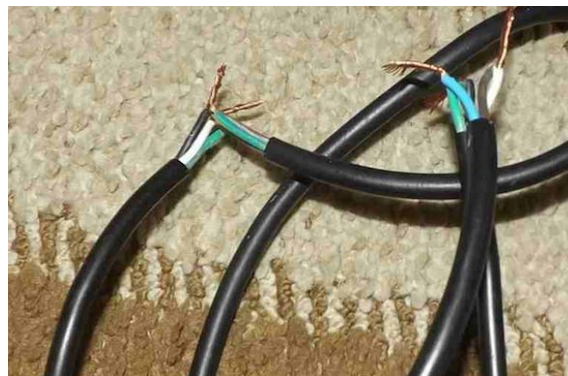


Figura 3.5: Emendas em fios [15]

A prevenção destes acidentes pode ser alcançada através de algumas medidas; como interpor barreiras físicas entre pessoas ou animais e as partes vivas de uma

instalação; afixar avisos de perigo; não efetuar reparos elétricos indevidos; evitar puxar os fios dos aparelhos ao desligá-los da tomada e evitar emendas de fios.

As barreiras são obstáculos feitos com placas de ferro ou acrílico, encobrendo ou mascarando os locais onde haja partes energizadas. Tem como objetivo evitar aproximação e contato com as partes vivas de uma instalação elétrica conforme pode ser visto na Figura 3.6.



Figura 3.6: Quadro de distribuição com espelho [16]

Os avisos de perigo são imagens que tem por objetivo chamar atenção de forma rápida e inteligível para os objetos ou situações que possam representar risco de vida em instalações elétricas conforme pode ser visto na Figura 3.7. Essa atitude pode ser muito eficaz para evitar acidentes em quadros de distribuição residencial, já que nestes locais, os usuários muitas vezes não se dão conta dos perigos que envolvem a eletricidade.



Figura 3.7: legenda de perigo de choque [17]

Os reparos indevidos em uma instalação elétrica são qualquer intervenção de usuários sem o devido conhecimento técnico na instalação a fim de corrigir alguma anomalia. Uma ação bastante corriqueira e que deve a todo custo ser evitada é a troca de

dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis) por outros de maior capacidade sem que se faça novos cálculos da capacidade de corrente dos condutores. Esta ação pode fazer com que como consequência da sobrecarga, o isolamento dos cabos seja deteriorado, permitindo que partes energizadas da instalação fiquem expostas, propiciando um contato direto dos usuários. A substituição de disjuntores só deve ser feita por profissionais qualificados e habilitados.

O costume de desligar eletrodomésticos da tomada puxando-a pelo fio deve ser evitado, pois, com o tempo, o isolamento poderá ficar comprometido e as partes energizadas ficarão expostas, podendo causar choques por contato direto com estes pontos.

As emendas em cabos são ações corriqueiras em residências. Mas devem ser evitadas a todo custo, pois as partes energizadas podem ficar expostas com o passar do tempo e provocar choques por contato direto com as partes que foram emendadas. Extensão é sinônimo de falta de pontos de tomada de energia. Neste caso, o ideal seria contratar um técnico a fim de que ele possa avaliar a possibilidade de se instalar mais pontos de tomadas. Caso haja a necessidade de se utilizar uma extensão, esta deve ser contínua, sem emendas. Ou em último caso, existem conectores a venda no mercado para se realizar este tipo de procedimento de uma forma mais segura, sem usar fitas isolantes que com o movimento e atrito podem se soltar conforme mostra a Figura 3.8.



Figura 3.8: Conector para emenda de fios [15]

Contatos indiretos

Este tipo de acidente pode ocorrer por diversos motivos: atrito mecânico sobre os condutores; tração mecânica; envelhecimento natural dos condutores; contato de um elemento energizado com a carcaça e correntes de fuga.

O atrito mecânico sobre a isolação é uma ação de materiais abrasivos sobre a capa protetora dos cabos. Nessa situação, a parte viva do condutor pode ficar exposta, permitindo o contato com as carcaças dos eletrodomésticos. Essa situação pode ocorrer com eletrodomésticos como ferro de passar roupas, máquina de lavar, micro-ondas, máquina de lavar louças e geladeira, permitindo a energização acidental da parte externa desses aparelhos.

A tração mecânica ocorre quando os fios são puxados de forma inapropriada. Essa é uma situação comum em residências, onde, para desligar os aparelhos da tomada, os usuários puxam os cabos dos eletrodomésticos. Com o passar do tempo, as partes vivas podem se desprender dos terminais e fazer contato com as carcaças dos aparelhos, ocasionando este tipo de acidente.

O envelhecimento natural dos condutores faz com que as propriedades dos materiais que compõe o isolamento fiquem comprometidas. As consequências serão as mesmas do acidente acima.

O contato de um elemento energizado com a carcaça pode ocorrer por fadiga dos materiais de sustentação. Da mesma forma, as consequências serão as mesmas do acidente acima.

As correntes de fuga estão presentes em qualquer material isolante. No entanto, sob certas circunstâncias, o valor desta corrente pode passar do limite tolerável e provocar um choque por contato indireto. Essa situação é comum especialmente em ambientes úmidos como áreas laváveis, cozinhas e banheiros. Nesses ambientes, a umidade faz com que as propriedades do isolamento dos condutores fiquem comprometidas, diminuindo a resistência de isolamento e do corpo. Dessa forma, poderá ocorrer choque por contato indireto, caso usuários toquem em materiais como registros metálicos instalados nesses ambientes.

A prevenção deste tipo de acidente envolve uma série de medidas: construção de uma malha de aterramento; conectar todos os aparelhos elétricos nesta malha; utilizar dispositivos a corrente residual (DR) na proteção dos circuitos elétricos; utilizar

materiais de qualidade; efetuar manutenções regulares na instalação elétrica e evitar puxar os fios dos eletrodomésticos.

O sistema de aterramento é uma rede de condutores que liga todos os pontos elétricos de uma instalação à haste de aterramento. Essa rede irá oferecer um caminho preferencial para as correntes elétricas de choque que, em caso da perda da isolação elétrica, não irão passar pelas pessoas e animais que estarão protegidos de choques. Todos os eletrodomésticos devem ser conectados a este sistema. A conexão pode ocorrer diretamente pela tomada dos aparelhos no momento da ligação nos pontos de energia, ou ainda pela ligação do fio de aterramento, que vem separado em alguns aparelhos como em chuveiros, à malha de aterramento conforme mostra a Figura 3.9.

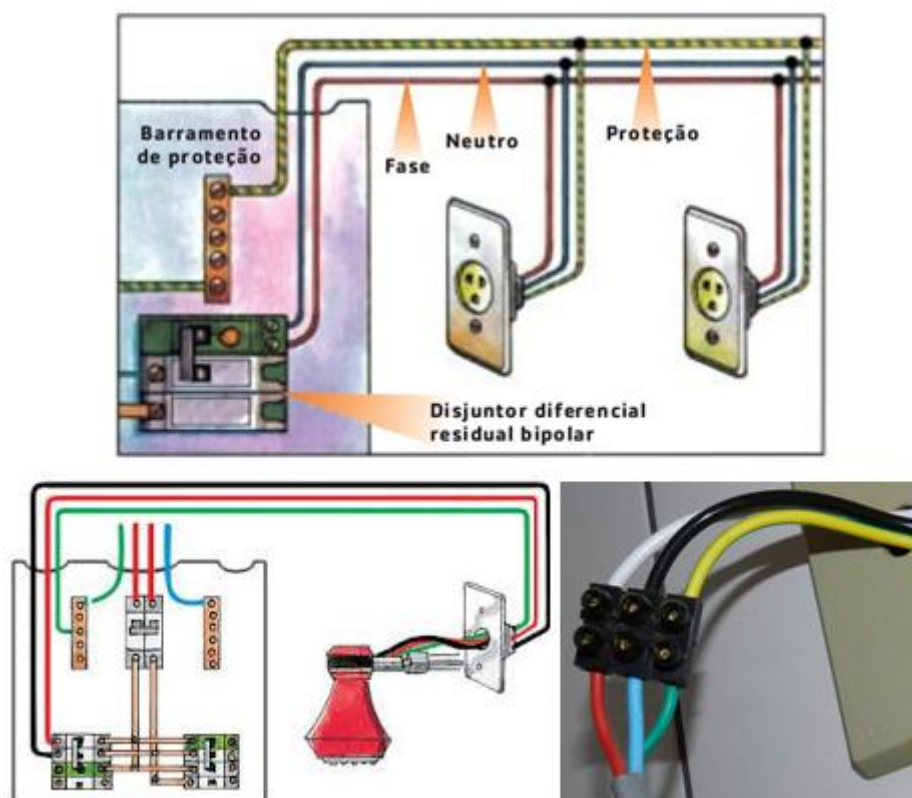


Figura 3.9: Sistema de aterramento e conexão do condutor de aterramento [18] e [19]

O dispositivo a corrente diferencial (DR) é um equipamento de proteção que tem a capacidade de detectar pequenas fugas de corrente em uma instalação elétrica, abrindo o circuito no caso de detecção de fuga correntes da ordem de mA conforme mostra a Figura 3.10.



Figura 3.10: Dispositivo à corrente diferencial-residual DR [20]

Esta capacidade é alcançada através de seu circuito interno, que monitora o que ocorre de estranho na instalação elétrica. Dependendo do arranjo do sistema de aterramento, essa função pode ser alcançada ainda por disjuntores comuns, pois a corrente de choque poderá ter um alto valor no caso de defeito e, dessa forma, o dispositivo será sensibilizado e irá atuar. No entanto, de maneira geral, disjuntores não podem assumir este tipo de função, tendo em vista que no caso de pequenas correntes envolvidas, este dispositivo não será sensibilizado. No entanto, estas mesmas pequenas correntes são capazes de causar sérios danos pessoais, caso passem pelo corpo humano ou de um animal.

O dispositivo DR é eficaz na prevenção de acidentes por contato indireto em locais sujeitos a umidade como cozinhas, áreas laváveis, copas e banheiros.

Materiais de qualidade podem ser obtidos através de alguma certificação de algum órgão que realize testes de qualidade como o INMETRO¹. Materiais elétricos com uma certificação de qualidade foram submetidos a testes rigorosos. Em especial, os condutores elétricos passam por testes de resistência de isolamento, testes de tração, entre outros. Assim podem oferecer uma maior segurança quanto aos acidentes desta natureza, quando em operação.

No caso de um acidente em andamento, devem ser tomadas algumas medidas. Neste incidente, o socorro deve obedecer a três passos:

i. Pedir ajuda.

O primeiro passo é sempre pedir ajuda. Ligue para o SAMU (192) ou para o corpo de bombeiros (193) e peça ajuda imediata.

ii. Resgate da pessoa ferida.

¹ INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

Caso a vítima tenha tido um contato com um condutor ou fio em baixa tensão, o primeiro passo a tomar é separar esse contato da pessoa ferida antes de tentar socorrê-la. Nunca toque no corpo da vítima durante o choque elétrico. Deve-se proceder da seguinte forma:

- i. Desligue o aparelho pressionando o interruptor ou o disjuntor conforme mostra a Figura 3.11. Lembre-se que uma pessoa que tenha sofrido este acidente em um lugar alto pode cair no chão quando a energia for cortada. Neste caso, para tentar reduzir o impacto da queda, use colchões, roupas, espuma, uma lona ou um cobertor.

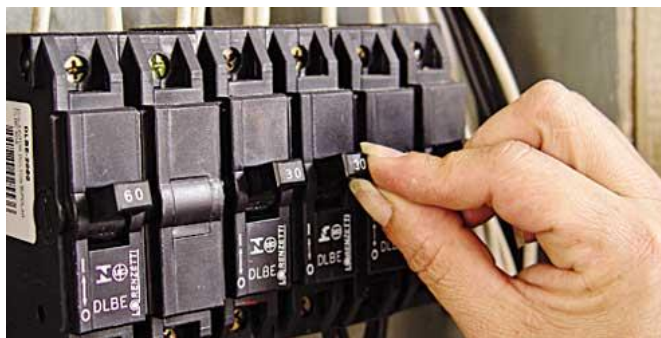


Figura 3.11: Abertura manual de disjuntores [21]

- ii. Nos casos em que é impossível desligar, ou se a operação dura muito tempo porque a chave está longe demais, por exemplo, tente puxar a pessoa eletrocutada ou o fio sob tensão com um elemento não condutor (corda, cadeira de madeira, cinto de couro, vara ou ramo seco, etc.). Jamais toque diretamente a pessoa se ela ainda estiver em contato com a corrente elétrica, caso contrário, também será afetado.
- iii. Primeiros socorros

Depois de um choque, a vítima, muitas vezes, apresenta um estado de morte aparente, o que pode ser devido à perda de consciência, uma parada respiratória ou parada circulatória. Cada caso requer um comportamento diferente.

a) Perda de consciência.

Poderá haver perda temporária da consciência, sem respiração. Caso o batimento cardíaco e pulso sejam perceptíveis, deite o ferido numa posição segura.

A posição de recuperação é estender a pessoa de lado, pois, em caso de vômito, expulsão de sangue ou secreções da boca, ela não vai engasgar.

Também é importante monitorar a respiração e ao estado de sua circulação até a chegada do socorro médico.

b) Parada respiratória.

Neste caso, a ausência de pulsação e de batimentos cardíacos estão adicionados à perda de consciência e da falta de respiração.

É extremamente importante, neste caso, começar as manobras de ressuscitação cardiopulmonar, ou seja, combinado respiração boca-a-boca e massagem cardíaca.

3.2 Descargas atmosféricas

A tendência dos raios é atingir os pontos mais altos da terra. Dessa forma podem atingir linhas de transmissão; estruturas de concreto; estruturas metálicas; carros; pessoas e animais no solo. Provocam sobretensões no sistema, ocasionando a queima de equipamentos, estruturas de concreto, perfurando-as até que a descarga encontre as ferragens e possam seguir para o solo. A quantidade de energia é tão alta, que podem ser gerados incêndios. Nas estruturas metálicas, há formação de arcos e faiscamentos podendo provocar explosões, caso estas estruturas estejam em áreas classificadas. Os efeitos térmicos da descarga podem causar sérias queimaduras internas e externas, além de parada cardíaca e respiratória, quando pessoas e animais são atingidos.

A prevenção deste tipo de acidente envolve uma série de medidas: uso de para-raios e DPS, blindagem de estruturas, além de comportamento defensivo diante de uma situação que envolva raios.

O para-raios de linhas é um equipamento de proteção que tem como objetivo manter a tensão das linhas de distribuição dentro de níveis toleráveis conforme mostra a Figura 3.12. No momento em que a linha é atingida pela descarga, ocorre uma elevação de tensão. Essa elevação de potencial em relação a terra faz com que a impedância entre o dispositivo e a terra seja reduzida bruscamente, permitindo que a corrente de descarga seja drenada para a terra através da malha de aterramento. Isso é alcançado através da propriedade não linear dos materiais com que são produzidos estes dispositivos. Assim a tensão no ponto de sua instalação é mantida dentro de valores aceitáveis. Estes equipamentos também são utilizados para proteger diversos equipamentos que compõe uma subestação de potência ou ainda um único transformador de distribuição instalado em um poste.



Figura 3.12: Para-raios de linhas de distribuição [22]

O dispositivo de proteção contra surto (DPS) é um dispositivo destinado a limitar as sobretensões transitórias (chamado comutador de surto) ou a desviar correntes de surto (chamado comutador de tensão ou curto-circuitante) conforme pode ser visto na Figura 3.13. Seu uso é mais nos setores comercial e industrial para evitar a queima de equipamentos.



Figura 3.13: Supressor de surto [23]

A blindagem contra as descargas atmosféricas é um tipo de prevenção que pode ser alcançado através de um Sistema contra Descargas Atmosféricas SPDA.

Um SPDA tem por objetivo básico interceptar raios e conduzi-los para a terra. Considerando a complexidade do modelo e as simplificações que são feitas, tem-se que não se pode garantir 100% de proteção da estrutura. No entanto, pode-se esperar as seguintes reduções na vulnerabilidade de uma edificação às descargas atmosféricas:

- i. Drástica redução da ocorrência de danos por quedas diretas (falhas de blindagem).
- ii. Quando ocorrerem, estes danos serão de menor magnitude, em função do fato de as falhas de blindagem estarem associadas a raios de baixa intensidade de corrente.

Com relação ao projeto, o dimensionamento da rede captora de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas diretas de uma edificação vem a ser um problema essencialmente geométrico, uma vez definido o nível de proteção mais adequado.

São três os modelos de proteção admitidos pela normatização brasileira:

- i. Modelo Eletromagnético.
- ii. Método de Franklin.
- iii. Método de Faraday.

O comportamento diante de uma situação de incidência de raios envolve algumas medidas:

- i. Durante uma tempestade, se recomenda não sair de casa e não permanecer nas ruas.
- ii. Caso esteja em locais descampados, ao perceber a formação de tempestades, deixar o local imediatamente.
- iii. No caso de não ser possível deixar o local descampado, permanecer agachado com as cabeças no joelho, tornando-se tão pequenos, quanto possível. Jamais se deve deitar no chão, pois a descarga atingirá diretamente essa superfície.
- iv. Evitar ficar próximo de hastes de metal, assim como no perímetro em seu entorno.
- v. Em casa, não se deve usar o telefone, com exceção do tipo “sem fio”, nem se aproximar de objetos metálicos (janelas, grades ou tomadas). Os eletrodomésticos devem ser desligados da rede elétrica.
- vi. Se realmente for necessário permanecer nas ruas, deve-se ficar longe de linhas de energia ou árvores isoladas.
- vii. Não se deve segurar objetos metálicos longos, como tripés, varas de pesca e guarda-chuvas.
- viii. Não se deve empinar papagaio ou aviõezinhos com fio.

- ix. Não se deve andar a cavalo, pois o cavaleiro comporta-se como uma ponta e poderá atrair o raio.
- x. Não se deve praticar natação.

No caso de um acidente em andamento, devem ser tomadas as mesmas medidas já citadas no caso de acidente por contato indireto da seção de contatos com as partes vivas ou energizadas deste capítulo:

- i. O primeiro passo é pedir socorro aos bombeiros pelo telefone 193.
- ii. Localize as partes do corpo comprometidas. Lembre-se que toda queimadura elétrica tem um ponto de entrada (por onde entrou a corrente elétrica) e um ponto de saída (parte do corpo que fez contato com a terra). Resfrie os locais afetados somente com água fria abundante ou panos molhados, por vários minutos. Não aplique manteiga, gelo, pomada ou pasta de dente nos ferimentos, pois só vão piorar a situação. Queimaduras na face, mão, pés e órgãos genitais merecem todo o cuidado, independentemente da extensão da área afetada.
- iii. Para saber se a pessoa está respirando, aproxime o ouvido à boca e observe o movimento do tórax (a parada respiratória leva à morte no período de 3 a 5 minutos). Verifique também se a vítima teve parada cardíaca sentindo a pulsação nos punhos, pescoço ou virilha. Nesses casos, deite a pessoa de barriga para cima, abra a boca dela, puxe a língua e retire dentaduras ou pontes, para facilitar a entrada do ar. Caso não sendo constatados os sinais vitais, deve-se iniciar um procedimento de ressuscitação com respiração boca-boca e massagem cardíaca.

3.3 Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização

Uma sobrecarga poderá ocorrer por diversos motivos: uso de benjamins e extensões; falta de adequação da potência de alimentação a quantidade de aparelhos elétricos em uso; falta de identificação dos circuitos nos quadros de distribuição; falta de circuitos exclusivos (tomadas de uso específico) para aparelhos que consomem grande potência e intervenções indevidas na instalação elétrica.

O uso de benjamins e extensões (Figura 3.14) sinaliza para um mau dimensionamento da instalação elétrica pela falta de tomadas suficientes para a quantidade de aparelhos em uso. O uso destes dispositivos pode triplicar a corrente

drenada pelo circuito alimentador, contribuindo para o surgimento de sobrecargas, podendo gerar outros acidentes como incêndios.

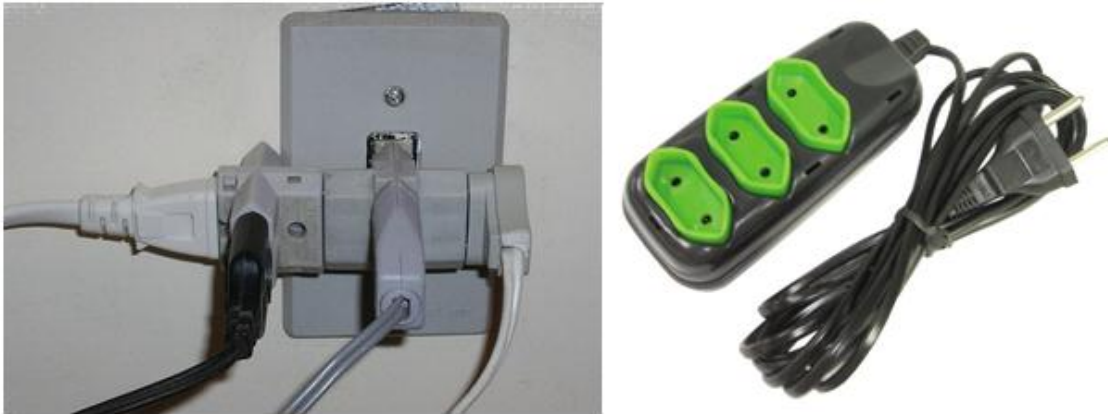


Figura 3.14: Benjamins e extensões [24] e [25]

A falta de adequação da potência instalada da quantidade de aparelhos elétricos em uso é um problema que atinge principalmente as residências antigas, dado que o perfil de consumo de energia mudou demasiadamente ao longo dos anos. Antigamente, as cargas possuíam um perfil comportado, eram compostas de cargas majoritariamente resistivas. Hoje com o advento da eletrônica de potência que utiliza fontes chaveadas, as cargas deixaram de ser lineares. O significado desta dinâmica é a presença de harmônicas de corrente na rede elétrica, que nada mais são do que sinais com frequência múltipla da fundamental conforme pode ser visto na Figura 3.15. Uma consequência imediata dos sinais harmônicos é o aumentado corrente total do condutor de fase e principalmente do neutro da instalação, tendo em vista que as terceiras harmônicas e suas múltiplas se somam neste condutor representando um aumento considerável de corrente, provocando uma sobrecorrente, aquecimento e até incêndios.

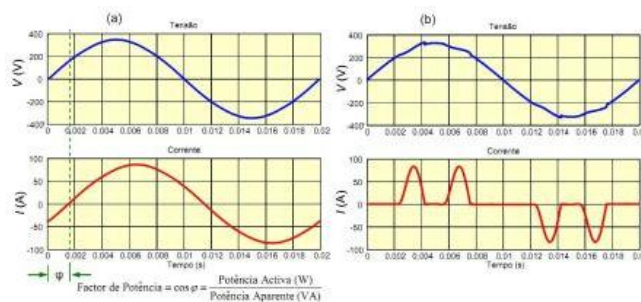


Figura 3.15: Dinâmica no perfil de carga [26]

A falta de identificação dos circuitos nos quadros de distribuição (Figura 3.16) é uma questão séria, pois os usuários não terão ideia de que local da instalação será

protegido por um determinado disjuntor, assim como a corrente máxima que pode circular pelo circuito que alimenta este local.



Figura 3.16: Identificação dos circuitos [16]

A falta de circuitos exclusivos para aparelhos que consomem grande potência é um problema que atinge muito as instalações mais antigas. Hoje, existem muitos eletrodomésticos que facilitam a vida das pessoas e que consomem grande quantidade de energia. Aquecedores de ambiente, máquina de lavar louça, micro-ondas, ar condicionado e chuveiro elétrico são alguns exemplos. Todos estes aparelhos precisam ter circuitos de tomadas de uso específico conforme mostra a Figura 3.18, calculados de acordo com a potência exigida por cada um desses dispositivos. No entanto, é comum que usuários liguem estes eletrodomésticos em qualquer ponto de tomada. Essa atitude pode provocar intensas sobrecargas, podendo gerar incêndios.



Figura 3.17: Tomadas de uso específico [27]

A intervenção indevida na rede elétrica ocorre com frequência em ambientes habitáveis como residências. Essa situação ocorre quando há qualquer mudança dos componentes da instalação como cabos, disjuntores e pontos de tomadas por outros de diferentes capacidades. Uma situação bastante comum é a troca de disjuntores de quadros de distribuição residencial por outros de maior capacidade de corrente, quando ocorrem constantes aberturas destes dispositivos conforme mostra a Figura 3.18. A substituição desses dispositivos por outros de maior capacidade (corrente) faz com que a corrente convencional de operação aumente, no entanto, os condutores (caso não sejam substituídos por outros de maior capacidade de corrente) terão o limite térmico da isolamento alcançado, comprometendo esta capa protetora. A partir daí, pode ser estabelecido um curto circuito franco fase-neutro ou fase-fase, podendo dar início a um incêndio.



Figura 3.18: Troca de disjuntores em um quadro de distribuição [27]

A prevenção deste tipo de acidente pode ser feita através de algumas medidas, como: utilização de aparelhos elétricos compatíveis com a capacidade do circuito ou tomada de energia; evitar o uso de benjamins e extensões elétricas; adequar a potência instalada da quantidade de eletrodomésticos em uso; identificar os circuitos da instalação e não substituir disjuntores por outros de maior capacidade, sem seguir as prescrições de normas para instalação de disjuntores.

O uso de benjamins e extensões deve ser evitado a todo custo, só o fazendo para cargas muito pequenas, cuja soma das potências seja compatível com os condutores do circuito, ou com o pleno conhecimento da ação executada e, mesmo assim, para uso temporário. Caso haja uma necessidade de mais pontos de tomada para ligar os

eletrodomésticos, deve-se recorrer a um profissional para que se possa redimensionar a rede a fim de adicionar mais circuitos de tomadas e até solicitar um aumento de carga junto à concessionária de energia.

A adequação da potência instalada à quantidade e tipo de eletrodomésticos (cargas não lineares) em uso é uma solução mais eficiente e segura contra sobrecorrentes. Neste caso, um profissional irá fazer um estudo do novo perfil de carga a fim de elaborar um novo projeto elétrico, que supra com segurança a necessidade dos novos aparelhos de utilização.

A identificação dos circuitos de distribuição é importante, pois informa ao usuário a capacidade de corrente que cada circuito pode fornecer, além das tomadas servidas por este circuito conforme mostra a Figura 3.19. Havendo identificação dos circuitos no quadro, o usuário pode ter uma ideia aproximada da capacidade das tomadas de certo local da instalação. Desta forma, pode-se evitar que aparelhos que consomem grande quantidade de potência sejam ligados em qualquer tomada, evitando, portanto, uma sobrecarga nos circuitos.

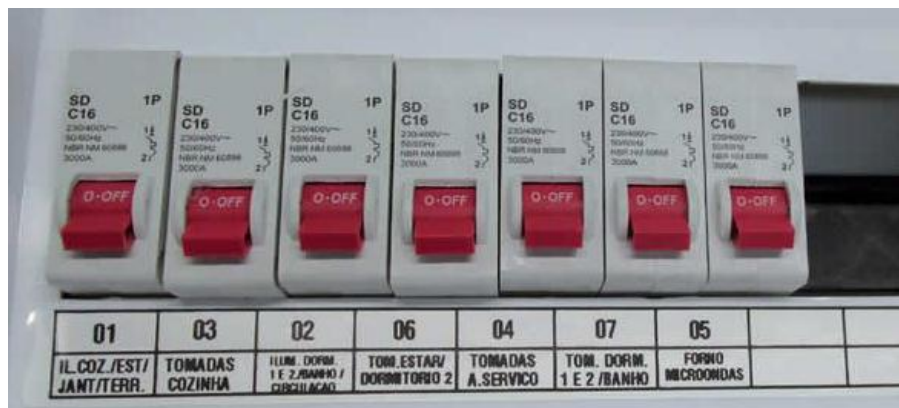


Figura 3.19: Identificação dos circuitos em um quadro de distribuição [28]

A troca de disjuntores ou fusíveis por outros de maior capacidade é o primeiro passo para um incêndio na instalação elétrica. Nunca se deve substituir estes dispositivos por outros de maior capacidade em caso de abertura constante do circuito, sem antes fazer uma análise das causas. Caso o circuito esteja subdimensionado em termos de potência, um profissional irá efetuar não só a troca dos disjuntores, mas também irá trocar os condutores por outros de maior capacidade de corrente. A função desses dispositivos de proteção é preservar os circuitos, eletrodomésticos e a instalação elétrica em geral, logo se houver sobrecarga, é normal que ele atue.

No caso de um acidente em andamento, devem ser tomadas algumas medidas. Caso haja odor de borracha queimada, deve-se imediatamente desligar a chave geral da

instalação. Deve-se, nesta situação, acionar um profissional qualificado e habilitado para que realize os devidos reparos. Em caso de um princípio de incêndio, nunca se deve utilizar água a fim de apagar um incêndio iniciado na instalação elétrica, pois este líquido poderá conduzir eletricidade e provocar outro acidente por choque. Geralmente os prédios contam com extintores de pó químico ou de CO₂, que devem ser utilizados neste tipo de situação. Sempre se deve acionar os bombeiros pelo telefone 192.

3.4 Curto-circuito nas linhas de alimentação

Um curto-circuito pode ocorrer por diversos motivos: materiais e equipamentos antigos, ventos fortes; queda de árvores nas linhas; descargas atmosféricas; vandalismo e falta de manutenção.

Os materiais e equipamentos antigos podem ocasionar este tipo de acidente em instalações prediais. Ainda hoje, existem muitas instalações elétricas da década de 60 e 70, que operam com os mesmos cabos de energia, chaves seccionadoras e disjuntores da época da construção. Essa questão pode representar sérios riscos de curto-circuito, dado que os equipamentos elétricos também têm uma vida útil, principalmente os condutores elétricos, pois são submetidos por vezes a sobrecargas, que os aquecem acima do limite térmico do material isolante. Com o passar do tempo, também, novas cargas podem ser adicionadas à instalação, mas sem aumento de carga por parte da concessionária ou nenhuma modificação na instalação, o que contribui também para a deterioração dos cabos, favorecendo a ocorrência da falta.

Os ventos fortes podem danificar as estruturas de ancoragem dos componentes da rede elétrica. Como exemplo, os isoladores podem não suportar o aumento de carga mecânica provocado pela ação dos ventos, e quebrar, permitindo um contato com as estruturas aterradas, estabelecendo um curto-circuito.

A queda de árvores pode ocorrer devido aos acidentes automobilísticos, falta de manutenção dos órgãos responsáveis pela poda de árvores ou ainda por intempéries conforme mostra a Figura 3.20. Quando atingem as linhas de alimentação, provocam um curto circuito imediato. Neste caso, poderá existir um curto trifásico que é um dos mais perigosos para a rede elétrica, já que envolve uma corrente de grande intensidade, exigindo demasiadamente dos equipamentos da rede. Além disso, haverá perda de carga, deixando os consumidores sem energia.



Figura 3.20: Queda de árvore na rede elétrica [29]

As descargas atmosféricas, ao incidirem diretamente nas linhas de alimentação conforme pode ser visto na Figura 3.21. Este fenômeno pode provocar a disruptura do ar, pois elevam o potencial destes circuitos e um arco pode ser estabelecido, provocando um curto circuito nestes circuitos.



Figura 3.21: Incidência de descargas atmosféricas em linhas de alimentação [30]

O vandalismo é uma ação proposital no sentido de destruir os componentes elétricos da rede, como isoladores e cabos de energia. Além disso, também configura vandalismo atirar quaisquer objetos na rede elétrica como sapatos e outros objetos, conforme mostra a Figura 3.22.



Figura 3.22: Ações de vandalismo na rede elétrica [31]

A falta de manutenção pode permitir que materiais elétricos sofram fadiga, podendo ceder ou quebrar. Como consequência desta primeira eventualidade, poderá ocorrer um curto-circuito pelo contato de partes de condutores com diferentes potenciais da rede elétrica.

A prevenção deste tipo de acidente pode ser alcançada através de uma série de medidas: substituição de materiais antigos e adequação de carga; manutenções constantes nos equipamentos de suporte e ancoragem da rede elétrica; poda sistemática de árvores próximas da rede elétrica; investimento em treinamento de funcionários; supervisão automatizada de serviços por parte das concessionárias de energia; uso de religadores e fusíveis limitadores de corrente.

A substituição de materiais e adequação de carga devem ser realizadas principalmente em instalações prediais antigas. O ideal é que os responsáveis pelo gerenciamento dessas instalações contratem uma empresa especializada para que seja feita uma análise na parte elétrica a fim de identificar e substituir os equipamentos que estejam obsoletos e com sinais de falha. Equipamentos como cabos elétricos com isolamento ressecados e dispositivos de manobra com contatos de com sinais de desgaste oxidativo e aquecimento devem ser substituídos. Disjuntores que desarmam com frequência podem sinalizar que a carga atual instalada não corresponde mais a máxima instalada à época da construção, devendo ser solicitada um aumento de carga junto a concessionária, além do redimensionamento da rede elétrica. Assim, curto circuitos em instalações prediais podem ser evitados.

As manutenções constantes na rede elétrica são maneiras muito eficazes de prevenção deste tipo de acidente conforme mostra a Figura 3.23. Com este tipo de procedimento, falhas e desgastes nos equipamentos podem ser diagnosticadas e a troca pode ser feita, evitando a quebra dos componentes e o estabelecimento do acidente.



Figura 3.23: Manutenção na rede de distribuição [32]

A poda de árvores é um tipo de prevenção que deve ser feito pelas concessionárias, quando se tratar de árvores que estejam próximas da rede elétrica conforme mostra a Figura 3.24. Esse tipo de atitude poderá evitar que estas venham a cair em cima da rede elétrica durante tempestades com ventos fortes.



Figura 3.24: Poda de árvores feita pelas concessionárias de energia [32]

O investimento em treinamento de funcionários é uma solução no sentido de capacitá-los a identificar situações de risco na rede elétrica antes que possam desencadear em acidentes desta natureza.

A supervisão automatizada permite o controle remoto em tempo real de muitos parâmetros da rede, permitindo uma intervenção antes que ocorra um acidente desta natureza.

No caso de um acidente, devem ser tomadas algumas medidas e o sistema automático de proteção deverá agir com rapidez e seletividade, ou seja, deve isolar

rapidamente apenas o trecho defeituoso, a fim de deixar o mínimo de consumidores sem energia. Neste caso, a proteção será composta de fusíveis limitadores e religadores de linhas, já que, neste texto, estamos tratando apenas de linhas de alimentação que fazem parte da distribuição.

Os fusíveis limitadores primários, conforme pode ser visto na Figura 3.25, são dispositivos extremamente rápidos no caso de acidentes desta natureza, reduzindo os danos causados por uma anomalia nos equipamentos do sistema, e por consequência o tempo de restabelecimento da rede de energia. Estes dispositivos são extremamente eficazes na proteção de circuitos de média tensão devido às suas excelentes características de tempo e corrente. A principal característica deste dispositivo de proteção é a sua capacidade de limitar a corrente a corrente de curto-circuito devido aos tempos extremamente reduzidos em que atua. Além disso, possui uma elevada capacidade de ruptura, o que torna esse tipo de fusível adequado para aplicação em sistemas em que o nível de curto-circuito é de valor muito alto.

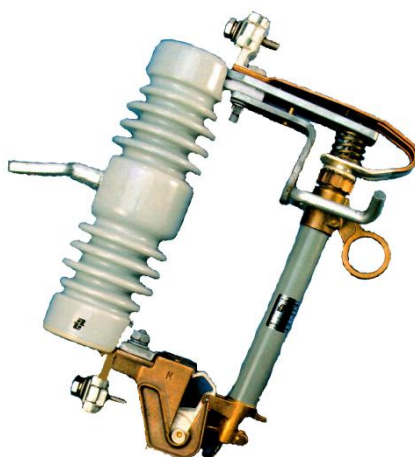


Figura 3.25: Fusível limitador de corrente [33]

Os religadores automáticos são equipamentos de interrupção da corrente dotados de uma determinada capacidade de repetição em operações de abertura e fechamento de um circuito, durante a ocorrência de um defeito conforme mostra a Figura 3.26. Dessa forma, o uso de religadores pode agilizar o restabelecimento em caso de um curto temporário.

Os religadores têm larga aplicação em circuitos das redes aéreas das concessionárias de energia elétrica, por permitir que os defeitos transitórios sejam eliminados sem a necessidade de deslocamento de pessoal de manutenção para percorrer o alimentador em falta. Esses equipamentos não devem ser aplicados em

instalações industriais ou comerciais, onde os defeitos são quase sempre de natureza permanente, ao contrário de redes urbanas e rurais.

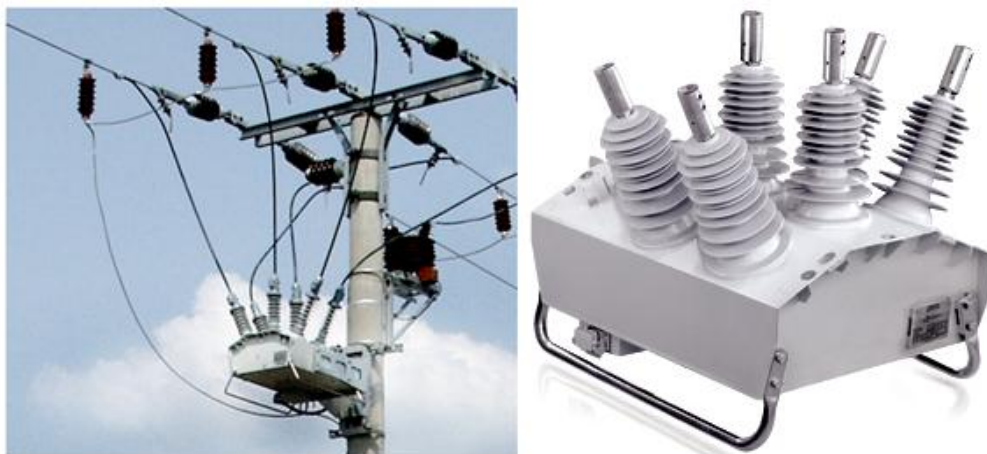


Figura 3.26: Religadores de circuitos de distribuição [33]

3.5 Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção

Um mau-contato nas conexões pode ocorrer por diversos motivos: aperto incorreto nos parafusos dos conectores; conexões corroídas ou oxidadas; falhas de componentes elétricos; erros de projetos; falhas em montagem e falta de manutenção preventiva.

O aperto incorreto dos parafusos das conexões faz com que não ocorra um contato suficiente entre as partes condutoras para tentar minimizar a resistências de contato, elevando a temperatura desses pontos.

As conexões corroídas ou oxidadas se caracterizam por um desgaste dos materiais que formam estes pontos por ação de agentes agressivos, especialmente quando os materiais elétricos se encontram em ambientes salinos, próximos a praias. Este fenômeno deteriora a superfície das emendas, aumentando a rugosidade. Neste caso, há um aumento da resistência de contato, ocasionando um aumento de temperatura nesses locais de junção.

As falhas nos componentes elétricos podem ocorrer nos processos de fabricação dos materiais elétricos. São difíceis de detectar até que o defeito se propague para um acidente de maior monta. Podem ser caracterizados por defeitos internos dos materiais elétricos como parafusos e encaixes das conexões. Geralmente, só quando estão em operação, apresentam falha.

Os erros de projeto são caracterizados principalmente por erros de cálculos, subestimação de fatores de segurança, acarretando na utilização de conexões e emendas com uma capacidade menor do que a exigida em operação. Como efeito, ocorrerá uma elevação de temperatura nestes locais devido a uma alta resistividade nesses pontos.

A falha na montagem ocorre quando os materiais elétricos não são montados conforme as orientações dos fabricantes. Pode ocorrer por fixação indevida dos equipamentos, acarretando em uma posição não ótima das conexões elétricas, originando uma alta resistência de contato.

A falta de manutenção é caracterizada pela ausência de medições de parâmetros importantes dos equipamentos da instalação elétrica, limpeza e troca de componentes com desgastes.

A prevenção deste tipo de acidente pode ser alcançada na fase de projeto da instalação e na manutenção preventiva dos materiais de instalação.

A fase projeto é muito importante para a concepção segura e eficaz de uma instalação elétrica. Nesta fase, parâmetros de projetos visando ao funcionamento correto e seguro devem ser considerados. Deverão sempre ser consideradas conexões e emendas que suportem os efeitos térmicos e dinâmicos das correntes normais e de falta. Também, deve ser considerada a premissa que a resistividade das emendas deve ser compatível com a mesma parte do barramento, caso ele fosse contínuo. Logo, pode ser considerada uma área maior de barramento na emenda, além de berços de dispositivos de seccionamento e proteção com uma superfície de contato maior a fim de manter a resistividade em seus limites máximos.

A manutenção preventiva é intervir no equipamento antes que ele pare de operar, de uma forma programada, baseada na experiência, estatística, ou outro tipo de avaliação, analisando a conveniência ou não da parada do equipamento. Assim, é possível identificar defeitos como parafusos frouxos, falhas dos componentes elétricos, falhas de montagem, oxidação nas emendas e conexões, antes que haja a danificação dos equipamentos elétricos.

Em ambientes residenciais, é possível detectar este tipo de eventualidade através de observações visuais cuidadosas de amarelecimento de peças plásticas ou escurecimento de peças de cobre, além da audição atenta de vibrações e de faiscamentos ruidosos causados pelo mau contato. Um profissional experiente pode detectar tais falhas com o exame minucioso das instalações apenas usando os olhos, ouvidos e mãos.

Em ambientes industriais, a termografia [34] é uma ferramenta eficiente na detecção de tais defeitos, pois indica a presença de pontos quentes nas conexões elétricas conforme mostra a Figura 3.27. É a técnica de ler e medir, à distância, a temperatura de operação de componentes responsáveis pelas conexões de equipamentos elétricos. Suas principais vantagens são: ausência da necessidade de contato com o objeto sob análise e a não interferência com a produção já que não desligamos o equipamento sob inspeção.

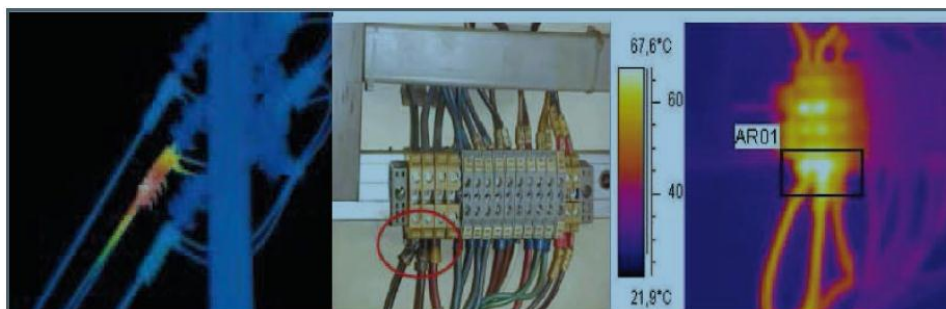


Figura 3.27: Pontos quentes obtidos através da termografia [34]

Em caso de um acidente em andamento, deve-se imediatamente desligar o circuito e avaliar as causas da eventualidade. Talvez apenas um aperto possa resolver o problema, no entanto, é preciso cautela, dado que um mau-contato poderá causar danos permanentes às emendas e conexões, devido ao aumento de temperatura, exigindo que sejam substituídas.

3.6 Seccionamento inesperado de circuito

Um seccionamento inesperado pode ocorrer devido a vários motivos: um erro humano; ação indevida da proteção; rompimento de cabos alimentadores; faltas no sistema elétrico.

O erro humano é caracterizado por uma intervenção indevida no controle de equipamentos elétricos de manobra, fazendo com que estes abram e a energia seja cortada. Pode ocorrer por uma simples troca de botões ou chaves nos painéis de controle.

A ação indevida da proteção é caracterizada por uma ação da proteção, sem que haja nenhuma anomalia no sistema. Ocorre pelo acionamento dos relés sem que os parâmetros ultrapassem os valores pré-estabelecidos. Neste caso, se faz necessária uma revisão dos seus ajustes, de modo que estejam compatíveis com as características da rede elétrica.

O rompimento de cabos alimentadores pode ocorrer como consequência de falta de manutenção, curto-circuito, descargas atmosféricas e vandalismo. Esse incidente irá fazer com que a proteção atue, abrindo o trecho defeituoso, causando a perda de carga por parte do sistema e falta de energia por parte dos consumidores.

As faltas no sistema elétrico são anomalias na rede que fazem com que a proteção atue no sentido de eliminá-la o mais rápido possível, a fim de preservar todos os equipamentos elétricos.

A prevenção deste tipo de acidente pode ser alcançada através de algumas medidas: treinamento humano; automação de sistemas, manutenções frequentes do sistema, campanhas educativas e esquemas especiais de aterramento.

O treinamento humano se faz necessário em qualquer etapa de processos, principalmente na operação. Um treinamento adequado é alcançado através de simulações, aulas, palestras e reciclagem. Pode surtir bastante efeito, tendo em vista que ainda existem muitas salas de controle manual e mesmo aquelas automatizadas também possuem um modo manual de operação.

A automação de sistemas elétricos de supervisão e controle pode evitar este tipo de incidente, já que fica menos propício a erros humanos devido a uma série de fatores como o cansaço. O avanço da microeletrônica e o advento dos sistemas digitais microprocessados podem auxiliar na detecção de falhas iminentes devido a alterações de grandezas elétricas como tensão, corrente e frequência, diminuindo muito a incidência deste tipo de acidente.

As manutenções frequentes no sistema elétrico podem à primeira vista parecer algo impossível, dada a grande extensão da rede elétrica. Dessa forma, muitas concessionárias optam pela utilização dos equipamentos até que quebrem, realizando a troca somente quando ocorre a quebra do equipamento. Além de custoso, essa filosofia acarreta na perda de carga pelo seccionamento inesperado da energia, dessa forma, precisam ser feitas. A automação dos sistemas pode auxiliar na solução deste tipo de problema, pois com as informações geradas, é possível que as equipes de manutenção cheguem no ponto onde há iminência de defeito com rapidez e exatidão, evitando este tipo de incidente.

As campanhas educativas podem surtir efeitos a médio e a longo prazo, tendo em vista que envolvem mudanças de maus hábitos como empinar pipas perto de linhas de distribuição e soltar fogos de artifício próximo da rede elétrica. Além disso, há a questão das ligações clandestinas que sobrecarregam a rede, provocando a atuação da

proteção. Desse modo, cabe às concessionárias estar constantemente investindo neste tipo de propaganda.

O esquema de aterramento IT é bastante útil em instalações que dependem do fornecimento contínuo de energia como em alguns setores de hospitais, fábricas e mineradoras. Nesse tipo de aterramento, a corrente de falta tem um valor limitado por uma impedância propositalmente inserida entre o neutro da fonte e a malha de aterramento conforme pode ser visto na Figura 3.28. Dessa maneira, não ocorre o seccionamento do circuito diante da primeira falta. No entanto, a proteção dispara um sinal sonoro ou visual, através de um dispositivo supervisor de isolamento (DSI), conforme pode ser visto na Figura 3.28. Este aviso deve ser encaminhado para o setor de manutenção e as providências no sentido de eliminar a anomalia devem ser tomadas imediatamente após o sinal ter sido emitido.

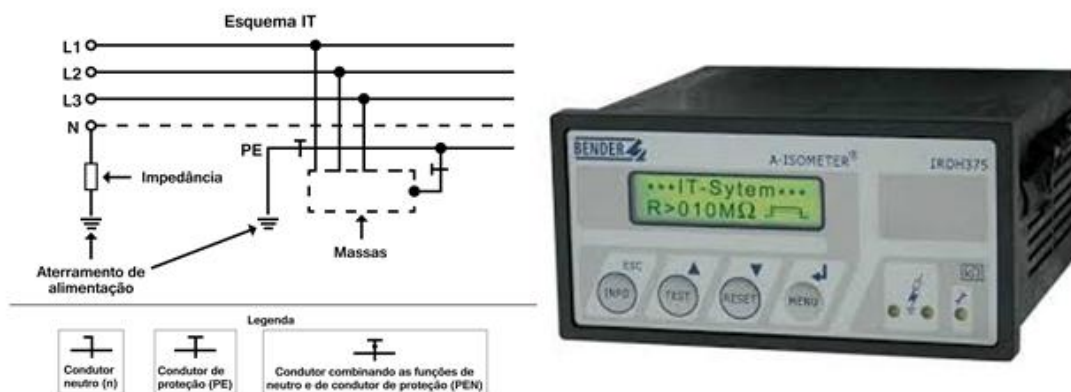


Figura 3.28: Esquema de aterramento IT e Dispositivo de supervisão de isolamento DSI [35]

3.7 Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas

A queda de cabos ou estruturas elétricas vivas pode ocorrer por vários motivos: raios; ventania; queda de árvore; falta de manutenção; vandalismo e linha de pipa.

Os raios podem incidir diretamente em cabos ou estruturas elétricas vivas. Como dito, as descargas atmosféricas possuem uma grande quantidade de energia, associada a uma corrente de dezenas de quiloampères. Dessa forma, o limite térmico dos cabos e das estruturas elétricas pode ser alcançado provocando o colapso e a queda desses equipamentos.

A ventania pode possuir uma grande energia associada, podendo ser suficiente para atingir as estruturas de ancoragem dos cabos e das demais estruturas elétricas, fazendo com que este acidente ocorra.

A queda de árvores pode atingir as linhas elétricas, derrubando-as por colapso das estruturas de ancoragem ou pelo rompimento dos cabos devido às forças de tração associadas ao contato das estruturas das árvores sobre os cabos de energia. Esse acidente poderá provocar curtos-circuitos e a saída de uso de alimentadores.

A falta de manutenção pode acarretar na quebra das estruturas de ancoragem dos cabos de energia por fadiga desses materiais que compõe estes suportes. A partir disso, os cabos e estruturas podem sair dos seus pontos e cair no solo.

O vandalismo é uma ação deliberada no sentido de causar danos às instalações elétricas. Várias estruturas podem ser danificadas com este tipo de ação, em especial os cabos e isoladores, causando a queda desses componentes elétricos. É o caso, por exemplo, de as estruturas serem atingidas por tiros de arma de fogo, pedras, fogos de artifícios entre outros objetos.

As linhas de pipa podem danificar seriamente equipamentos como os cabos de energia e outras estruturas elétricas, se estiverem muito próximas destes equipamentos elétricos, conforme mostra a Figura 3.29. Quando associada ao vidro e à cola (cerol), estes objetos passam a ter um poder de corte muito grande. Além disso, existe um novo tipo de linha chamada chilena que possui um alto poder cortante e de resistir a esforços mecânicos de tração. Dessa forma, estes objetos possuem a capacidade de cortar os cabos de energia e danificar outras estruturas elétricas.



Figura 3.29: Pipa próximo a rede elétrica [36]

A prevenção deste tipo de acidente envolve uma série de medidas: uso de para-raios; poda árvores; manutenção preventiva; campanhas de conscientização dos perigos associados energia elétrica.

O uso de para-raios irá oferecer um caminho preferencial para a corrente e energia da descarga conforme pode ser visto na Figura 3.30, evitando que os condutores atinjam o limite térmico e se danifiquem, podendo quebrar por fadiga com o tempo. Quando um raio cai diretamente na linha, o seu potencial se eleva, fazendo com que os elementos que compõe os para-raios passem a ter impedância nula (curto), drenando toda a corrente da descarga, protegendo, assim, os condutores do aquecimento.



Figura 3.30: Para-raios em linhas de distribuição [22]

A poda de árvores, como dito na prevenção contra curto-circuito, tem como objeto impedir que partes das árvores atinjam as linhas. Esse serviço, geralmente, é realizado pelas concessionárias de energia, tendo em vista o perigo associado a esta atividade, dado a proximidade com a rede elétrica.

As campanhas de conscientização dos perigos que envolvem a energia elétrica são propagandas educativas que visem a informar as pessoas sobre os riscos que envolvem a eletricidade. Exemplos deste tipo de atitude são as campanhas para que não se solte pipas próximo à rede elétrica, não se atire objetos nos equipamentos elétricos e não se solte fogos de artifício próximo aos cabos de energia.

No caso de um acidente em andamento, devem ser tomadas algumas medidas. Neste texto, será considerada uma ocorrência que tem se tornado recorrente no meio urbano e rural: a queda de cabos em veículos ou em vias públicas.

A queda de cabos sobre veículos tem ocorrido com alguma frequência em vários estados do Brasil. Esse tipo de acidente é um dos mais perigosos e aleatórios que pode ocorrer, conforme mostra a Figura 3.31.



Figura 3.31: Queda de cabo de energia em cima de veículo [37]

Nesta situação, o cabo de alta tensão energizado tende a espalhar as cargas elétricas uniformemente por toda a superfície metálica do veículo. Sendo assim, as cargas irão se espalhar pela superfície externa, pois a repulsão entre as cargas de mesmo sinal faz com que elas se mantenham o mais longe possível umas das outras. Os efeitos de campo elétrico criados no interior do condutor acabam se anulando, obtendo assim um campo elétrico nulo no interior do carro, propiciando uma blindagem eletrostática para quem está em seu interior, contrariando a crença popular de que são os pneus do carro que fazem a proteção contra a descarga nos ocupantes do veículo. Dessa forma, a corrente só passa a existir se tiver uma diferença de potencial. É o caso quando uma pessoa toca o chão, segurando a estrutura metálica do carro. A terra estará em um potencial diferente do carro e o circuito será fechado pelo corpo da vítima, gerando a descarga elétrica. As recomendações são:

- i. Se não houver uma situação de incêndio provocado pela queda dos cabos elétricos, a melhor opção é esperar dentro do carro a chegada dos bombeiros.
- ii. Caso haja um princípio de incêndio e não houver a possibilidade de ficar dentro do carro, deve-se tentar pular do veículo. Se possível, deve-se atingir o chão com os dois pés juntos, pois uma parte do cabo energizado pode estar em contato com o chão, produzindo tensões de passo² perigosas ao redor do carro.
- iii. Mesmo dentro do carro, não tocar em nenhuma parte metálica do veículo, pois a proteção eletrostática poderá não ser perfeita e, portanto, poderá

²**Tensão de passo:** é a tensão elétrica entre os dois pés de um indivíduo quando o mesmo está no solo próximo de um local com vazamento de corrente elétrica para a terra, provocado por queda de condutores energizados no solo, ou descargas atmosféricas em corpos aterrados.

existir corrente elétrica passando por alguma parte do carro e os pneus, caso estes estejam em contato com água com sal (íons) ou metais.

- iv. Não tentar tirar o fio de cima do carro, já que todo o redor do contato do cabo pode estar energizado, inclusive o chão.
- v. Se estiver fora do carro, não toque nele. Mesmo, aparentando uma situação de estabilidade, geralmente existe um equipamento em linhas de distribuição chamado religador, que tenta reenergizar por três vezes consecutivas a linha sob curto-circuito, fazendo como que o circuito seja energizado novamente.
- vi. Peça socorro para os bombeiros através do número 192.

No caso de queda de cabos sobre pessoas e animais e a situação exigir providencias imediatas sob risco de vida para a vítima, devem ser tomadas providencias. Deve-se procurar um material isolante como uma madeira, se aproximar da vítima com passos curtos, a fim de evitar tensão de passo, e, mantendo uma distância de segurança, tentar tirar o cabo de cima da pessoa ou então puxar a vítima para longe do cabo com o objeto isolante, conforme pode ser visto na Figura 3.32. Trata-se de uma situação extremamente complexa e perigosa, logo, somente em último caso, deve-se tomar tais providencias, no mais, deve-se esperar o socorro dos bombeiros.



Figura 3.32: Demonstração de como retirar um cabo de cima de uma vítima [38]

No caso de queda de cabos em vias públicas, deve-se atentar para uma distância segura entre as pessoas e os cabos expostos no chão, pois geralmente na parte mais alta dos postes, ficam linhas de alta tensão, por onde passam, geralmente, 13.8 kV ou mais. Nesse nível de tensão, [50] a aproximação de apenas 15 centímetros do ponto

energizado, poderá representar um risco para uma pessoa, pois ao redor do ponto de contato do cabo energizado com o chão existirão linhas equipotenciais de potencial, acarretando em tensões de passo suficientes para causarem a circulação de elevadas correntes pelo corpo humano, que pode provocar queimaduras graves, mutilação e até morte. Dessa forma, as recomendações são:

- i. Nunca se aproxime dos cabos que estejam caídos no solo.
- ii. Ligue imediatamente para os bombeiros através do número 192.

3.8 Sobretensões

Uma sobretensão pode ocorrer devido a diversos motivos; rompimento de cabos da rede elétrica; manobras na rede; perda de carga; descargas atmosféricas diretas e indiretas.

O rompimento de cabos da rede elétrica poderá fazer com que as fases não afetadas sofram níveis elevados de sobretensão entre fase-terra, submetendo os equipamentos, a severas condições de operação. O valor da sobretensão será função da configuração do sistema e do tipo de aterramento adotado e ocorre devido ao deslocamento do neutro do sistema.

As manobras na rede são caracterizadas pela operação de um equipamento de manobra como resultado de um defeito ou outra causa em determinado ponto do sistema, envolvendo as três fases ou uma fase e a terra. A severidade das sobretensões de manobra depende da configuração do sistema e notadamente do perfil de curto-circuito.

A perda de carga, também conhecida como rejeição de carga, ocorre pela abertura de um disjuntor e poderá elevar a tensão em todo o sistema, devido à redução do fluxo de corrente de carga, fazendo com que o efeito capacitivo das linhas de transmissão reduza a impedância do sistema elétrico e a consequente queda de tensão. Como os geradores operam superexcitados devido a alimentarem normalmente cargas indutivas, as tensões na geração serão superiores a tensão de operação. No entanto, após a abertura do disjuntor em que um grande bloco de carga é desligado, o sistema sofrerá uma elevação de tensão devido à redução do fluxo de corrente nas linhas de distribuição, provocando a sobretensão.

As descargas atmosféricas diretas são aquelas que atingem diretamente a rede elétrica, desenvolvendo-se elevada tensão na rede que, em geral, supera o nível de isolamento da mesma, provocando um defeito que pode ser monopolar ou tripolar.

Além disso, produzem sobretensões conduzidas que podem provocar danos as instalações elétricas, aos equipamentos por elas servidos e a seus usuários.

As descargas indiretas induzidas ocorrem quando se desenvolvem nas proximidades de uma rede elétrica. Neste tipo de eventualidade, é induzida determinada tensão nos condutores de fase em consequência das ondas eletromagnéticas originadas pela corrente de descarga, cujo valor é função da distância do ponto de impacto, da magnitude da corrente de descarga e de outros parâmetros. Da mesma forma que as descargas diretas, as descargas indiretas produzem sobretensões que podem provocar danos as instalações elétricas, aos equipamentos por elas servidos e a seus usuários.

A prevenção deste tipo de acidente envolve a instalação de para-raios de linha e de dispositivo de proteção contra surto (DPS); comportamento pessoal; eletrodo de aterramento eficiente e equipotenciação.

O para-raios já teve as suas características descritas na Seção 3.2 (item de prevenção contra descargas atmosféricas) deste mesmo capítulo.

O DPS, da mesma forma que o para-raios, também já teve as suas características descritas na Seção 3.2 (item de prevenção contra descargas atmosféricas) deste mesmo capítulo.

O comportamento pessoal também é muito importante. Durante uma tempestade, deve-se evitar não apenas o uso de telefone com fio, como de qualquer equipamento elétrico que tenha cabos ligados à rede. A descarga atmosférica na própria residência ou em fiação em postes, apesar de suas proteções, pode ser propagada para todos os cabos da residência, incluindo as tomadas, telefone com fio e chuveiro elétrico.

O eletrodo eficiente é obtido quando a resistência de aterramento possui um valor baixo. Dessa forma, um caminho preferencial de baixa impedância será estabelecido para as correntes impulsivas de descargas e manobras restringindo as sobretensões na instalação elétrica.

A equipotenciação suplementar é uma ligação elétrica das massas e elementos estruturais no mesmo potencial. Nesse sentido, as blindagens das estruturas (SPDA), as armaduras de concreto, cobertura e capas externas das linhas, bem como o conduto de tais linhas, quando metálicos, devem ser ligadas ao barramento principal de aterramento da edificação, diminuindo as chances de acidente devido às diferenças de potenciais nas estruturas de uma instalação elétrica em caso de sobretensão.

3.9 Presença de tensões imprevistas

A presença de tensões imprevistas pode ocorrer por diversos motivos: falta de identificação dos pontos de tomada e ligação incorreta dos circuitos.

A falta de identificação nos pontos de tomada faz com que não se tenha ideia da tensão com que estes pontos estão operando. Nessa situação, a tensão no terminal de corrente poderá ser de 220 V, enquanto são esperados 127 V, ou ainda com 380 V e são esperados 220 V. Em se tratando de ambientes residenciais e industriais, a ausência de identificação pode levar a queima de equipamentos elétricos.

A ligação incorreta dos circuitos é a conexão errada dos condutores que alimentam o circuito nos barramentos do quadro de distribuição. Existem barramentos de fase, neutro e terra em um quadro típico de distribuição. Caso um condutor neutro seja ligado no barramento de fase em vez de no barramento de neutro, o circuito terminal será energizado com duas fases, acarretando em uma tensão superior a tensão esperada. Uma consequência imediata é a queima dos aparelhos elétricos ao ligá-los nesses pontos.

A prevenção deste tipo de acidente pode ser alcançada através de algumas medidas: identificação dos circuitos terminais; cuidados na ligação dos circuitos e testes de verificação antes de conexões de aparelhos e depois de serviços de instalação executados.

A identificação dos circuitos terminais é a afixação de etiquetas ou plaquetas nas tomadas com o nível de tensão de operação, conforme pode ser observado na Figura 3.33. Em se tratando de ambientes comerciais e industriais, existe uma grande rotatividade no uso dos pontos de tomadas para a realização de diversos serviços, assim esta ação irá orientar os usuários sobre quais aparelhos poderão ser ligados nestes pontos.



Figura 3.33: Identificação da tensão dos pontos de tomada de energia [39]

Os cuidados na ligação dos circuitos são os procedimentos que devem ser adotados no momento do fechamento dos circuitos no quadro de distribuição de uma instalação elétrica. É muito importante que as ligações dos condutores de fase e de neutro sejam feitas em seus devidos barramentos. A fim de auxiliar esta etapa, tanto os condutores, quanto os barramentos devem possuir cores diferentes, definidas por norma.

Os testes de verificação antes de conexões de aparelhos e depois de serviços de instalação executados é um procedimento feito com o auxílio de um multímetro. Utilizando o a função voltímetro, na escala da tensão fase-fase por segurança, deve-se percorrer todos os pontos de tomada da instalação e verificar o nível de tensão após a instalação ter sido energizada. Caso alguma tensão medida seja diferente da esperada, deve-se verificar se o fio neutro do referido circuito está ligado de fato na barra de neutro no quadro de distribuição. Caso todas as medições deem um valor $\sqrt{3}$ superior ao esperado, deve-se verificar se não houve troca das ligações dos cabos alimentadores dos barramentos de fase e de neutro do quadro.

No caso de um acidente em andamento, a proteção deverá atuar no caso de um curto-circuito, abrindo o circuito. Neste caso, não havendo nenhum princípio de incêndio, deverá ser feita uma certificação de que não existam partes vivas à mostra no fio da tomada devido à sobretensão ao ligar o aparelho. Caso não haja, deve-se desconectar o dispositivo elétrico e pedir auxílio a um técnico a fim de avaliar os possíveis danos causados.

3.10 Produção de arcos e faiscamentos

A produção de arcos e faiscamentos poderá ocorrer por diversos motivos: abertura indevida de contatos sob carga; contatos intermitentes em circuitos indutivos e capacitivos; pontos de uma instalação elétrica sob potenciais diferentes e descuidadamente próximos e não isolados; ultrapassagem de distâncias de segurança e causas relacionadas ao ambiente.

A abertura indevida de contatos ocorre quando equipamentos de manobra que não possuem câmaras de extinção de arco operados sob carga. Quando não possuem câmaras de extinção de arcos, ocorre a deterioração prematura dos contatos do equipamento, já que estão sob carga. É o caso de abertura de circuitos em seccionadoras que não possuam este dispositivo de extinção de arcos, ou ainda de abertura de chaves interruptoras que, por definição, não possuem os dispositivos de extinção de arcos.

Os contatos intermitentes são caracterizados por aberturas e fechamentos seguidos e contínuos dos contatos. Essa eventualidade pode ocorrer por defeito no circuito magnético, provocado por queda de tensão ou por queda da frequência, tendo em vista que o fluxo magnético depende desses parâmetros. Quando esta eventualidade ocorre em circuitos indutivos e capacitivos, ocorre uma elevação de potencial entre os contatos no momento da abertura, que excede a rigidez dielétrica do ar, possibilitando o faiscamento dos contatos.

Os pontos sob potenciais diferentes, quando não estão separados por uma distância suficiente, ou ainda, quando não isolados um com material que suporte a diferença de potencial, pode originar este incidente.

As distâncias de segurança são limites que devem ser respeitados em locais onde o nível de tensões envolvidas na operação seja alto. O arco pode ser causado por fatores relacionados a equipamentos, ao ambiente ou a pessoas. Podem ocorrer, por exemplo, quando trabalhadores se movimentam de forma insegura ou manejam ferramentas, instrumentos ou materiais condutores próximos de instalações energizadas. Outras causas podem estar relacionadas a equipamentos, e incluem falhas em partes condutoras que integram ou não circuitos elétricos.

A operação de equipamentos onde potenciais elevados estejam envolvidos pode provocar um estabelecimento de um arco elétrico. Os dispositivos de manobra nesses lugares, como em subestações possuem câmaras de extinção para que possam ser operados sob carga. No entanto, um defeito interno nestes locais pode fazer com que um arco elétrico se estabeleça na parte externa, atingindo o operador.

As causas relacionadas ao ambiente incluem a contaminação por sujeira ou água ou pela presença de insetos ou outros animais (gatos, ou ratos que provocam curtos-circuitos em barramentos de painéis ou subestações).

A prevenção deste tipo de acidente pode ser alcançada através de algumas medidas: uso de dispositivos de abertura sob carga; vestimentas de proteção adequadas; manutenção preventiva; distâncias de segurança entre potenciais diferentes; projeto elétrico eficiente; entre outras medidas.

O uso de dispositivos de abertura sob carga como chaves magnéticas com abafadores e chaves seccionadoras com câmaras de extinção pode evitar a deterioração dos contatos elétricos, pois possuem câmaras internas de extinção de arcos, que podem ser formados nas operações de manobra, oferecendo uma maior segurança aos operadores.

As vestimentas de proteção adequadas são equipamentos de segurança que devem cobrir todas as áreas que possam estar expostas à ação das energias oriundas do arco elétrico, conforme pode ser visto na Figura 3.34. Além de cintos de segurança em operações aéreas, pois além dos riscos de exposição aos efeitos térmicos do arco elétrico, também está presente o risco de ferimentos e quedas, decorrentes das ondas de pressão que podem empurrar e derrubar o trabalhador que está próximo da origem do acidente. Essa queda pode resultar em lesões mais graves se o trabalho estiver sendo realizado em uma altura superior a dois metros, o que pode ser muito comum em diversos tipos de instalações. O nível de proteção para evitar danos ocasionados pelo arco depende do cálculo da energia que pode ser liberada no caso de um curto-circuito.



Figura 3.34: Vestimentas apropriadas para trabalhadores que intervêm no sistema elétrico [12]

A manutenção preventiva e o controle dos parâmetros elétricos são alcançados por intervenções e vistorias programadas nos equipamentos elétricos, além do controle e manutenção de parâmetros elétricos como tensão e frequência da rede. Isso pode evitar o acionamento intermitente de chaves magnéticas por defeito ou por variação dos parâmetros elétricos.

Existe uma técnica de manutenção preditiva que utiliza o ultrassom [34] e pode ser utilizada para detectar sons produzidos por emissões (faiscamento, arco elétrico, descarga parciais, mau contato, efeito corona), conforme pode ser visto na Figura 3.35.



Figura 3.35: Uso do ultrassom para detectar arcos e faiscamentos [34]

A distância de segurança entre potenciais diferentes é uma separação que deve ser adotada toda vez que houver materiais elétricos com potenciais elétricos diferentes. É o caso de cabos de energia, terminais e conexões elétricas, que devem manter uma distância que é função da tensão e do meio dielétrico de separação dos componentes. Caso não seja respeitada a distância de segurança, poderá haver o surgimento de faíscas e arcos elétricos. No caso de pontos de emenda, conexão e terminais, deve ser utilizada uma fita isolante de autofusão para o isolamento desses pontos, conforme pode ser visto na Figura 3.36. A fita de autofusão é sensível à pressão, aderindo e formando uma capa protetora sobre os materiais. Dessa forma se faz necessário esticá-la ao máximo no momento da aplicação, mas sem arrebentar a borracha de PVC que compõe a fita. Este material pode resistir à temperatura de até 130°C, além de proteger o material contra umidade. Este material pode ser utilizado até uma tensão de 69 KV.



Figura 3.36: Fita de autofusão

O projeto elétrico deve ser elaborado visando não só a funcionalidade, mas também a segurança. Para isso, deve conter um conjunto de informações necessárias para permitir serviços de manutenção com segurança, vida útil longa ao sistema elétrico em geral e segurança aos envolvidos (pessoas) que o usufruem diariamente. Um projeto elétrico tem seu valor principalmente quando beneficia qualidade, segurança e funcionalismo confiável, obtendo-se assim total segurança das pessoas que tem seu valor incomparável. Assim outras medidas que devem ser adotadas na fase de projeto para prevenir acidentes pessoais devido a arco elétrico são:

- i. Chave de aterramento resistente ao curto-circuito presumido.
- ii. Sistemas de intertravamento.
- iii. Fechaduras com chave não intercambiáveis.
- iv. Corredores operacionais tão curtos, altos e largos quanto possível.
- v. Coberturas sólidas ou barreiras ao invés de coberturas ou telas.
- vi. Equipamentos de dispositivos limitadores de corrente.
- vii. Seleção de tempos de interrupção muito curtos, o que pode ser obtido através de relés instantâneos ou através de dispositivos sensíveis a pressão, luz ou calor em dispositivos de interrupção rápidos.

4 Aplicação das Normas

A aplicação das normas em todas as etapas do ramo de energia elétrica pode auxiliar na prevenção de acidentes elétricos em todos os setores. Assim, neste capítulo, serão apresentados os procedimentos normatizados para cada um dos acidentes listados neste documento. Neste capítulo, os métodos preventivos contra os acidentes serão analisados de uma forma genérica, deixando de discutidos para as diversas circunstâncias que ocasionam cada acidente, conforme o Capítulo 3 abordou. Além disso, todos os métodos preventivos discutidos neste documento serão analisados novamente, mais de uma forma mais técnica, aplicando todos os embasamentos da Engenharia Elétrica. Na ausência de padrões normatizados relacionados ao projeto, construção, operação de instalações elétricas e consumo de energia, serão feitas recomendações formais de como evitar os incidentes e, por conseguinte, os danos pessoais e materiais devido às eventualidades elétricas.

A norma é o documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto. Dessa forma, será possível oferecer uma visão mais formal sobre a prevenção dos acidentes elétricos.

4.1 Contatos com partes vivas ou energizadas

A NBR 5410:2004 [43], em seu item 5.1.1.1, especifica que o princípio que fundamenta as medidas de proteção contra choques pode ser resumido da seguinte forma:

- i. As partes vivas não devem ser acessíveis.
- ii. As massas, ou partes condutivas acessíveis não devem oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

Deste modo, a proteção contra choques elétricos compreende, em caráter geral, dois tipos de proteção:

- i. Proteção básica (contra contatos diretos).
- ii. Proteção supletiva (contra contatos indiretos).

Segundo esse mesmo item da norma, a proteção básica é composta por:

- i. Isolação básica ou separação básica.

- ii. Uso de barreira ou invólucro.
- iii. Limitação da tensão.

Da mesma forma, a proteção supletiva é composta por:

- i. Equipotencialização e seccionamento automático da alimentação.
- ii. Isolação suplementar.
- iii. Separação elétrica.

Proteção contra contatos diretos

A NBR 5410:2004 estabelece que a prevenção deste acidente possa ser de três tipos: completa, parcial ou adicional.

A proteção completa é necessária nos locais acessíveis a qualquer tipo de pessoas, principalmente pessoas comuns, crianças e incapacitados. Pode ser realizada por isolamento básica das partes vivas, por meio de invólucros ou utilizando barreiras.

A isolamento básica das partes vivas (energizadas) consiste no recobrimento total dessas partes por uma isolamento que só pode ser removida com a sua destruição.

Para os componentes montados em fábricas, a isolamento deve atender às prescrições relativas a esses componentes, geralmente indicadas nas normas técnicas cabíveis.

Para os demais componentes, ou seja, aqueles que são providos, completados ou restaurados na execução da instalação, a proteção deve ser garantida por uma isolamento capaz de suportar as solicitações mecânicas, químicas, elétricas e térmicas a que possa ser submetida. Em geral, os vernizes, as lascas, as tintas e os produtos análogos não são considerados proteção adequada. Quando a isolamento for provida durante a execução da instalação, ela deve ser verificada por meio de ensaios análogos aos aplicados aos componentes montados em fábrica.

O uso de barreiras ou invólucros destina-se a impedir qualquer contato com as partes vivas, cumprido assim o papel de proteção básica.

As barreiras são elementos que asseguram a proteção contra contatos diretos, em todas as direções habituais de acesso.

Os invólucros são elementos que asseguram a proteção de um equipamento contra determinadas influências externas e a proteção contra contatos diretos em qualquer direção.

A norma indica que as partes vivas devem ser confinadas no interior de invólucros ou atrás de barreiras que confirmam, pelo menos, o grau de proteção IP2X

(proteção contra contato dos dedos com partes vivas e aberturas de diâmetro inferior a 12 mm).

Admitem-se, no entanto, aberturas superiores às IP2X para a substituição de partes (troca de lâmpadas ou fusíveis) ou quando necessárias ao funcionamento adequado de num equipamento ou componente (para ventilação, por exemplo). Em todos os casos, as aberturas devem ser as mínimas compatíveis com as necessidades de substituição ou funcionamento adequado.

A proteção parcial contra contatos diretos só é admitida em locais acessíveis apenas a pessoas advertidas ou qualificadas e, mesmo assim, se forem atendidas as seguintes condições:

- i. As tensões nominais dos circuitos existentes não podem ser superiores a 600 V entre fase e terra ou a 1000 V entre fases, para corrente alternada, ou a 900 V entre polo e terra ou a 1500 V entre polos, para corrente contínua.
- ii. Os locais devem ser adequadamente sinalizados de forma clara e visível por meio de indicações aproximadas.
- iii. Essa proteção pode ser realizada por meio de obstáculos e/ou por colocação fora de alcance.

Os obstáculos, tais como tela de arame, corrimão e painéis, devem impedir uma aproximação física não intencional das partes vivas, bem como contatos não intencionais com as partes vivas quando os equipamentos estão sob tensão. Podem ser desmontáveis sem a ajuda de ferramentas ou chave; devem, no entanto, ser fixados de modo a impedir qualquer remoção involuntária.

Quando for utilizada a proteção parcial por meio de obstáculos, as distâncias mínimas a serem observadas nas passagens destinadas à operação e/ou manutenção devem respeitar aquelas que constam na Tabela 28 da NBR 5410:2004 [43].

A colocação fora do alcance destina-se a impedir contatos fortuitos com as partes vivas. A norma [43] define uma zona de alcance normal, dentro da qual não devem se encontrar partes simultaneamente acessíveis, isto é, que estejam a uma distância de no máximo 2,50 m, sob potenciais diferentes.

Quando a superfície sobre a qual pessoas qualificadas e/ou advertidas se posicionam ou circulam habitualmente for limitada por um obstáculo (por exemplo, corrimão ou tela) com grau de proteção inferior IP2X, as distâncias que limitam a zona de alcance normal devem ser determinadas desse obstáculo. No sentido vertical, a zona de alcance normal é limitada a 2,50 m da superfície S, sem levar em conta obstáculos

intermediários que possuam grau de proteção inferior a IP2X [43]. Esses afastamentos consideram apenas a possibilidade de as partes vivas serem tocadas diretamente com as mãos, não incluindo a hipótese de serem tocadas por objetos condutivos compridos ou volumosos (ferramentas ou escadas, por exemplo). Nesses casos, os afastamentos de segurança devem ser aumentados, levando-se em conta as dimensões de tais objetos.

A proteção adicional, segundo item 5.1.3 da norma [43], é alcançada através de uma ligação de todos elementos condutivos simultaneamente acessíveis, sejam massas de equipamentos de equipamentos fixos, sejam elementos condutivos da edificação. A essa equipotencialização devem ser conectados os condutores de proteção de todos os equipamentos, incluindo os condutores de proteção das tomadas de corrente. Essa medida não é reconhecida pela NBR 5410 como constituindo em si uma medida de proteção completa e não dispensa de maneira nenhuma o emprego de medidas de proteção completa ou parcial, conforme o caso. Seu objetivo é assegurar uma proteção contra contatos diretos, no caso de falha das medidas aplicadas ou descuido ou imprudência dos usuários.

O uso de dispositivo de proteção diferenciais-residuais (DR) com corrente diferencial-residual nominal igual ou inferior a 30 mA é reconhecido como proteção adicional contra contatos diretos pela NBR 5410:2004.

Os casos em que o uso de dispositivos diferencial-residual de alta sensibilidade como proteção adicional é obrigatório são os seguintes:

- i. Os circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheira ou chuveiro.
- ii. Os circuitos que alimentam tomadas de corrente (cada tomada até 32 A) situadas em áreas externas à edificação.
- iii. Os circuitos de tomadas de corrente (cada tomada até 32 A) situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos na área externa à edificação.
- iv. Os circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens. Exclui-se dessa exigência os pontos que alimentam aparelhos de iluminação posicionados a uma altura igual ou superior a 2,50 m.

- v. Os circuitos que, em edificações não residenciais, sirvam a pontos de tomadas (cada tomada até 32 A) situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.

Em todos os casos, a proteção dos circuitos pode ser realizada individualmente, por equipamento, por ponto de utilização, por circuito ou por grupo de circuitos.

A norma admite que sejam omitidas as medidas de proteção contra contatos diretos nos locais acessíveis somente a pessoas advertidas ou qualificadas, desde que elas sejam devidamente instruídas com relação às condições do local e às tarefas a serem executadas, se forem simultaneamente atendidas as seguintes condições:

- i. Os locais devem ser sinalizados de maneira clara e visível; não é possível entrar nos locais, a não ser com o auxílio ou a liberação de algum dispositivo especial.
- ii. As portas de acesso aos locais devem permitir a fácil saída das pessoas, abrindo no sentido da fuga (abrindo para fora). A abertura das portas, pelo lado interno dos locais, deve ser possível sem o uso de chaves, mesmo que as portas fechadas à chave pelo lado de fora.
- iii. As passagens cuja extensão for superior a 20 m devem ser acessíveis nas duas extremidades, recomendando-se que as passagens de serviço menores, mas com comprimento superior a 6 m, também sejam acessíveis nas duas extremidades.

Contatos indiretos

A norma estabelece que a proteção contra contatos indiretos deva ser prevista por meio de medidas que incluam a adoção de equipotencialização e seccionamento automático da alimentação e o emprego de isolamento suplementar.

A equipotencialização juntamente com o aterramento elétrico, segundo a NBR 5410:2004, são fundamentais para garantia do funcionamento adequado dos sistemas de proteção contra choques elétricos.

A equipotencialização consiste em fazer uma ligação elétrica a fim de colocar as massas e elementos condutores praticamente no mesmo potencial entre si, independente de qual seja esse potencial em relação ao solo.

O seccionamento automático da alimentação é a principal medida de proteção contra contatos indiretos, prescrita no item 5.1.2.2.4 da NBR 5410:2004. Destina-se a

evitar que uma tensão de contato (U_B) superior à tensão de contato-limite (U_L) se mantenha por um tempo que possa resultar em risco de efeito fisiológico adverso (fibrilação ventricular) para as pessoas.

A proteção por seccionamento automático da alimentação baseia-se, fundamentalmente, em duas condições:

- i. Existência de um percurso para a corrente de falta fase-massa (I_F), cuja composição depende do tipo de esquema de aterramento adotado (TN, TT ou IT).
- ii. Seccionamento da corrente de falta por um dispositivo de proteção apropriado, atuando em um tempo adequado.

A primeira condição implica a existência de ligações de todas as massas da instalação a uma “infraestrutura de aterramento” de proteção, o que possibilitará a formação de um caminho para uma eventual corrente de falta fase-massa. A constituição de tal caminho, o percurso da corrente de falta, dependerá do esquema de aterramento adotado.

Uma infraestrutura de aterramento de proteção é constituída pelos condutores de proteção das massas, pelo condutor de aterramento e pelos condutores das ligações equipotenciais, todos ligados ao terminal de aterramento principal.

A segunda condição exige a instalação de dispositivos de proteção cujas características são definidas de acordo com o esquema TN, TT ou IT.

Um dispositivo de proteção deve seccionar automaticamente, em um tempo adequado, a alimentação do circuito ou equipamento por ele protegido, sempre que uma falta (entre a parte viva e massa ou entre parte viva e condutor de proteção) no circuito ou equipamento der origem a uma tensão de contato limite U_L .

Independentemente do esquema de aterramento, admite-se um tempo de seccionamento maior que os definidos para cada esquema de aterramento, mas não superiores a 5 segundos, para circuitos de distribuição, bem como para circuitos terminais que alimentam unicamente equipamentos fixos, desde que uma única falta no circuito de distribuição, bem como para circuitos terminais que alimentam unicamente equipamentos fixos (para os quais esteja sendo considerado o tempo de seccionamento de até 5 s) não propague, para equipamentos portáteis ou equipamentos móveis deslocados manualmente em funcionamento, ligados a outros circuitos terminais da instalação, uma tensão de contato superior ao valor ao valor pertinente de U_L . Se, na aplicação do seccionamento automático da alimentação, não for possível atender aos

tempos de seccionamento máximos indicados em cada esquema ou não superior a 5 s, como explicado anteriormente, deve-se então realizar uma equipotencialização suplementar.

Os dispositivos apropriados, que foram desenvolvidos décadas atrás com a finalidade específica de proteção contra contatos indiretos, independentemente do esquema de aterramento utilizado, são os dispositivos à corrente diferencial-residual (DR). Tais dispositivos devem, portanto, controlar o tempo de ação da tensão de contato entre uma massa sob falta e qualquer elemento condutor estranho à instalação simultaneamente acessível. Sob certas condições muito particulares, nos esquemas TN e IT, a norma admite o uso dos dispositivos usuais de proteção contra sobre correntes (disjuntores e fusíveis) na proteção contra os contatos indiretos. No entanto, apesar de admitidos pela norma e serem de custo relativamente mais baixo, deve-se ressaltar que tais dispositivos não foram desenvolvidos para a proteção contra sobrecorrentes de condutores e equipamentos elétricos. Dessa forma, seu uso como medida de proteção contra choque elétrico deve ser cercado de todo o cuidado.

As condições a serem observadas no seccionamento automático da alimentação serão dadas para cada esquema de aterramento.

Esquemas de aterramento

A forma com que um ponto da alimentação, geralmente o neutro, e das partes metálicas expostas da instalação estão aterradas caracteriza o esquema de aterramento adotado. De acordo com o item 5.1.2.2.4.1 da NBR 5410:2004, nas instalações de baixa tensão, os esquemas de aterramento são caracterizados por códigos que informam acerca da estratégia da ligação do neutro do transformador, assim como das massas com a terra. A escolha do esquema de aterramento determina as medidas a serem tomadas para proteção das pessoas contra riscos de contatos indiretos. Se necessário, vários esquemas de aterramento podem coexistir em uma instalação.

Simbologia usada na classificação dos esquemas de aterramento

Primeira letra – Especifica a situação da alimentação em relação à terra

T – A alimentação (lado fonte) tem um ponto diretamente aterrado.

I – Isolação de todas as partes vivas da fonte de alimentação em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância elevada.

Segunda Letra – Especifica a situação das massas (carcaças) das cargas ou equipamentos em relação à terra.

T – Massas aterradas com terram próprio, isto é, independentes da fonte.

N – Massas ligadas ao ponto aterrado da fonte.

I – Massa isolada, isto é, não aterrada.

Outras letras – Forma de ligação do aterramento da massa do equipamento, usando o sistema de aterramento da fonte.

S – Separado, isto é, o aterramento da massa é feito com um fio (PE) separado (distinto) do neutro.

C – Comum, isto é, o aterramento da massa do equipamento é feito usando o fio neutro (PEN).

Esquema TN

No esquema TN, um ponto da alimentação – em geral, o neutro – é diretamente aterrado e as massas dos equipamentos elétricos são ligadas a esse ponto por um condutor metálico. O esquema TN, é concebido de maneira que o percurso de uma corrente resultante de uma falta fase-massa em um componente ou em um equipamento elétrico da instalação seja constituído, exclusivamente, por elementos condutores metálicos (fios e cabos elétricos ou barramentos blindados).

A impedância desse percurso tem um valor suficientemente baixo, de modo que toda corrente de falta direta fase-massa é uma corrente de curto-circuito (fase-neutro).

Nesse esquema, o ponto da alimentação – isto é, o secundário do transformador (ou, eventualmente, do gerador) –, em geral, o ponto neutro, é diretamente aterrado, sendo as massas da instalação ligadas a esse ponto por meio de condutores de proteção. Se o ponto neutro não for disponível nem acessível, um condutor de fase poderá ser aterrado junto do secundário do transformador (ou do gerador).

São três os tipos de esquemas TN: o TN-S, em que os condutores de neutro e de proteção são esperados; o TN-C, em que o condutor PEN exerce a dupla função de neutro e de condutor de proteção; o TN-C-S, que é um esquema híbrido que combina os outros dois.

Esquema TN-S

Esse esquema será do tipo TN-S, quando as funções de neutro e de proteção forem feitas por condutores distintos (N e PE), conforme pode ser visto Figura 4.1.

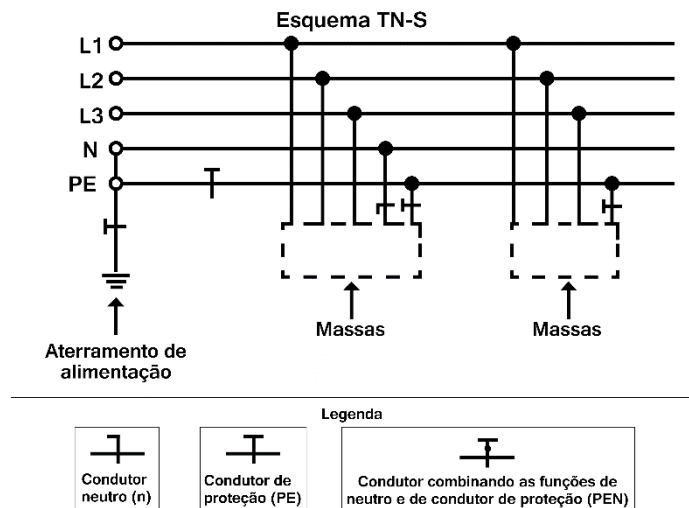


Figura 4.1: Esquema TN-S

No esquema TN-C, as funções de neutro e de proteção são asseguradas pelo mesmo condutor (PEN), conforme pode ver visto na Figura 4.2.

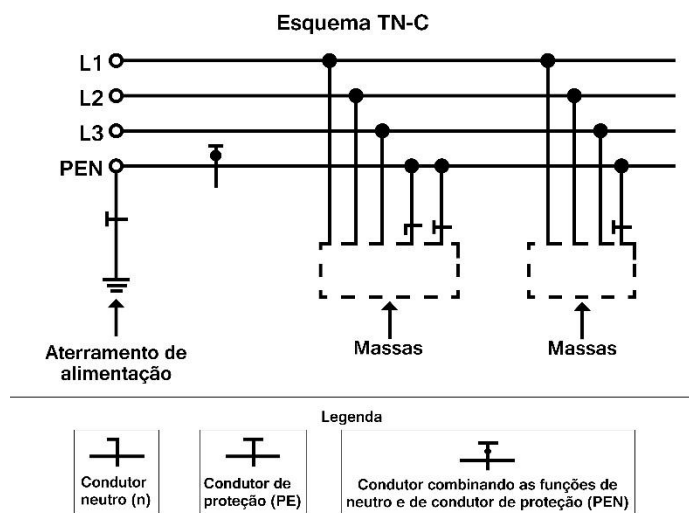


Figura 4.2: Esquema TN-C [41]

Considerado o TN “original”, há economia de um condutor, uma vez que é utilizado o condutor PEN. É importante observar que esse condutor é, antes de mais nada, um condutor de proteção e deve obedecer a todas as características e condições exigidas para os condutores de proteção. O rompimento de um condutor PEN em uma instalação traz problemas sérios para a segurança, em que um equipamento alimentado com fase e neutro ficará, devido ao rompimento do PEN, com a massa em potencial igual ao da fase em relação à terra, conforme pode ser visto na figura 4.3. Nessas condições, a NBR 5410:2004, para minimizar os riscos, só admite o uso do esquema TN-C em instalações fixas cujos condutores tenham seção mínima de 10 mm^2 , em

cobre, ou 16 mm^2 , em alumínio, e que nesse esquema não se admite o uso de dispositivos DR, pelo simples motivo de que tal dispositivo não seria capaz de funcionar adequadamente, já que o condutor de proteção não pode ser seccionado em hipótese nenhuma, o que iria ocorrer no caso de atuação de um DR com PEN.

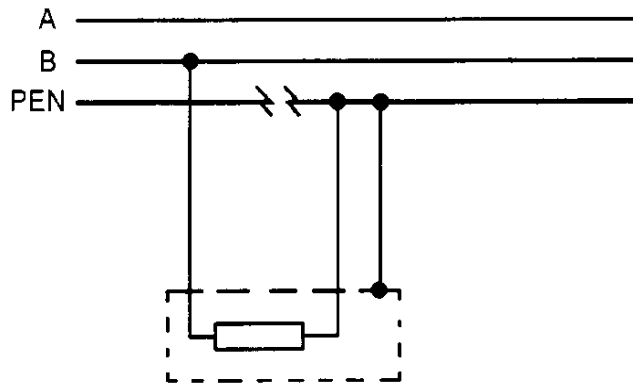


Figura 4.3: Rompimento do condutor PEN do sistema TN-C [41]

Esquema TN-C-S

Esse é um esquema misto, que contempla tanto o esquema TN-S, quanto o TN-C. Esse esquema é mais utilizado, na prática, em instalações de porte, em que se utilizam condutores PEN nos circuitos de maior seção, e nos demais circuitos, contendo separadamente os condutores neutro e de proteção separados, conforme pode ser visto na Figura 4.4. É importante observar que, partindo do ponto em que esses condutores se separam, a NBR 5410:2004 não permite juntá-los novamente.

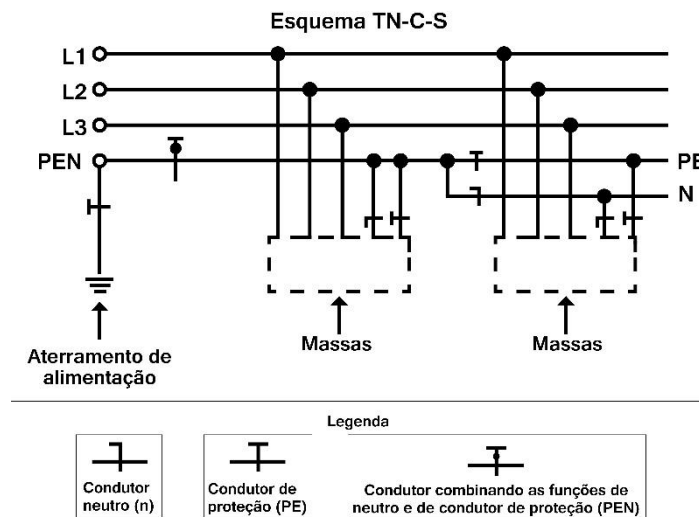


Figura 4.4: Esquema TN-C-S [41]

A NBR 5410:2004 [43] indica o uso de dispositivos DR (logicamente, nunca nos esquemas TN-C) ou dispositivos de proteção a sobrecorrentes para a proteção contra contatos indiretos nos esquemas TN.

O uso de DRs de alta sensibilidade é obrigatório, pela norma, em circuitos terminais:

- i. Que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheira ou chuveiro.
- ii. Que alimentem tomadas de corrente situadas em locais contendo banheira ou chuveiro.
- iii. De tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação.
- iv. De tomadas de corrente situadas em áreas internas que venham vir a alimentar equipamentos no exterior.
- v. Que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.
- vi. Que, em edificações não residenciais, sirvam a pontos de tomada situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.

Esquema TT

No esquema TT, o ponto da alimentação (em geral, o secundário do transformador com seu ponto neutro) está diretamente aterrado e as massas ligadas a um eletrodo de aterramento (ou a mais de um eletrodo), conforme pode ser visto na Figura 4.5.

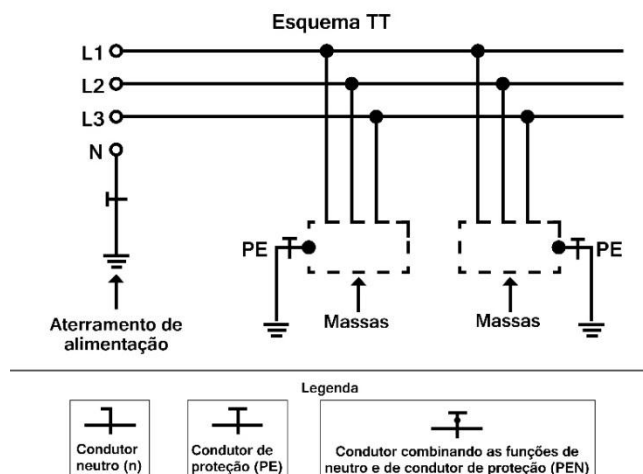


Figura 4.5: Esquema TT [41]

O esquema TT é concebido de tal modo que o percurso de uma corrente produzida por uma falta fase-massa em um componente ou em um equipamento de utilização da instalação inclua a terra e que a elevada impedância desse percurso limite o valor da corrente de falta.

Neste esquema, todas as massas da instalação devem ser protegidas contra contatos indiretos por um mesmo dispositivo de proteção, para evitar o surgimento de eventuais tensões perigosas, e devem ser ligadas a um mesmo eletrodo de aterramento. Pelo mesmo motivo, também as massas que forem simultaneamente acessíveis devem ser aterradas no mesmo eletrodo.

Com relação a proteção, nas instalações que utilizam o esquema TT, a proteção contra contatos indiretos deve ser garantida, obrigatoriamente, por dispositivos de proteção à corrente diferencial (dispositivos DR), que detectam diretamente a corrente que escoar para a terra.

Esquema IT

Em um esquema IT não existe o aterramento direto de qualquer ponto da alimentação, ele é isolado da terra ou aterrado através de uma impedância de valor elevado. As massas estão aterradas em um ou em mais eletrodos de aterramento (independentes, em geral, do eletrodo de aterramento eventualmente existente para a alimentação), conforme pode ser visto na Figura 4.6.

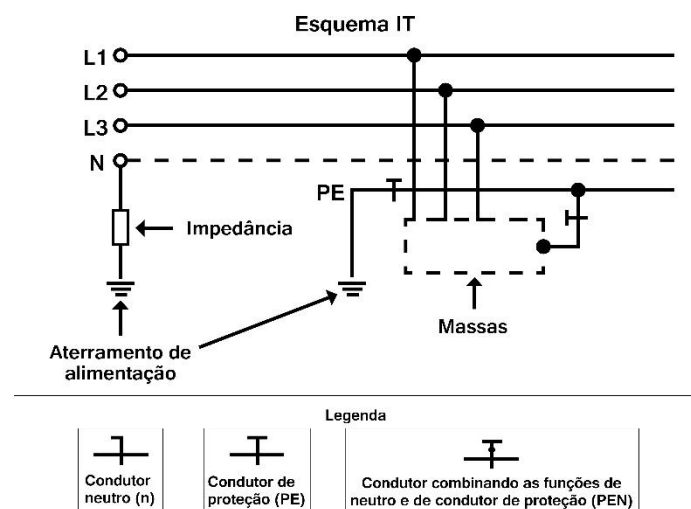


Figura 4.6: Esquema IT isolado [41]

Neste esquema, quando ocorre uma primeira falta fase-massa, a corrente resultante é limitada de maneira a que nenhuma tensão de contato perigosa, isto é,

superior à tensão de contato-limite (UL), possa aparecer em qualquer massa da instalação.

Nessa condição, não é imperativo o seccionamento automático decorrente de uma primeira falta, permitindo que o setor atingido continue funcionando. No entanto, é importante que o defeito seja rapidamente localizado e eliminado, do contrário, a instalação poderá comportar-se como se o esquema fosse TN ou TT, ocorrendo com dificuldade e com imprecisão o seccionamento – se acontecer uma segunda falta antes de ter sido eliminada a primeira.

No sistema IT o primeiro defeito deve ser corrigido imediatamente, portanto deve ser previsto um dispositivo supervisor de isolamento (DSI), para indicar a ocorrência de uma primeira falta à massa ou à terra. Esse dispositivo deve acionar um sinal sonoro e/ou visual diretamente à equipe de manutenção, ou à distância, por meio do sistema de supervisão.

O esquema IT (principalmente aterrado por meio de impedância), com indicação adequada de faltas, encontra aplicações onde seja fundamental a continuidade no fornecimento de equipamentos; é o caso de certos setores de industriais (onde existam fornos, trefilas etc.), de alguns setores nos hospitais, em instalações de processamento de dados. Em particular, em usinas siderúrgicas, o esquema IT é empregado em áreas como manuseio de coque e aciaria.

Nos esquemas IT, só deve ocorrer o seccionamento automático de um circuito quando nele vier a ocorrer uma falta fase-massa, preexistindo outra falta fase-massa em outro circuito ou em outra fase. Para tanto podem ser utilizados, em princípio, dispositivos de proteção a sobrecorrente e dispositivos DR, com a condição de que não atuem em uma primeira falta.

A isolação suplementar é uma isolação adicional e independente da isolação básica - que é a isolação aplicada às partes vivas para assegurar o mínimo de proteção contra choques elétricos - destinada a assegurar a proteção contra choques elétricos no caso de falha da isolação básica.

4.2 Descargas atmosféricas

A norma brasileira que trata da Proteção contra descargas atmosféricas é a NBR 5419. Neste trabalho será utilizada a última versão, que foi impressa em 2005 [42].

Segundo a referida norma, os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) diretas podem ser divididas em três partes, a saber:

- i. Rede captora de descargas.
- ii. Descidas.
- iii. Aterramentos.

A rede de interligação dos aterramentos e das massas da instalação, em uma concepção mais atual, pode ser considerada a quarta parte dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Classificação das estruturas quanto ao nível de proteção

Os critérios de proteção a serem aplicados a cada instalação deverão ser selecionados de acordo com o nível de proteção aplicável à estrutura. A Tabela 4.1, reproduzida a partir da Tabela B6 da NBR 5419:2005, apresenta os índices de nível de proteção para diferentes tipos de instalações.

De forma genérica, esses índices podem ser resumidamente definidos como se segue:

- Nível I: é o nível mais severo quanto à perda de patrimônio. Refere-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de para-raios pode provocar danos às estruturas adjacentes, tais como indústrias petroquímicas, de materiais explosivos etc.
- Nível II: refere-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de para-raios pode ocasionar a perda de bens de estimável valor ou provocar pânico aos presentes, porém sem nenhuma consequência para as construções adjacentes. Enquadram-se neste nível os museus, estádios, companhias comerciais comuns etc.
- Nível III: refere-se às construções de uso comum, tais como os prédios residenciais, lojas de departamento e indústrias de manufaturados simples.
- Nível IV: refere-se às construções onde não é rotineira a presença de pessoas. Essas construções são feitas de material não inflamável, sendo o produto armazenado nelas de material não combustível, tais como armazéns de concreto para produtos de construção.

Tabela 4.1: Classificação das estruturas quanto ao nível de proteção [42]

Classificação da Estrutura	Tipo da Estrutura	Efeitos das Descargas Atmosféricas	Nível de Proteção
Estruturas Comuns ¹	Residências	Perfuração da isolamento de instalações, incêndio, e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos Agropecuários	Riscos direto de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de morte para animais devido à perda de controle eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV ²
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas Esportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico. Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, Companhias comerciais e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com perda de comunicação, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação, usinas elétricas, indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo. Risco indireto para imediações devido a incêndios e outros com risco de incêndio	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fabricas de fogos, fabricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios químicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I

¹ETI (Equipamentos de tecnologia da Informação) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro dessas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme) a NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.
²Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos à explosão são consideradas com risco para arredores

Componentes de um SPDA

Em qualquer projeto de um SPDA, algumas estruturas são comuns, sendo que a seguir serão listados alguns dos principais elementos utilizados na construção do sistema.

Captore

São elementos condutores expostos, normalmente localizados na parte mais elevada da edificação, responsáveis pelo contato direto com as descargas atmosféricas. É o principal elemento do para-raios, conforme pode ser visto na Figura 4.7.



Figura 4.7: Captor de descarga atmosférica [51]

É também formado normalmente por três ou mais pontas de aço inoxidável ou cobre, cuja seção mínima é dada na Tabela 4.2 reproduzida a partir da Tabela 3 da NBR 5419:2005.

Tabela 4.2: Seções mínimas dos condutores em função do nível de proteção de um SPDA [42]

Nível de proteção	Material	Captor	Condutor de descida	Eletrodo	Ligação equipotencial
		mm^2	mm^2	mm^2	mm^2
I-IV	Cobre	35	16	50	16
	Alumínio	70	25	-	25
	Aço	50	50	80	50

Mastro ou haste

É o suporte do captor, constituído de um tubo de cobre de comprimento entre 3 a 5 m e 55 mm de diâmetro. Deve ser fixado firmemente num isolador de uso exterior. A função do mastro é suportar o captor e servir de condutor metálico.

Base de ferro fundido para mastros

É a base de fixação do mastro ou haste. Normalmente é utilizada uma peça de ferro fundido.

Condutor de descida

É o condutor metálico que faz a ligação entre o mastro ou o captor e o eletrodo de terra. De acordo com a NBR 5419:2005, os condutores de descida podem ser do tipo não-natural e natural.

Condutores de descida não naturais

São aqueles constituídos de condutores metálicos de cobre comercial ou de alumínio apropriado como condutor elétrico, cuja seção é dada na Tabela 4.3 reproduzida a partir da Tabela 3 da NBR 5419:2004.

Tabela 4.3: Seções mínimas dos condutores em função do material e altura da edificação [42]

Material	Captor e Anéis Intermediários	Condutor de Descida para Estrutura até 20 m	Condutor de Descida para Estrutura Superior a 20 m	Eletrodo de Aterramento
	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou Embutido no concreto	50	50	50	80

Os espaçamentos que devem ser levados em consideração dependem do nível de proteção a ser adotado, conforme mostra a Tabela 4.4 reproduzida a partir da Tabela 2 da NBR 5419:2005.

Tabela 4.4: Espaçamento médio dos condutores de descida [42]

Nível de proteção	Espaçamento em m
I	10
II	15
III	20
IV	25

Condutores de descida naturais

São aqueles constituídos de elementos próprios da estrutura ou que não se enquadrem na condição de condutores naturais. Podem servir a esse fim:

- i. As armações de aço interligadas das estruturas de concreto armada.
- ii. Condutores de descida específicos, embutidos na estrutura, com continuidade elétrica assegurada por solda ou por conexão mecânica.
- iii. Armação de aço embutida em concreto armado pré-fabricado, desde que se assegure a continuidade da conexão.

Eletrodo de terra

São elementos metálicos instalados verticalmente ou horizontalmente e responsáveis pela dispersão da corrente elétrica de descarga no solo.

O condutor de descida deve ser conectado na sua extremidade inferior aos eletrodos de terra, cujo valor da resistência de aterramento não deverá ser superior a 10 Ω para instalações em geral e 1 Ω para edificações destinadas a materiais explosivos ou facilmente inflamáveis. Podem ser utilizados como eletrodo de aterramento os seguintes elementos:

- i. Condutores em anel.
- ii. Hastes verticais.
- iii. Condutores horizontais radiais.
- iv. Armações de aço das fundações.

Ligações equipotenciais

O SPDA deve ser conectado com os demais sistemas de aterramento, ou seja, com as massas do sistema elétrico e com o aterramento do sistema de eletrônico através de condutores metálicos, no entanto o SPDA precisa possuir seus próprios eletrodos de aterramento.

Recomendações pessoais

O Informativo nº 43 do Departamento de Defesa Civil, cujo link encontra-se na parte bibliográfica deste documento, aborda os procedimentos que devem ser tomados para a prevenção de acidentes pessoais envolvendo descargas atmosféricas. O informativo aborda métodos de prevenção para pessoas que estão na rua, em casa e o que deve ser feita em caso de acidente envolvendo raios.

Orientações para quem está na rua

- i. Mantenha-se afastado e não trabalhe em cercas, alambrados, linhas telefônicas ou elétricas e estruturas metálicas.
- ii. Não manipule materiais inflamáveis em recipientes abertos.
- iii. Não operar tratores ou máquinas, especialmente, para rebocar equipamentos metálicos.
- iv. Se você estiver viajando permaneça dentro do automóvel, pois oferecem uma excelente proteção contra raios.

- v. Busque refúgio no interior de edifícios.
- vi. Mantenha-se longe de árvores isoladas.
- vii. Não permaneça dentro d'água durante as tempestades.
- viii. Evite áreas altas, busque refúgio em lugares baixos.
- ix. Ao sentir carga elétrica em seu corpo (caracterizada por eriçamento do cabelo e formigamento da pele) jogue-se ao chão.
- x. Preste atenção à previsão do tempo para o princípio e fim da tarde, quando ocorre a maioria das trovoadas. Tenha um plano de fuga para qualquer atividade ao ar livre e afaste-se dos cumes das montanhas antes do meio-dia. Se tiver de fazer uma longa travessia de barco, tenha especial atenção. As canoas são um dos lugares mais expostos que existem.
- xi. Com mau tempo, evite árvores altas, picos desprotegidos, campos abertos e ou mesmo praias e piscinas.
- xii. Na floresta, procure um conjunto de árvores de altura regular e numa zona baixa, mas longe d'água. Afaste-se de troncos e raízes.
- xiii. Se for apanhado em céu aberto, evite árvores isoladas, faça do corpo uma "bola com pés", acocorando-se com eles o mais junto possível. Não toque com as mãos no chão.
- xiv. Para minimizar o número de pessoas afetadas por um raio, não se junte em grupo. A corrente elétrica pode passar de uma pessoa para outra sem que elas se toquem.
- xv. Afaste-se de objetos metálicos, especialmente armações de tendas e barracas ou cercas de arame, uma vez que se trata de bons condutores.
- xvi. Quando acampar, monte sua barraca longe de lugares com maior probabilidade de queda de um raio, tais como, árvores altas e isoladas.
- xvii. Aprenda a fazer reanimação cardiopulmonar. Cerca de 20% das vítimas morrem, mas muitas vezes podem ser salvas se tratadas de imediato.
- xviii. Certifique-se de que a tempestade passou completamente antes de prosseguir seu caminho. Muita gente morre antes do clímax de uma tempestade por se aventurar cedo demais.

Orientações para quem está dentro de casa ou em edifícios

- i. Durante as tempestades fique em casa.
- ii. Saia somente se for absolutamente necessário.
- iii. Evite contato com água e fique longe de portas e janelas.
- iv. Não retire nem coloque roupa em estendedores (varais) de arame durante a tempestade.
- v. Durante uma tempestade, não utilize aparelhos eletrodomésticos, mantenha-os desligados das tomadas e, também, desconecte da antena externa o televisor, assim você estará reduzindo danos.
- vi. Use o telefone somente em uma emergência, os raios podem alcançar a linha telefônica aérea.
- vii. Mantenha estas orientações por 30 minutos após ouvir o último trovão.

Primeiros socorros a alguém atingido por um raio ou relâmpago

- i. As pessoas atingidas por um relâmpago não ficam eletrificadas depois do acidente. Dessa forma, devem receber cuidado imediato.
- ii. Cheque se a vítima está respirando e se tem pulsação. Em caso de parada cardíaca e respiratória uma pessoa capacitada deve iniciar respiração boca a boca e massagem cardíaca o mais rápido possível.
- iii. Cobrir queimaduras, fraturas e outras lesões com pano limpo e não movimentar a vítima se houver suspeita de fratura de coluna.
- iv. Chamar ambulância ou serviço de emergência especializado rapidamente.
- v. Mesmo nos casos em que a vítima está consciente e sem lesão aparente, há necessidade de exame médico cuidadoso o quanto antes.

4.3 Sobrecargas nos circuitos e aparelhos de utilização

A NBR 5410:2004, em seu item 5.3.1, afirma que os que todos os condutores vivos devem ser protegidos, por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecargas. Estes dispositivos destinam-se a interromper sobrecargas antes que elas se tornem perigosas, devido aos efeitos térmicos e mecânicos, ou resultem em uma elevação de temperatura prejudicial à isolação, às conexões, às terminações e a circunvizinhança dos condutores.

Proteção dos condutores de fase

A detecção de sobrecorrentes deve ser prevista em todos os condutores de fase, e deve provocar o seccionamento dos outros condutores vivos.

Proteção do condutor neutro

Quando a seção do condutor neutro for pelo menos igual ou equivalente à dos condutores de fase, não é necessário prever detecção de sobrecorrente no condutor neutro, nem dispositivo de seccionamento nesse condutor.

Quando a seção do condutor neutro for inferior à dos condutores de fase, é necessário prever detecção de sobrecorrente no condutor neutro, adequada à seção desse condutor. Essa detecção deve provocar o seccionamento dos condutores de fase, mas não necessariamente do condutor neutro.

Dispositivos capazes de prover a proteção contra sobrecarga

Esses dispositivos de proteção devem poder interromper qualquer sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumido no ponto em que o dispositivo for instalado. A norma 5410:2004 especifica, em seu item 5.3.3.1, que estes dispositivos podem ser:

- i. Disjuntores.
- ii. Dispositivos fusíveis tipo gG³.
- iii. Disjuntores associados a dispositivos fusíveis.

Coordenação entre condutores e dispositivos de proteção

A fim de prevenir este tipo de eventualidade, deve-se utilizar dispositivos que interrompam a corrente do circuito, protegendo principalmente os cabos, quando este tipo de anomalia ocorrer. Dessa forma, os dispositivos destinados a proteger os condutores vivos de um circuito contra qualquer falta capaz de produzir sobrecorrentes na faixa das correntes de sobrecarga deve estar adequadamente coordenado com os condutores. Para isso a NBR 5410:2004, no seu item 5.3.4.1, impõe três condições.

Em primeiro lugar, a corrente nominal do dispositivo de proteção (I_N) ou no caso de dispositivo ajustável, a corrente de ajuste (também designada por I_N), não deve ser inferior à corrente de projeto do circuito (I_B), isto é:

$$I_B \leq I_N$$

³ Fusível tipo gG: Dispositivos de proteção de aplicação geral, utilizados na proteção de circuitos contracorrente de sobrecarga e contracorrentes de curto-circuito.

Evitando, assim, a atuação do dispositivo durante o funcionamento normal do circuito.

A segunda condição impõe que a corrente nominal (ou de ajuste) do dispositivo de proteção não seja superior à capacidade de condução de corrente (I_Z) dos condutores ou dos cabos do circuito, ou seja:

$$I_N \leq I_Z$$

O que significa que o dispositivo deve ficar sobrecarregado quando ocorrer uma sobrecarga no circuito. Agrupando as expressões acima, tem-se:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

A última condição diz que o dispositivo de proteção deve atuar com segurança (dentro do tempo convencional, t_c , fixado pela norma respectiva) para sobrecorrentes não superiores a $1,45 I_Z$, o que pode ser inscrito:

$$I_2 \leq 1,45 I_Z$$

Sendo I_2 a corrente convencional de atuação para disjuntores ou a corrente convencional de fusão para fusíveis. Assim o condutor, na pior das hipóteses, deverá suportar uma sobrecorrente correspondente a $n = 1,45$ por um tempo igual ao tempo convencional do dispositivo de proteção. É o caso de $I_2 = 1,45 I_Z$.

Omissão da proteção contra sobrecargas

A NBR 5410:2004, em seu item 5.3.4.3.3, admite, em esquemas IT, omitir a proteção contra sobrecargas se o circuito em questão for protegido por dispositivo a corrente diferencial-residual que seguramente atue na ocorrência de uma segunda falta. Admite-se ainda, no caso particular de esquema IT sem distribuição do condutor neutro, que o dispositivo de proteção contra sobrecargas seja omitido em uma das fases, se o circuito contar com dispositivo de proteção a corrente diferencial-residual.

Casos em que é recomendada a omissão da proteção contra sobrecarga por razões de segurança

Recomenda-se omitir o dispositivo de proteção contra sobrecargas em circuitos que alimentam equipamentos de utilização, nos casos em que o desligamento inesperado do circuito suscitar uma situação de perigo ou, inversamente, desabilitar equipamentos indispensáveis numa situação de perigo. No item 5.3.4.4 da NBR 5410:2004, alguns exemplos de tais casos são citados:

- i. Circuitos de excitação de máquinas rotativas.

- ii. Circuitos de alimentação de eletroímãs para elevação de cargas.
- iii. Circuitos secundários de transformadores de corrente.
- iv. Circuitos de motores usados em serviços de segurança (bombas de incêndio, sistemas de extração de fumaça, etc.).

No entanto, nesses casos deve ser previsto um dispositivo de sinalização de sobrecargas. No caso de existir uma sobrecarga, em vez de seccionar o circuito, a proteção deve gerar um sinal sonoro ou visual através de um dispositivo supervisor de isolamento, DSI. Este aviso deve ser encaminhado para o setor de manutenção. Dessa forma, as providências no sentido de eliminar a anomalia devem ser tomadas imediatamente após o sinal ter sido emitido.

4.4 Curtos circuitos nas linhas de alimentação

Segundo a NBR 5410:2004, em seu item 5.3.5.2.1, as correntes de curto circuito, da mesma forma que as correntes de sobrecargas, precisam ser interrompidas antes que possam provocar efeitos térmicos ou mecânicos prejudiciais aos condutores ou cabos isolados, às ligações, aos terminais ou às vizinhanças da linha. Nessas condições, os dispositivos de proteção devem atuar com rapidez e segurança, isolando as faltas com o mínimo de danos às linhas e aos equipamentos e aos equipamentos alimentados e, se possível, sem alterar substancialmente o funcionamento global da instalação. Os cabos, as barras, as chaves, bem como os demais componentes, devem ser capazes de suportar, por determinado tempo, os efeitos térmicos e mecânicos resultantes da circulação da corrente de curto-circuito.

Caracterização das correntes de curtos circuitos

As correntes de curto circuito resultam de uma falta direta entre condutores vivos e são geralmente de grande intensidade. Quando ocorre um curto-circuito em uma instalação, entalece-se instantaneamente um percurso de baixa impedância entre a fonte (ou as fontes) e o ponto de falta, produzindo-se então, uma corrente bastante elevada em relação às correntes normais da instalação, que pode atingir valores altíssimos em um tempo extremamente curto. Nessa situação, a onda de corrente deixa de ser senoidal, passando a ser um sinal assimétrico, mas que para fins de análise, poderá ser considerado como formado por duas componentes: uma alternada (senoidal) e outra contínua. A soma das duas dará a corrente assimétrica real.

A integral de Joule

A integral de Joule (I^2t) é uma grandeza [35] que assume uma importância fundamental no estudo de fenômenos relacionados com pulso de corrente não senoidais de curta duração, como os criados por dispositivos de seccionamento a estado sólido e por dispositivos de proteção a sobrecorrente do tipo limitador (fusíveis e disjuntores). Em particular, I^2t é uma ferramenta de grande utilidade no trabalho com problemas térmicos resultantes da circulação de correntes de valor elevado e de curta duração, como as de falta direta em circuitos elétricos, no que concerne ao aquecimento dos condutores e à atuação das proteções.

Como dito anteriormente, quando as sobrecorrentes assumem valores muito elevados, como no caso de curto-circuito, temperaturas da ordem de centenas de graus são atingidas pelos condutores em tempos muito pequenos [35], frequentemente da ordem de centésimos de segundos. Para tempos tão curtos, não é viável considerar constante o valor eficaz da corrente, como no caso de correntes de sobrecarga.

De fato, seja pela forma de onda da corrente, seja pelo efeito da indutância da linha, nos primeiros ciclos da corrente de falta direta, seus efeitos não podem ser avaliados pelo valor eficaz. Assim, para o estudo dos efeitos térmicos dessa corrente, considerando tempos extremamente pequenos, não se pode separar a grandeza corrente da grandeza tempo, sendo necessário considerá-las em conjunto no produto integral [35],

$$\int_0^t [i(t)]^2 . dt = I^2t$$

A integral de Joule pode ser calculável ou mensurável caso a caso, em ensaio de curto-circuito. Observe que, há algum tempo, a integral de Joule não constituía nenhum problema para o projetista, e sim apenas para o fabricante de dispositivos de proteção. Hoje, tal grandeza é bastante utilizada na análise da coordenação entre os condutores e dispositivos de proteção contra sobrecorrente. Dessa forma, os valores nominais da integral de Joule (I^2t) estão sendo aplicados [35] cada vez mais a equipamentos elétricos, e alguns dispositivos de proteção são coordenados também com base em I^2t , em vez de considerar-se somente a máxima corrente de curto-circuito.

Dispositivos utilizados na proteção contra curto-circuito

A NBR 5410:2004, em seu item 5.3.3.3, especifica os seguintes dispositivos que devem ser utilizados para prover a proteção contracorrentes de curto-circuito:

- i. Disjuntores termomagnéticos conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1.
- ii. Dispositivos fusíveis com fusíveis tipo gG, gM⁴ ou aM⁵, conforme ABNT NBR IEC 60269-1 e ABNT NBR IEC 60269-2 ou ABNT NBR 60269-3.

Esses dispositivos, segundo os itens 5.3.5.5.1 e 5.3.5.5.2 da NBR 5410, devem atender às condições especificadas abaixo:

- i. A capacidade de interrupção do dispositivo deve ser no mínimo igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto onde for instalado. Só se admite um dispositivo com capacidade de interrupção inferior se houver, a montante, um outro dispositivo com capacidade de interrupção necessária; neste caso, as características dos dois dispositivos devem ser coordenadas de tal forma que a energia que eles deixam passar não seja superior à que podem suportar, sem danos, o dispositivo situado a jusante e as linhas por eles protegida.
- ii. A integral de Joule que o dispositivo deixa passar deve ser inferior ou igual à integral de Joule necessária para aquecer o condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo até a temperatura limite de curto-circuito, o que pode ser indicado pela seguinte expressão:

$$\int_0^t i^2 . dt = K^2 S^2$$

Onde:

$\int_0^t i^2 . dt$ é a integral de Joule (energia) que o dispositivo de proteção deixa passar, em ampères quadrados-segundo.

$K^2 S^2$ é a integral de Joule energia capaz de elevar a temperatura do condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo até a temperatura de curto-circuito, supondo-se aquecimento adiabático. O valor de K e S (seção do condutor, em milímetros quadrados) pode ser encontrado na tabela 30 da NBR 5410.

Para curtos-circuitos de qualquer duração em que a assimetria da corrente não seja significativa, e para curtos-circuitos assimétricos de duração $0,1 s \leq t \leq 5 s$, pode-se efetuar o cálculo através da seguinte expressão simplificada:

⁴ Fusíveis tipo gM: Dispositivo de proteção destinado à proteção de circuitos de motores contra correntes de curto-circuito e sobrecarga.

⁵ Fusíveis tipo aM: dispositivos de proteção destinado a proteção apenas contra curto-circuito.

$$I^2 \cdot t \leq K^2 S^2$$

A partir deste cálculo será possível calcular a capacidade do dispositivo de proteção de forma que a energia que este deixará passar seja inferior àquela que irá danificar o isolamento dos condutores, dessa forma, prevenindo os curtos-circuitos.

4.5 Maus-contatos nas conexões, emendas e dispositivos de seccionamento e proteção

A NBR 5410:2004, em seu item 6.2.8, afirma que as conexões de condutores entre si e com outros componentes da instalação devem garantir continuidade elétrica durável, adequada suportabilidade mecânica e adequada proteção mecânica. Dessa forma, este item faz algumas considerações sobre as conexões nas instalações elétricas:

- i. As conexões devem suportar os esforços impostos pelas correntes, seja em condições normais, seja em condições de falta. Além disso, as conexões não devem sofrer modificações inadmissíveis em decorrência de seu aquecimento, do envelhecimento dos isolantes e das vibrações que ocorrem em serviço normal. Em particular, devem ser consideradas as influências da dilatação térmica e das tensões eletroquímicas, que variam de metal para metal, bem como as influências da temperatura que afetam a resistência mecânica dos materiais.
- ii. As conexões devem ser acessíveis para verificação, ensaios e manutenção, exceto nos casos de emendas em cabos enterrados e imersas em compostos ou seladas.
- iii. Se necessário, devem ser tomadas precauções para que a temperatura atingida nas conexões, em serviço normal, não afete a isolação das partes condutoras conectadas.
- iv. Salvo nos casos de linhas aéreas e de linhas de contato alimentando equipamentos móveis, as conexões de condutores entre si e com equipamentos não devem ser submetidas a nenhum esforço de tração ou de torção.
- v. As conexões devem ser realizadas de modo que a pressão de contato independa do material isolante.
- vi. É vedada a aplicação de solda a estanho na terminação de condutores, para conectá-los a bornes ou terminais de dispositivos ou equipamentos ou equipamentos elétricos.

- vii. Os meios de conexão utilizados na ligação direta de condutores de alumínio a terminais de dispositivos ou equipamentos elétricos que admitam tal conexão devem atender aos requisitos das normas aplicáveis a conexão para alumínio.
- viii. Na falta de meios de conexão adequados para a conexão direta com alumínio, o condutor deve ser emendado com um condutor de cobre, através de conector especial, e então ligado ao equipamento.
- ix. As conexões prensadas devem ser realizadas por meio de ferramentas adequadas ao tipo e tamanho de conector utilizado, de acordo com as recomendações do fabricante do conector.
- x. Em conectores de alumínio somente são admitidas emendas por meio de conectores por compressão ou solda adequada.
- xi. A conexão entre cobre e alumínio deve ser realizada exclusivamente por meio de conectores adequados a este fim.

4.6 Secionamento inesperado de circuito

De modo geral, qualquer instalação elétrica está sujeita a ter problemas em sua alimentação de energia elétrica. Variações de tensão, frequência ou mesmo interrupções no fornecimento que alimenta a instalação, seja na própria instalação, pelas causas mais diversas já relatadas no Capítulo 3 deste documento.

Atualmente, a continuidade no fornecimento de energia elétrica e, em certos casos, a “qualidade” de energia fornecida são de vital importância para inúmeras atividades e situações novamente já descritas no Capítulo 3 deste documento.

Nessas condições, é fácil entender a grande importância dada aos sistemas auxiliares de fornecimento de energia elétrica, fontes e circuitos, que devem ser acionados quando da falha na alimentação normal de uma instalação. São as alimentações e instalações de segurança e de reserva.

Instalações de segurança

A NBR-5410:2004, em seu item 6.6, denomina as instalações elétricas que não podem sofrer interrupções, seja por razões de segurança, seja por razões econômicas ou administrativas, “serviços de segurança”.

Estas instalações são classificadas em quatro tipos:

- i. Instalações de segurança sem seccionamento:

Neste tipo, as cargas que estão ligadas às instalações de segurança estão permanentemente alimentadas pela fonte de segurança, tanto em serviço normal (concessionária) como em caso de falta da alimentação normal. Este é o caso dos equipamentos conhecidos por *no-break* (sem interrupção), muito usados em instalações de computadores, salas de operação de hospitais etc., ou em dispositivos de segurança (contra incêndios, roubo, etc.).

ii. Instalações de segurança permanentes, com seccionamento:

Nestas instalações há dois tipos diferentes de fonte: normal e de segurança. Ocorrendo uma falha de alimentação normal, a fonte de segurança é ligada automaticamente, reestabelecendo-se a alimentação dos circuitos de segurança em breve intervalo (2 a 10 segundos). Este é o exemplo típico de gerador de emergência com partida e transferência automática. Deve ser usado em locais onde haja grande aglomeração de pessoas, como teatros, cinemas, grandes lojas etc., onde a interrupção da iluminação ou dos elevadores pode comprometer a segurança.

iii. Instalações de segurança não-permanentes:

Neste tipo de instalação, os circuitos de segurança não estão permanentemente ligados, o que somente acontece quando ocorre falha no abastecimento normal. Desse modo, a confiabilidade é bem menor, daí ser usado em locais de menos aglomeração de pessoas, como hotéis, museus, salas de aula etc. Um exemplo típico deste sistema é o da iluminação de emergência de escadas, caixas de banco etc., com fonte de bateria e carregador (retificador) sempre ligados (em flutuação), de modo, ocorrendo uma falha na rede normal, somente acendem as lâmpadas ligadas aos circuitos de segurança.

iv. Instalações de segurança não-automáticas:

Este é o tipo de instalação menos sofisticado, em que as falhas do abastecimento normal não necessitam ser prontamente atendidas pela fonte de segurança. Pode ser usado em pequenos hotéis, restaurantes, edifícios etc., onde, ocorrendo interrupção na fonte normal, a fonte de segurança é ligada manualmente.

A NBR, em seu item 6.6.3, afirma que para os serviços de segurança destinados a funcionar em condições de incêndio, as prescrições seguintes devem ser atendidas:

- i. Deve ser selecionada uma fonte de segurança que possa manter a alimentação pelo tempo adequado, podendo ser:
 - a) Baterias de acumuladores.
 - b) Geradores independentes da fonte normal.
 - c) Alimentação derivada da rede pública de distribuição e efetivamente independente da fonte normal.

O item 6.6.6 da NBR 5410:2004 [43] faz algumas considerações sobre as fontes de segurança:

- i. As fontes de segurança devem ser instaladas da mesma forma que um equipamento fixo e de tal maneira que não possam ser afetadas por falha da fonte normal.
- ii. As fontes de segurança devem ser acessíveis apenas às pessoas advertidas ou qualificadas.
- iii. Na instalação das fontes de segurança devem ser garantidas exaustão e ventilação adequadas, de modo a impedir que eventuais gases ou fumaça delas emanados venham a penetrar áreas ocupadas por pessoas.
- iv. Uma fonte de segurança só pode ser utilizada para outros serviços que não os de segurança se isso não comprometer sua disponibilidade para os serviços de segurança.
- v. Devem ser tomadas todas as precauções para evitar o paralelismo das fontes, por exemplo, com intertravamentos mecânicos.
- vi. A proteção contra curtos-circuitos e a proteção contra choques elétricos devem ser garantidas qualquer que seja a fonte em funcionamento.

O item 6.6.7 da NBR 5410:2004 [43] faz algumas considerações sobre os circuitos de segurança:

- i. Os circuitos dos serviços de segurança devem ser independentes de outros circuitos.
- ii. As linhas aéreas contendo circuitos de serviços de segurança não devem atravessar locais com riscos de incêndio, a menos que elas sejam resistentes ao fogo. As linhas não devem atravessar em nenhuma hipótese, locais com risco de explosão.
- iii. A proteção contra sobrecarga pode ser omitida, se a perda da alimentação representar um perigo maior. Caso esta proteção seja omitida, deve-se monitorar a ocorrência de sobrecargas.

Instalações de reserva

Apesar da NBR 5410:2004 não tratar o assunto, este sistema será discutido neste documento devido a sua importância.

Os sistemas de alimentação elétrica de reserva, opcionais, são previstos para manter o funcionamento da instalação no caso de interrupção da alimentação normal, por razões outras que a segurança das pessoas. São casos nos quais a interrupção da alimentação elétrica pode causar situações de desconforto ou prejudicar atividades comerciais e industriais, como por exemplo, equipamentos de processamento de dados, comunicação, ar condicionado, equipamentos industriais.

Fontes de reserva

Nas instalações de reserva, podem ser usados como fontes:

- i. Baterias.
- ii. Geradores independentes da alimentação normal.
- iii. Ramais separados da rede de distribuição, efetivamente independente da alimentação normal.
- iv. Sistemas especiais.

4.7 Queda de cabos ou de estruturas elétricas vivas

O Corpo de Bombeiros através de sua cartilha de prevenção de acidentes aborda alguns procedimentos que devem ser tomados em caso deste acidente. Algumas das recomendações que seguem foram obtidas da Defesa Civil do Estado e também de concessionárias como a Ampla e CEMIG. Todas as informações aqui resumidas estão disponíveis nas respectivas páginas eletrônicas, cujos links estão na bibliografia deste documento. Os procedimentos apurados são para o caso de fios e cabos partidos e caídos em vias públicas; cabos de energia caídos em cima de veículos; procedimentos em caso de acidentes envolvendo esta eventualidade e por fim procedimentos em caso de queda de estruturas elétricas vivas que gerem incêndios.

Fios e cabos partidos

- i. A maior parte da rede elétrica é desencapada ou não isolada. Alguns cabos e fios têm uma capa que não oferece proteção às pessoas. Serve apenas para protegê-los do sol, da chuva e de outras intempéries.

- ii. Na parte mais alta dos postes, ficam as linhas de alta tensão, por onde passam 13 kV ou mais. Apenas 15 centímetros de aproximação destas linhas é o suficiente para causar uma descarga elétrica fortíssima, que pode provocar queimaduras graves, mutilações e até a morte.
- iii. A rede elétrica é projetada de modo a não oferecer riscos à população. Mas chuvas, ventos, galhos de árvores, colisões em postes e outros acidentes podem partir um cabo e deixá-lo pendurado ou caído no chão.

Em casos de colisão de veículos com postes (abalroamento)

- i. Não saia do veículo. Se houver um cabo partido em contato com o veículo você poderá tomar um choque.
- ii. Em situação de incêndio do veículo, abra a porta e pule com os pés juntos, o mais distante possível, sem tocar a lataria do carro.
- iii. Se estiver do lado de fora do veículo que está em contato com os cabos, não encoste no veículo, pois ele poderá estar energizado.
- iv. Não tente socorrer vítimas que estiverem em contato com fios partidos. Acione imediatamente o Corpo de Bombeiros Militar.

O que fazer no caso de alguém ser atingido por um choque elétrico

- i. Ligue 193 (Bombeiros).
- ii. Se algum objeto entrar em contato com os fios da rede de energia, considere-o energizado.
- iii. Não tente ajudar a vítima sem estar preparado. O choque pode passar da vítima para a pessoa que está tentando ajudar.
- iv. Peça aos outros ao redor que se afastem.
- v. Não toque na vítima, nem se aproxime dos fios caídos ou objetos em contato com eles, como cercas metálicas, portões de ferro ou varais de roupa.
- vi. Caso seja necessário remover do local uma vítima de descarga elétrica, envolva as mãos em jornal ou em um saco de papel. Empurre a vítima para longe da fonte de eletricidade com um objeto seco, não-condutor de corrente, como um cabo de vassoura, tábua, corda seca, cadeira de madeira ou bastão de borracha, de modo que não a machuque. Nunca use objeto

metálico, não toque diretamente na vítima com as mãos e não utilize nada molhado, como uma toalha úmida.

- vii. Ao carregar a vítima, tome muito cuidado para não complicar eventuais lesões, principalmente na coluna vertebral.
- viii. Se for possível, interrompa o contato da vítima com a corrente elétrica, utilizando material não condutor seco (pedaço de pau, corda, borracha ou pano grosso). Se as roupas da vítima estiverem em chamas, deite-a no chão e cubra-a com um tecido bem grosso, para apagar o fogo. Outra opção, é fazer a vítima rolar no chão. Não a deixe correr.
- ix. Verifique, então, se a vítima está consciente e respirando. Se a pessoa não acordar ou estiver com dificuldade para respirar, ligue para um serviço de emergência e procure ajuda médica.
- x. Providencie socorro médico imediatamente. Em acidentes com eletricidade, é preciso ser rápido, pois os primeiros três minutos após o choque são vitais para o acidentado.

Se a vítima não estiver respirando

Faça respiração boca a boca, procedendo da seguinte forma:

- i. Deite a vítima de costas e incline levemente a cabeça dela para trás.
- ii. Remova dentaduras, pontes móveis ou outros corpos estranhos da boca do acidentado. Desenrole a língua para evitar uma possível asfixia.
- iii. Feche as narinas da vítima. Coloque sua boca bem firme sobre a boca da pessoa acidentada e sopre até o peito se encher.
- iv. Libere a boca e as narinas da vítima, deixando o ar sair livremente. Repita estas operações de 12 a 15 vezes por minuto, até a recuperação da respiração.

Massagem no coração

- i. Coloque a vítima de costas sobre uma superfície plana e dura.
- ii. Coloque as mãos sobrepostas sobre o peito da vítima e faça pressão com força, mantendo os braços esticados e usando seu próprio peso para pressionar.
- iii. Repita a operação 60 vezes por minuto.

- iv. Se tiver de fazer respiração boca a boca e pressão no coração ao mesmo tempo, para cada duas respirações, faça 15 pressões.
- v. Se o socorro for em dupla, faça uma respiração a cada cinco pressões.

Se um equipamento pegar fogo ao cair da rede elétrica

- i. Nunca jogue água em fogo provocado por eletricidade. Você poderá piorar a situação, levando um choque. Só use um extintor de incêndio apropriado para fogo provocado por eletricidade. Ele é identificado com uma etiqueta com a letra C em destaque.
- ii. Abandone a área e avise os outros.
- iii. Chame o Corpo de Bombeiros (193) e diga que é um incêndio provocado por eletricidade. Siga as orientações da Brigada de Incêndio.

Distâncias mínimas entre condutores e o solo

A norma da concessionária Ampla em seu capítulo sobre padrão de infraestrutura aborda sobre as distâncias mínimas de segurança entre condutores e o solo, considerando-se as situações mais críticas de flechas dos cabos (flecha máxima a 50°C), conforme Tabela 4.5 abaixo:

Tabela 4.5: Distâncias mínimas entre condutores e o solo [44]

Locais	Distâncias Mínimas entre Condutores e o Solo
Sobre pistas de rolamento de rodovias e ferrovias, e sobre vias e canais navegáveis	De acordo com as normas dos órgãos competentes
Sobre pistas de rolamento de avenidas e ruas	5,00 metros
Sobre locais onde haja tráfego normal de pedestres, passagem de veículos e travessias sobre estradas particulares na área rural	4,50 metros
Entradas de prédios e demais locais de uso restrito a veículos	4,50 metros
Sobre locais onde haja tráfego exclusivamente de pedestres	3,00 metros
Sobre locais nas áreas rurais acessíveis a trânsito de máquinas e equipamentos agrícolas	6,00 metros

Verificação de rotina – Manutenção preventiva

A NBR 14039:2005 [47], em seu item 8.2.2.1, trata da manutenção preventiva. Segundo, o referido item, a manutenção preventiva deve ser efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a

probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item, em especial, faz uma consideração importante a fim de evitar o acidente em questão:

- i. Cabos e acessórios: devem ser inspecionados o estado dos cabos e seus respectivos acessórios, assim como os dispositivos de fixação e suporte, observando sinais de aquecimento excessivos, rachaduras, ressecamentos, fixação, identificação e limpeza.

4.8 Sobretensões

A NBR 5410:2004, no seu item 5.4, estabelece que as sobretensões nas instalações elétricas de baixa tensão não devem comprometer a segurança das pessoas, nem a integridade das próprias instalações. As sobretensões podem ser permanentes ou transitórias.

Sobretensões temporárias

Determinadas ocorrências podem fazer com que os circuitos fase-neutro sejam submetidos a sobretensões que podem atingir o valor da tensão entre fases. Essas ocorrências são:

- i. Perda do condutor neutro em esquemas TN e TT, em sistemas trifásicos com neutro, bifásicos com neutro e monofásico a três condutores.
- ii. Falta à terra envolvendo qualquer dos condutores de fase em um esquema IT.
- iii. Falha de isolamento para outra instalação de tensão mais elevada em esquema TT.

Proteção contra sobretensões temporárias

- i. Os componentes da instalação elétrica devem ser selecionados de forma a que sua tensão nominal de isolamento seja pelo menos igual ao valor da tensão nominal entre fases da instalação.
- ii. Em instalações segundo o esquema TT, deve-se verificar se as sobretensões temporárias provocadas pela ocorrência de falta à terra na média tensão são compatíveis com a tensão suportável à frequência industrial dos componentes da instalação BT (terceiro item das causas de sobretensões temporárias). Esta condição é considerada atendida se:

- a) $R \times I_m \leq 250 V$, quando a falta à terra for eliminada pela proteção primária da subestação de transformação MT/BT em um tempo superior a 5 s.
- b) $R \times I_m \leq 1200 V$, quando a falta à terra for eliminada pela proteção primária da subestação de transformação MT/BT em tempo inferior ou igual a 5s.

Onde,

R é a resistência de aterramento das massas da subestação de transformação MT/BT; e

I_m é a parte da corrente de falta à terra na média tensão que circula pelo eletrodo de aterramento das massas da subestação de transformação MT/BT.

Sobretensões transitórias

Determinadas ocorrências podem provocar este tipo de anomalia como:

- i. Descargas atmosféricas.
- ii. Manobras na rede elétrica.

Proteção contra sobretensões transitórias

A NBR 5410:2004, em seu item 5.4.2.1.2 especifica que a proteção da instalação elétrica em BT contra as sobretensões transitórias deve ser provida:

- i. Por dispositivos de proteção contra surtos (DPSs).
- ii. Por outros meios que garantam uma atenuação das sobretensões no mínimo equivalente àquela obtida conforme a alínea i.

O item 5.4.2.3 da norma [43] afirma que os componentes da instalação devem ser selecionados de modo que o valor nominal de sua tensão de impulso suportável não seja inferior àqueles indicados na Tabela 31 da norma reproduzida na Tabela 4.6 a seguir:

Tabela 4.6: Suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação [43]

Tensão nominal da instalação V		Tensão de impulso suportável requerida em kV			
		Categoria de produto			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de suportabilidade a impulsos			
		IV	III	II	I
120/208	115-230				
127/220	120-240 127-254	4	2,5	1,5	0,8
220/380, 230/400, 277/480	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5

Uso e localização dos DPDS

A NBR 5410:2004, em seu item 6.3.5.2.1, especifica que, nos casos em que for necessário o uso de DPSs, a disposição dos DPSs deve respeitar os seguintes critérios:

- i. Quando o objetivo for a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, os DPSs devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, quando localizado o mais próximo possível do ponto de entrada; ou
- ii. Quando o objetivo for a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPSs devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação.

4.9 Presença de tensões imprevistas

A NBR 5410:2004, no seu item 7, trata da verificação final de uma instalação elétrica. Qualquer instalação nova, ampliação ou reforma de instalação existente deve ser inspecionada e ensaiada, durante a execução e/ quando concluída, antes de ser colocada em serviço pelo usuário, de forma a se verificar a conformidade com as prescrições da referida norma.

As verificações devem ser realizadas por profissionais qualificados, com experiência e competência em inspeções. As verificações e seus resultados devem ser documentados em um relatório.

Inspeção visual

A inspeção visual deve proceder os ensaios e ser efetuada normalmente com a instalação desenergizada. Este procedimento é destinado a verificar se os componentes que constituem a instalação:

- i. Estão em conformidade com as normas aplicáveis.
- ii. Foram corretamente selecionados e instalados de acordo com esta Norma.
- iii. Não apresentam danos aparentes que possam comprometer seu funcionamento adequado e a segurança.

Segundo a NBR 5410:2004, item 7.2.3, a inspeção visual deve incluir dentre outras medidas, as seguintes providências:

- i. Identificação dos componentes por meio de placas, etiquetas e outros meios adequados que permitam identificar a finalidade dos dispositivos como a tensão de operação das tomadas de corrente.
- ii. Presença das instruções, sinalizações e advertência requeridas, aplicando-se a utilização das tomadas com níveis diferentes de tensão.
- iii. Execução das conexões, aplicando-se as ligações dos circuitos nos seus devidos barramentos no quadro de distribuição.

Ensaio

Segundo o item 7.3 da norma [43], ensaios devem ser realizados, quando pertinentes, dentre os quais está o ensaio de funcionalidade, que pode ser utilizado a fim de medir as tensões de funcionamento dos pontos de tomada de corrente.

Responsabilidades

As responsabilidades sobre qualquer intervenção em instalações elétricas são solidárias tanto ao contratante, quanto aos contratos.

Responsabilidades de quem executa, testa e opera a instalação

A NBR 5410:2004, em seu item 7.1, afirma que qualquer instalação nova, ampliação ou reforma de instalação existente deve ser inspecionada e ensaiada, durante e/ ou quando concluída, antes de ser colocada em serviço pelo usuário, de forma a se verificar todos os aspectos de funcionalidade da instalação. Além disso, este item faz algumas considerações pertinentes com relação às responsabilidades:

- i. A documentação da instalação, que consta a seguir, deve ser fornecida ao pessoal encarregado da verificação. Essa documentação, como deve refletir a instalação “como construída” (“as built”).
- ii. Durante a realização da inspeção e dos ensaios devem ser tomadas precauções que garantam a segurança das pessoas e evitem danos à propriedade e aos equipamentos instalados.
- iii. Em caso de ampliação ou reforma, deve ser verificado também se ela não compreende a segurança da instalação existente.
- iv. As verificações devem ser realizadas por profissionais qualificados, com experiência e competência em inspeções. As verificações e seus resultados devem ser documentados em um relatório.

Responsabilidade do usuário

O usuário tem por obrigação comunicar irregularidades observadas nas redes externas e, no caso das redes internas, convocar um profissional habilitado e competente para verificar a situação das mesmas, seja provocado pela observação de que alguma irregularidade está ocorrendo, ou para realizar manutenção preventiva periódica.

Com relação à construção e reformas internas de instalações elétricas, o usuário poderá solicitar que alguns testes sejam feitos antes da entrega final, durante a sua presença como:

- i. Medições de nível de tensão de operação das tomadas de corrente.
- ii. Testes de funcionalidade dos dispositivos a corrente residual (DRs).
- iii. Testes de iluminação de emergência.
- iv. Testes de atuação de bombas de recalque destinadas a incêndios.

Competência Profissional

Os Profissionais habilitados para as atividades de elaboração e execução de projetos de instalação de energia elétrica são os Engenheiros e os Técnicos Industriais de Nível Médio, conforme atribuições específicas definidas para cada categoria profissional. No que se refere aos Engenheiros, a situação é controversa, porém a maioria dos CREA's tem adotado resoluções semelhantes ao CREA - RJ, que estabelece duas categorias de atribuições (Decisão Normalizadora NQ 2 de 24/08/89 do CREA - RJ):

1ª Categoria: Elaboração e execução de projetos de instalações de energia elétrica, sem restrições quanto à carga, tensão ou condição de trabalho.

Esta categoria abrange os Engenheiros Eletricistas ou Mecânicos-Eletricistas, ou ainda, outra especialidade profissional com as atribuições da alínea "h" do artigo 32 do Decreto Federal N2 23.569/33 de 11/12/33.

2ª Categoria: Elaboração e execução de projetos de instalações de energia elétrica, em baixa tensão, para fins residenciais, com carga total instalada não superior a 50 kW, desde que a força motriz, já incluída neste limite, não ultrapasse 10 cv, excluídas as instalações que:

- i. Destinem-se ao suprimento de energia elétrica a locais que exigem a utilização de material especial de segurança e proteção, como hospitais, postos de gasolina e afins.
- ii. Sejam dotadas de sistema de geração de energia, como centros de processamento de dados e afins.
- iii. Destinem-se ao suprimento de recintos para reuniões, como teatros, cinemas, templos ginásios, hotéis, "shopping-centers", mercados, escolas e afins.
- iv. Pela natureza dos materiais empregados ou dos trabalhos executados possa ser verificada a presença de gases ou vapores inflamáveis, assim como poeiras, fibras, combustíveis etc.

Esta categoria abrange, além dos profissionais citados na 1ª categoria, todos os demais profissionais diplomados em curso superior de Engenharia Civil ou Arquitetura, que possuam as atribuições dos artigos 28 e 30 do Decreto Federal N° 23.569/33 de 11/12/33. Muito embora exista tal regulamentação, a posição que se tenta fortalecer na sociedade civil, é que estejam habilitados para desenvolver as atividades de projetos e de execução de instalações elétricas apenas aqueles profissionais que tenham obtido formação específica na área de eletrotécnica.

4.10 Produção de arcos e faiscamentos

A NBR 14039:2005 [47], em seu item 5.9 trata do referido acidente. Segundo a norma, os dispositivos e equipamentos que podem gerar arcos durante a sua operação devem ser selecionados e instalados de forma a garantir a segurança das pessoas que trabalham nas instalações.

A norma [47], em seu item 5.9, relaciona algumas medidas para garantir a proteção das pessoas contra os perigos resultantes de falta por arco elétrico:

- i. Dispositivos de abertura sob carga.
- ii. Chave de aterramento resistente ao curto circuito presumido.
- iii. Sistemas de intertravamento.
- iv. Fechaduras com chave não intercambiáveis.
- v. Corredores operacionais tão curtos, altos quanto possível.
- vi. Coberturas sólidas ou barreiras ao invés de coberturas perfuradas ou telas.
- vii. Equipamentos ensaiados para resistir às faltas de arco elétrico.
- viii. Seleção de tempos de interrupção muito curtos, o que pode ser obtido através de relés instantâneos ou através de dispositivos sensíveis a pressão, luz ou calor, atuando em dispositivos de interrupção rápidos.
- ix. Operação da instalação a uma distância segura.

Equipamentos de proteção

A NR-10 [48], em seu item 10.2.9, medidas de proteção individual, diz que nos trabalhos em instalações elétricas, quando as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou insuficiente para controlar os riscos, devem ser adotados equipamentos de proteção individual especificados e adequados às atividades desenvolvidas, em atendimento ao disposto na NR-6 [49].

A NR-6/2001, em seu anexo I, lista os equipamentos de proteção individual:

- i. Capacete para proteção do crânio e face contra agentes térmicos.
- ii. Capuz ou balaclava para proteção do crânio e pescoço contra riscos de origem térmica.
- iii. Óculos para proteção dos olhos contra impactos de partículas volantes e luminosidade intensa.
- iv. Protetor facial para proteção da face contra impactos de partículas volantes, luminosidade intensa, riscos de origem térmica.
- v. Máscara de solda para proteção dos olhos e da face contra impactos de partículas volantes, radiação e luminosidade intensa.
- vi. Protetor auditivo para proteção do sistema auditivo contra níveis de pressão sonora superiores ao estabelecido na NR-15.
- vii. Luvas para proteção das mãos contra choques elétricos, agentes cortantes e perfurantes.

- viii. Macacão para a proteção do tronco e membros superiores e inferiores contra agentes térmicos.
- ix. Cinturão de segurança com dispositivos trava quedas para proteção do usuário contra quedas em operação com movimentação vertical ou horizontal.

Responsabilidades

A NBR 14039:2005, em seu item 8.2, que trata da manutenção, faz algumas recomendações com relação a qualificação das pessoas, periodicidade e manutenção de rotina em equipamentos que podem gerar este tipo de acidente. Porém, é dever de todo o cidadão, mesmo não habilitado e não qualificado observar o mundo a sua volta e, no caso das redes elétricas externas, comunicar a quem de direito (concessionárias e prefeituras). No caso das instalações elétricas internas, deve-se procurar ajuda de profissional ou de pessoa mais esclarecida que possa encaminhar providências.

Qualificação de pessoal

Verificações e intervenções nas instalações elétricas devem ser executadas somente por pessoas advertidas⁶ ou qualificadas⁷.

Periodicidade

A periodicidade da manutenção deve ser adequada a cada tipo de instalação. Por exemplo, essa periodicidade deve ser tanto menos quanto maior a complexidades da instalação (quantidade e diversidade de equipamentos no local e a severidade das influências a que está submetida).

Verificação de rotina – Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

- i. Cabos e acessórios: devem ser inspecionados o estado dos cabos e seus respectivos acessórios, assim como os dispositivos de fixação e suporte,

⁶ Pessoas advertidas: Pessoas suficientemente informadas ou supervisionadas por pessoas qualificadas, de tal forma que lhes permite evitar os perigos da eletricidade (pessoa de manutenção e/ ou operação).

⁷ Pessoas qualificadas: Pessoas com conhecimento técnico ou experiência tal que lhes permite evitar os perigos da eletricidade (engenheiros e técnicos).

observando sinais de aquecimento excessivos, rachaduras, ressecamentos, fixação, identificação e limpeza.

- ii. Conjunto de manobra e controle: deve ser verificada a estrutura do conjunto de manobra e controle, observando seu estado geral quanto a fixação, danos na estrutura, pintura, corrosão, fechaduras e dobradiças. Deve ser verificado o estado geral dos condutores e dispositivos de aterramento. No caso de componentes com partes internas móveis, devem ser inspecionadas, quando o componente permitir, o estado dos contatos e das câmaras de arco, sinais de aquecimento, limpeza, fixação, ajustes e aferições. Se possível, devem ser realizadas algumas manobras no componente, verificando seu funcionamento. No caso de componentes fixos, deve ser inspecionado o estado geral, observando sinais de aquecimento, fixação, identificação, ressecamento e limpeza.

5 Conclusões

Este trabalho apresentou um estudo sobre a prevenção de alguns dos principais casos de riscos de acidentes elétricos que podem ocorrer em diversos lugares e circunstâncias.

No Capítulo 2 foram descritos os principais riscos e as consequências, caso venham a ser tornar acidentes. Feito isso, o Capítulo 3 abordou inúmeras circunstâncias cotidianas que poderiam levar a um acidente para em seguida abordar os métodos de prevenção. Este capítulo apresentou uma linguagem bem simples, tendo a intenção de chamar a atenção de todos os leitores, principalmente os leigos no assunto. No Capítulo 4, os métodos preventivos foram tratados de uma forma mais genérica, explorando a técnica normativa, sem abordar ações para cada causa em particular. Também foi dado um maior rigor no tratamento do assunto, mergulhando nas normas e procedimentos da engenharia elétrica, no que tange aos projetos, operação e manutenção de sistemas elétricos.

O objetivo do trabalho foi analisar e trazer para os debates acadêmicos os riscos que envolvem a eletricidade, além de dar maior publicidade às medidas de prevenção a fim de orientar leigos e técnicos à luz das normas e procedimentos de engenharia das prescrições que devem ser consideradas para evitar os terríveis danos que a energia elétrica pode ocasionar às pessoas e animais.

Observou-se, a partir das estatísticas levantadas, que os números de acidentes são assustadores. Além disso, muitos dos acidentes fatais envolveram crianças e jovens até 20 anos. Sendo que muitos desses acidentes poderiam ter sido evitados se os procedimentos listados neste trabalho fossem seguidos.

É possível afirmar que a maioria dos objetivos iniciais traçados para este trabalho foi alcançada. Inicialmente, os principais riscos de acidentes elétricos foram levantados e os métodos de prevenção foram descritos de uma forma clara com o objetivo de atingir o maior número possível de leitores. Assim, espera-se que os sinistros envolvendo a eletricidade sejam reduzidos.

Tecnicamente é possível concluir que:

- 1) Pequenas falhas podem produzir grandes danos pessoais e materiais, tais como:
 - i. Choques por contatos indiretos.
 - ii. Sobrecargas.

- iii. Falta de proteção adequada ou troca de disjuntores indevidamente.
- iv. Falta de verificação de tensões.

Outras pequenas falhas podem produzir os mesmos ou danos maiores, porém foi observado que na quase totalidade dos casos, a observância às normas e os comportamentos preventivos podem salvar muitas vidas e evitar grandes prejuízos patrimoniais.

- 2) Alguns acidentes são de difícil prevenção, como:
 - i. Descargas elétricas.
 - ii. Maus contatos e faiscamentos.

No entanto, o comportamento preventivo pode minimizar as chances de ocorrência e o agravamento das consequências em tais acidentes.

- 3) Alguns acidentes ocorrem por imprudência e irresponsabilidade:
 - i. Sobrecargas.
 - ii. Erros no dimensionamento de cabos e disjuntores.
 - iii. Ausência de sistema de aterramento.
 - iv. Falta de manutenção preventiva em instalações.

Por mais que seja difícil prever a falha, a adoção das medidas de proteção nas instalações elétricas, tais como o dimensionamento adequado das cargas, a instalação de dispositivos de proteção, a instalação de cabos de proteção, um sistema de aterramento, um sistema de para-raios, dentre outras, sempre poderá eliminar o acidente em um tempo inferior àquele que possa causar riscos maiores de vida às pessoas e aos animais, ou ao menos minimizar seus efeitos.

O presente trabalho complementou a minha formação acadêmica no sentido de sempre zelar pela segurança e prevenção de acidentes em projetos, execução e na utilização da energia elétrica, podendo contribuir para a formação de outros alunos no que diz respeito a orientá-los sobre as consequências dos acidentes elétricos devido à negligência, à imperícia, à autoconfiança e aos erros de projeto.

Este trabalho representou uma grande realização pessoal no sentido de poder colaborar de uma forma mais imediata e direta para que todas as pessoas se previnam dos riscos que envolvem a eletricidade, evitando que vidas continuem a ser ceifadas todos os anos por conta dos acidentes elétricos.

Para trabalhos futuros, fica a possibilidade de se elaborar uma análise dos possíveis efeitos que os campos eletromagnéticos gerados pelas linhas de transmissão e pelas descargas atmosféricas ocasionam nos equipamentos elétricos e nos seus circuitos

de controle devido aos surtos de tensão induzidos. As proteções eletrostáticas são muito eficazes neste caso, a fim de inibir o acoplamento capacitivo ou indutivo pelas correntes que passam tanto nas linhas, como aquelas que passam nos canais de descargas das descargas elétricas. Dessa forma, simulações poderiam ser feitas para estimar quais as possíveis alterações no funcionamento destes equipamentos, especialmente na proteção, o que poderia levar a uma atuação indevida na rede, o que não deixa de configurar um sério acidente elétrico.

Após toda a análise realizada, através do levantamento e discussões sobre todos os tipos de acidente com origem nas estruturas elétricas, ficou evidente e explícita a necessidade de cada vez mais divulgar os riscos da eletricidade sem que se conheça consideravelmente seu processamento e as formas normatizadas da execução e operação das instalações elétricas.

Referências Bibliográficas

- [1] ABRACOPEL- Associação Brasileira Contra os Perigos da Eletricidade, “Estatísticas sobre acidentes elétricos”, Disponível em:
<www.papodema.com.br/2015/02/23/numero-de-acidentes-com-eletricidade-deram-um-salto-em-2014/ABRACOPEL- Associação Brasileira Contra os Perigos da Eletricidade>, Acessado em 10/04/2016, às 15:17h.
- [2] Jornal Extra, “Primeira Página” Disponível em:
<<http://acervo.extra.globo.com/resultados/?ye=2016&mo=1&da=28>>, Acessado em 11/04/2016, às 18:20h.
- [3] INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, “Fotos do Mês”, Disponível em:
<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/foto.do.mes.php>>, Acessado em 11/04/2016, às 15:07h.
- [4] Jornal Estadão, “Políticas”, Disponível em:
<<http://politica.estadao.com.br/noticias/geral,raios-dao-prejuizo-de-r-200milhoes,20010201p30561>>, Acessado em 11/04/2016, às 18:58h.
- [5] Riscos de Raios, Disponível em:
<<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/raios.htm>>, Acessado em 11/04/2016, às 19:02h.
- [6] Sobrecarga em Tomadas, “Disponível em:
<<http://www.suzuki.arq.br/unidadeweb/sistemas2/aula5/aula5-B.htm>>, Acessado em 11/04/2016, às 19:16h.
- [7] Torres, V.A. Ensaio não Destrutivos e Normas. Marília. TCC, Universidade de Marília, 2013. Disponível em:
< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgPwAD/tcc-wagner1>>, Acessado em 11/04/2016, às 19:48h.
- [8] Jornal O São Gonçalo, “Capa de Jornal”, Disponível em
<<http://www.osaogoncalo.com.br/CAPAS/11961/EDICAO-04-DE-DEZEMBRO-2015>>, Acessado em 11/04/2016, às 21:32h
- [9] Queda de Cabos da Rede Elétrica Aérea, Disponível em:
< <http://static.panoramio.com/photos/original/82420210.jpg>>, Acessado em 12/04/2016, às 18:30h.
- [10] Folha Online, “Editoriais”, Disponível em:

<<http://www1.folha.uol.com.br/agora/policia/pl0901200701.htm>>, Acessado em 12/04/2016, às 18:34h.

[11] Sobrecargas em Tomadas, Disponível em:

<<http://mulher.uol.com.br/casa-e-decoracao/noticias/redacao/2014/04/16/saiba-como-evitar-sobrecargas-e-curtos-em-tomadas.htm>>, Acessado em 11/04/2016, às 22:03h.

[12] Arco Elétrico, Disponível em:

<<http://vrprojetoseletricos.blogspot.com.br/2012/08/arco-eletrico.html>>, Acessado em 12/04/2016, às 09:30h.

[13] Acidentes Elétricos, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=acidentes+eletricos&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjnzfa2jIrMAhVFCpAKHaL6AjsQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 18:35h.

[14] Instalação Elétrica: Conceitos Básicos e Visão Geral, Disponível em:

<<http://construfacilrj.com.br/instalacao-eletrica-visao-geral>>, Acessado em 12/04/2016, às 18:44h.

[15] Fios Desencapados, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=fios+desencapados&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj9bqcjorMAhWHE5AKHRf1BDEQ_AUIBygBA>, Acessado em 12/04/2016, às 19:15h.

[16] Espelho de Quadro de Distribuição, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=espelhos+de+quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwielfrHkIrMAhWEHJAKHezFBAMQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659#imgsrc=HRHwpZs5YwIUjM%3A>, Acessado em 12/04/2016, às 19:22h.

[17] Legendas de Perigo Elétrico, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=espelhos+de+quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwielfrHkIrMAhWEHJAKHezFBAMQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659#imgsrc=HRHwpZs5YwIUjM%3A>, Acessado em 12/04/2016, às 19:33h.

[18] Sistema de Aterramento, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=sistema+de+aterramento+residencial&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj1jtLbIrMAhXLj5AKHbSbB6wQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 19:44h.

[19] Borne de Conexão, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=borne+de+liga%C3%A7%C3%A3o+de+chuveiro&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwir0YiVIYrMAhWCW5AKHR2RCmsQ_AUICCGC>, Acessado em 12/04/2016, às 19:50h.

[20] Disjuntor DR, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=dr&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwirjNTFn4rMAhVMI5AKHeR_ALoQ_AUICCGC#tbm=isch&q=disjuntor+dr>, Acessado em 12/04/2016, às 20:27h.

[21] Operação de Disjuntores, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=opera%C3%A7%C3%A3o+de+disjuntores&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx5qOooIrMAhULHpAKHfjpCdsQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659#tbm=isch&q=+disjuntores+termomagn%C3%A9ticos>, Acessado em 12/04/2016, às 20:35h.

[22] Para-raios, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=pararaios+de+linhas+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjf5Y6zoorMAhXJE5AKHWfDD2wQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 20:41h.

[23] Dispositivo de Proteção contra Surto, DPS, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=dps&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjEqYLYo4rMAhUBHJAKHWLKADEQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 20:46h.

[24] Benjamins – Sobrecarga, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=sobrecarga+benjamins&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj25ta_pIrMAhUMI5AKHRZqAvsQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 20:50h.

[25] Extensão de Energia, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=extens%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjHyKC3pYrMAhUHhZAKHYN_BPsQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 20:56h.

[26] Cargas não lineares, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=cargas+n%C3%A3o+lineares&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwialqrXporMAhXCIZAKHRsDD2sQ_AUICCGC&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 10:03h.

[27] Tomadas de Uso Específico, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=tomadas+de+uso+especifico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhMHwp4rMAhWKIZAKHf--B_oQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 21:05h.

[27] Troca de Disjuntores, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=troca+de+disjuntores+em+quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi7sPnaqIrMAhUHfZAKHbdKB4AQ_AUICSgD&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 21:18h.

[28] Identificação de Disjuntores, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=identifica%C3%A7%C3%A3o+de+disjuntores+em+quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjHwpeZqYrMAhVKGJAKHdUrA_oQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 21:11h.

[29] Queda de Árvore em Redes Aéreas, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=queda+de+arvores+em+linhas+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjmrpHZqYrMAhWFQpAKHQqpA1sQ_AUICSgD>, Acessado em 12/04/2016, às 21:19h.

[30] Descargas Atmosféricas em Redes de Alimentação, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=descargas+atmosf%C3%A9ricas+em+linhas+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJv-e5qorMAhVDf5AKHdefCqoQ_AUIBygB&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 11:35h.

[31] Vandalismo na Rede de Distribuição, Disponível em:

<<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/08/vandalismo-prejudica-abastecimento-de-energia-eletrica-em-cidade-de-al.html>>, Acessado em 12/04/2016, às 21:43h.

[32] Manutenção da Rede de Distribuição, Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=manuten%C3%A7%C3%A3o+na+rede+a%C3%A9rea+de+distribui%C3%A7%C3%A3o&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiKvK-gsorMAhVFHJAKHa-1BGcQ_AUICCgC&biw=1366&bih=659>, Acessado em 12/04/2016, às 21:35h.

[33] MAMEDE FILHO, J. Manual de Equipamentos Elétricos. 4^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I, 2015.

[34] NEMÉSIO SOUSA, Jorge. Apostila de Manutenção de Equipamentos Elétricos. UFRJ – 2009

- [35] COTRIM, A. A. M. B. Instalações Elétricas. 5ª. ed. São Paulo: Pearcon, v. I, 2012.
- [36] Os Perigos de Soltar Pipa próximo à Rede Elétrica, Disponível em:
<<http://reportermogi.com/index.php/2014/01/13/soltar-pipa-exige-cuidados>>, Acessado em 12/04/2016, às 22:17h.
- [37] Queda de Cabos de Energia em cima de Carro, Disponível em:
<<http://g1.globo.com/carros/noticia/2015/02/se-fio-cair-sobre-carro-nao-desca-recomendam-especialistas.html>>, Acessado em 12/04/2016, às 23:05h.
- [38] Como Evitar Acidentes Elétricos, Disponível em:
<<http://www.cec.com.br/dicas-construcao-evite-acidentes-com-energia-eletrica?id=259>>, Acessado em 12/04/2016, às 16:05h.
- [39] Identificação de Tomadas, Disponível em:
<<http://www.seton.com.br/placas-e-etiquetas/etiquetas-de-advertencia/identificacao-de-tomadas.html>>, Acessado em 12/04/2016, às 15:15h.
- [40] Fita Autofusão, Disponível em:
<http://www.leroymerlin.com.br/fita-isolante-autofusao-10-metros-preto-3m_87121006>, Acessado em 12/04/2016, às 14:25h.
- [41] Esquemas de Aterramento, Disponível em:
<<http://www.cursor10.com/aterramento-tn>>, Acessado em 12/04/2016, às 13:15h.
- [42] NBR 5419 2005 - Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [43] NBR 5410/ 2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [44] Estruturas para Rede Aérea Urbana, Disponível em:
<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/PTD-00.007%20Estruturas%20para%20redes%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20a%C3%A9rea%20urbanas%20e%20rurais%20com%20cabos%20cobertos%20fixados%20em%20espa%C3%A7adores_19641.pdf>, Acessado em 12/04/2016, às 23:28h.
- [45] Proteção contra Sobretensões, Disponível em:
<<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/1476-protecao-contrasobretensao-de-origem-atmosferica.html>>, Acessado em 12/04/2016, às 23:49h.
- [47] NBR 14039/2005: Instalações Elétricas de Média Tensão. Rio de Janeiro, ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [48] NR-10/2004: Norma Regulamentadora 10. Segurança em Instalações e Serviços em eletricidade. Ministro de Estado do Trabalho e Emprego.

[49] NR-6/2001: Norma Regulamentadora 6. Equipamento de Proteção Individual - EPI
Ministro de Estado do trabalho e Emprego.

[50] MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. Proteção de Sistemas elétricos de
Potência. 1^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I, 2014.

[51] Captor de Descarga Atmosférica, Disponível em:

<<http://dimensional19.com.br/website/produto/sistema-de-protecao-contradescargas-atmosfericas-para-raios/>>, Acessado em 13/04/2016, às 18:33h.