



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Proteção de Pessoas Contra Choque Elétrico

Aluna: Érica de Franca Pereira
Matrícula: 29911253

Campina Grande, PB.
Dezembro de 2007.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Proteção de Pessoas Contra Choque Elétrico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às vigências para obtenção do Grau de Engenheira Eletricista.

Érica de França Pereira

Aluna

Érica de França Pereira

Orientador

Prof. Benedito Antonio Luciano

Campina Grande, PB.
Dezembro de 2007.



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

1.0	Introdução	
2.0	Fundamentação Teórica	2
2.1.	Origem Histórica	2
2.2.	Estudo do Choque Elétrico	2
2.2.1.	Natureza do Choque Elétrico	4
2.2.1.1.	Choque Produzido por Contato com um Circuito Energizado	4
2.2.1.2.	Choque Produzido pelo Contato com um Corpo Elettrizado	4
2.2.1.3.	Choque Produzido por Descarga Atmosférica	4
2.2.2.	Macro Choque	4
2.2.3.	Micro Choque	5
2.3.	Efeitos da Corrente Elétrica no Corpo Humano	5
2.3.1.	Tetanização	8
2.3.2.	Parada Respiratória	9
2.3.3.	Queimadura	9
2.3.4.	Fibrilação Ventricular	10
2.4.	Influência da Frequência no Choque Elétrico	11
2.5.	Impedância do Corpo Humano	13
2.5.1.	Modelos Humanos para Impedâncias e Choque	14
2.5.1.1.	Resistência Elétrica do Corpo Humano	14
2.5.1.2.	Pele Humana	15
2.5.1.3.	Classificação da Pele Humana	16
2.5.1.4.	Resistência do Corpo Humano de Acordo com a Classificação da Pele	17
2.6.	Tensões	18
2.6.1.	Tensão de Falta	18
2.6.2.	Tensão de Contato	18
2.6.3.	Tensão de Passo	20
3.0	Proteção para Garantir a Segurança Contra Choque Elétrico	21
3.1.	Proteção Contra Contatos Diretos	21
3.1.1.	Proteção Passiva	21
3.1.1.1.	Proteção por Isolação das Partes Vivas	22
3.1.1.2.	Proteção por Meio de Barreiras ou Invólucros	22
3.1.1.3.	Proteção Parcial por Meio de Obstáculos	22
3.1.1.4.	Proteção Parcial por Colocação fora do Alcance	22
3.1.2.	Proteção Ativa	22
3.1.2.1.	Proteção Complementar por Dispositivo “DR” de alta Sensibilidade	22
3.2.	Proteção Contra Contatos Indiretos	23
3.2.1.	Proteção Passiva	23
3.2.1.1.	Proteção pelo Emprego de Equipamentos de classe II	23
3.2.1.2.	Proteção em Locais não Condutores	24

3.2.1.3. Proteção por Ligações Equipotenciais Locais não Aterrados	24
3.2.1.4. Proteção por Separação Elétrica	24
3.2.2. Proteção Ativa	25
3.2.2.1. Proteção por Seccionamento Automático da Alimentação	25
3.3. Proteção Contra Contatos Diretos e Indiretos	25
3.4. Aterramento	30
3.4.1. Fundamentos	30
3.4.1.1. Tipos de Aterramento	31
3.4.1.1.1. Aterramento Funcional	31
3.4.1.1.2. Aterramento de Proteção	31
3.4.1.1.3. Aterramento de Trabalho	32
3.4.1.2. Eletrodo de Aterramento	32
3.4.1.3. Condutor de Proteção	34
3.4.2. Esquemas de Aterramento do Neutro	35
3.4.2.1. Esquema TN	35
3.4.2.2. Esquema TT	38
3.4.2.3. Esquema IT	40
4.0 Primeiros Socorros	41
4.1. Método de Respiração Artificial para Reanimação de Vitimas de Choque Elétrico	41
4.1.1. Procedimentos Gerais	41
4.1.2. Método de Respiração Artificial Boca-a-Boca	43
4.2. Parada Cardíaca	44
5.0 Conclusão	46
6.0 Referências Bibliográficas	47

1.0 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), sob a orientação do professor Benedito Antonio Luciano, no curso de graduação de Engenharia Elétrica, no Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande.

Atualmente, a busca de novas tecnologias tem trazido preocupações quanto ao uso da energia elétrica. A energia elétrica está presente em qualquer lugar onde um membro da sociedade desenvolvida exerça suas atividades: no lar, na rua, nos escritórios, nas lojas, nos bancos, nas fábricas e nas fazendas; enfim, em todo o lugar onde é necessária energia para iluminar, refrigerar, bombear, comprimir e para um número infindável de outros serviços vitais. Se por um lado, essa sua ubiqüidade traz bem estar e gera progresso para o homem civilizado, por outro, ela lhe ameaça a vida e a dos animais que com ela convivem. É espantoso saber que a maioria das mortes humanas, devidas à eletrocussão, ocorre por ignorância, por descuido ou por falta de informação.

Em troca de conforto e bem estar, a sociedade tem sido exposta a situações de grande risco, que vão desde a degradação do meio ambiente até aquelas que não podem ser percebidas diretamente, como os efeitos da corrente elétrica.

Um dos mais graves efeitos da corrente elétrica sobre o corpo humano é o choque elétrico. A gravidade do choque elétrico envolve o estudo de três grandezas elétricas: tensão, corrente e impedância.

Uma das formas de evitar ou mitigar o perigo do choque elétrico é a adoção de um rigoroso sistema de aterramento. O aterramento tem função de assegurar, de maneira eficaz, a fuga de corrente para a terra, propiciando segurança, proteção e funcionabilidade de uma instalação elétrica. Dependendo do porte do sistema elétrico, o aterramento, ou sistema de aterramento, pode ser de maior ou menor complexidade.

Neste contexto está inserido este Trabalho de Conclusão de Curso. Este, tem por objetivo apresentar um estudo sobre o choque elétrico, seus efeitos sobre o corpo humano, recomendações de segurança para quem trabalha e faz uso da eletricidade, apresentando, também, soluções práticas para corrigir falhas com o intuito de proteger as pessoas contra o choque elétrico.

2.0 Fundamentação Teórica

2.1. Origem Histórica

O aumento substancial das aplicações e da utilização da energia elétrica nas últimas décadas levou pesquisadores de diversos países a realizarem um minucioso estudo sobre os perigos que a corrente elétrica pode causar ao passar pelo corpo humano.

Os primeiros estudos sobre a ação fisiológica da corrente elétrica foram feitos na França pelos cirurgiões imperiais Larvey, Bichat e seus colaboradores enquanto que o Dr. Uré realizou as primeiras experiências de reanimação de pessoas eletrizadas. Isso foi possível por ter sido construído por ordem de Napoleão I, na Escola Politécnica, um gerador de pilhas capaz de fornecer 7 a 8 A sob 500V.

Na Áustria o prof. Zelinek da Universidade de Viena no fim do século XIX, retoma os estudos sobre os efeitos das correntes elétricas sobre os corpos humanos; seus seguidores fundaram posteriormente o Instituto de Eletropatologia de Viena (fundada no centenário do nascimento dele, em 1971).

Reportando-se ao século XVIII, na França, as pesquisas iniciais, onde foi montado o primeiro laboratório de ensaios sobre os choques elétricos e culminaram na Universidade de Berkley na Califórnia com os ensaios do Prof. Dalziel. Com o objetivo de avaliar o grau de periculosidade da corrente elétrica, a partir de modelos em animais com as reações mais próximas dos seres humanos (bezerros, porcos, carneiros, cães e gatos), foram realizadas experiências e foram obtidos os valores limites suportáveis usados até hoje. Os resultados obtidos pelo professor Dalziel são basicamente os adotados pelas normas atuais. Em 1930 iniciaram-se as pesquisas sobre o assunto, com os estudos pioneiros de H. Freiburger e L.P. Ferris, aos quais se seguiram os de C. E Dalziel, W.B. Kouwenhoven, W.R. Lee, P. Osypka, H. Antoni entre outros.

O documento internacional, considerado orientação básica no que diz respeito à proteção contra choques elétricos em instalações elétricas, é a publicação nº 479 da IEC (*Effects of current passing through the human body*), a que consolida os estudos realizados sobre o assunto. Esse trabalho foi publicado pela primeira vez em 1974, preparado por um grupo selecionado de estudiosos com base em uma longa pesquisa na literatura e na avaliação das respostas a um questionário preparado. A norma brasileira NBR 6533, de 1981 (Estabelecimento de segurança aos efeitos da corrente elétrica percorrendo o corpo humano) se baseou integralmente naquela publicação.

2.2. Estudo do Choque Elétrico

Qualquer atividade biológica seja ela glandular, nervosa ou muscular, é orientada de impulsos de corrente elétrica. Se a essa corrente fisiológica interna somar-se uma corrente de origem externa, devido a um contato elétrico, ocorrerá no organismo humano uma alteração das funções vitais normais.

O choque elétrico é o conjunto de perturbações de natureza e de efeitos diversos, que se manifestam no organismo humano ou animal, quando este é percorrido por corrente elétrica. A passagem da corrente elétrica ocorre quando o corpo é submetido a uma tensão elétrica suficiente para vencer a sua impedância. As manifestações relativas ao choque elétrico, dependendo das condições e intensidade da corrente, podem ser desde uma ligeira sensação de formigamento até uma violenta contração muscular que pode provocar a morte. A gravidade do choque elétrico é determinada pela intensidade de corrente que o provocou e que depende basicamente das seguintes variantes:

Quadro 1 - Variantes do choque	
Intensidade da corrente	Quanto maior a intensidade da corrente, pior o efeito no corpo. As de baixa intensidade provocam contração muscular – é quando a pessoa não consegue soltar o objeto energizado.
Frequência	As correntes elétricas de alta frequência são menos perigosas ao organismo do que as de baixa frequência.
Tempo de duração	Quanto maior o tempo de exposição à corrente, maior será seu efeito no organismo.
Natureza da corrente	O corpo humano é mais sensível à corrente alternada de frequência industrial (50/60 Hz) do que à corrente contínua.
Condições orgânicas	Pessoas com problemas cardíacos, respiratórios, mentais, deficiência alimentar, entre outros, estão mais propensas a sofrer com maior intensidade os efeitos do choque elétrico. Até intensidade de corrente relativamente fraca pode causar conseqüências graves em idosos.
Percurso da corrente	Dependendo do percurso que realizar no corpo humano, a corrente pode atingir centros e órgãos de importância vital, como o coração e os pulmões.
Resistência do corpo	A pele molhada permite maior intensidade de corrente elétrica do que a pele seca.

Essas variantes basicamente definem a intensidade de corrente, geralmente expressa em miliampéres, que irá circular pelo corpo. As correntes mais perigosas são as que atravessam o corpo de mão a mão, da mão esquerda para os pés ou da cabeça para os pés, pois afetam diretamente o coração. Se a superfície de contato do corpo estiver úmida ou suada e os pés molhados, a intensidade de corrente pode assumir valores muito elevados, produzindo efeitos gravíssimos.

2.2.1. Natureza do Choque

O contato com um circuito energizado, por meio de um corpo carregado eletricamente ou por uma descarga atmosférica, pode caracterizar o choque com relação a sua natureza.

2.2.1.1. Choque Produzido por Contato com um Circuito Energizado

Quando existe uma fonte de energia alimentando um circuito, dizemos que o mesmo está energizado, pode-se citar como exemplo, o circuito de uma residência alimentada por geradores através da rede de distribuição das concessionárias. Aqui o choque surge pelo contato direto da pessoa com a parte energizada da instalação. O choque dura enquanto permanecer o contato e a fonte de energia estiver ligada. As consequências variam de pequenas contrações até lesões irreparáveis.

2.2.1.2. Choque Produzido pelo Contato com um Corpo Carregado Eletricamente

Neste caso, o choque elétrico poderá ser produzido por eletricidade estática, originada devido ao efeito capacitivo (atrito com o ar gera cargas elétricas), cuja duração é pequena o suficiente para descarregar a carga da eletricidade contida no elemento energizado, podendo não provocar efeitos danosos ao corpo, porque a duração depende da descarga do capacitor que normalmente ocorre em pequenos espaços de tempo.

2.2.1.3. Choque Produzido por Descarga Atmosférica

O choque é produzido por descargas atmosféricas quando há o contato direto ou indireto com uma pessoa. Os choques dessa natureza geralmente são instantâneos e fatais por causa das altas tensões e correntes (de 60kA a 100kA). Os efeitos desse tipo de choque são terríveis, ocorrem casos de queimaduras graves e até a morte imediata.

2.2.2. Macro Choque

Macro choque é definido quando a corrente resultante do choque entra no corpo humano pelo lado externo. A corrente entra pela pele, invade o corpo e sai novamente pela pele. Ou seja, o corpo humano está com toda a sua resistência no trajeto da corrente. Macro choque é o choque a que está sujeito um indivíduo comum.

2.2.3. Micro choque

É o choque que ocorre no interior do corpo humano tipicamente provocado por defeito em equipamento médico-hospitalar. Qualquer equipamento invasivo, usado para analisar, diagnosticar ou monitorar qualquer órgão humano, poderá produzir micro choque.

2.3. Efeitos da Corrente no Corpo Humano

Ao passar pelo corpo humano a corrente elétrica danifica e lesa os tecidos nervosos e cerebrais, provoca coágulos nos vasos sanguíneos e pode paralisar a respiração e os músculos cardíacos. A corrente elétrica pode matar imediatamente ou pode colocar a pessoa inconsciente. A corrente faz os músculos se contraírem a 60 ciclos por segundo, que é a frequência da corrente alternada. A sensibilidade do organismo à passagem de corrente elétrica inicia em um ponto conhecido como Limiar de Sensação e que ocorre com uma intensidade de corrente de 1mA para corrente alternada e 5mA para corrente contínua.

Os efeitos da corrente elétrica dependem:

- Da intensidade;
- Do tempo de contato;
- Do percurso;
- E da impedância do corpo humano.

É importante salientar que desde 1974, através da publicação nº 479 da IEC, eram definidas cinco zonas de efeitos para correntes alternadas de 50 ou 60 Hz e leva em consideração pessoas que pesam 50 kg e um trajeto de corrente entre as extremidades do corpo (mão/mão ou mão/pé), mostradas no gráfico 1.

A *Zona 1* é aquela em que a corrente elétrica não produz reação alguma no corpo humano. Situa-se abaixo do chamado *limiar de percepção* (0,5 mA) e é representada pela reta a do Gráfico 1. É importante salientar que esse valor varia de acordo com a pessoa, sendo menor para mulheres e crianças.

A *Zona 2* é aquela em que a corrente não produz nenhum efeito patofisiológico perigoso. Está entre o limiar de percepção e a *curva limite de corrente patofisiologicamente perigoso* (curva b) e é dada pela expressão 2.1 a seguir.

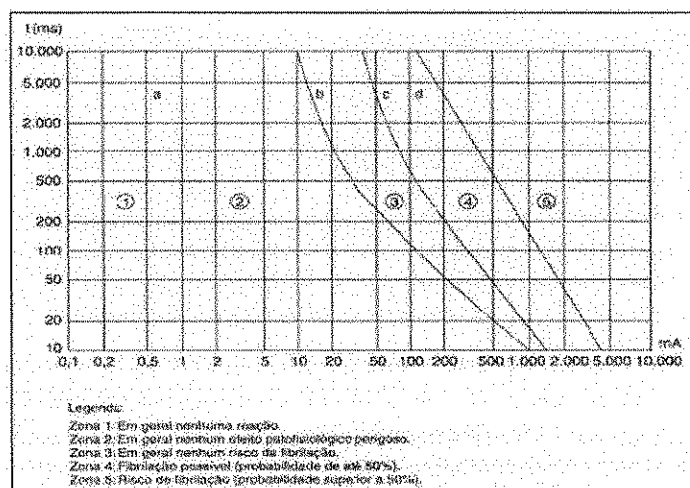
$$I = I_L + 10/t \quad (2.1)$$

Onde I é o valor eficaz da corrente (mA), I_L é o limite de largar (valor eficaz) igual a 10 mA (em mulheres) e t é o tempo de duração do choque.

Na *Zona 3*, compreendida entre a curva b e a curva c , não há risco de fibrilação ventricular, mas a corrente pode provocar outros inconvenientes, tais como: parada cardíaca, parada respiratória e contrações musculares, geralmente reversíveis.

Na *Zona 4*, a corrente do choque elétrico pode provocar fibrilação ventricular, com uma probabilidade que vai de 0,5% (curva c) a 50% (curva d).

Na *Zona 5*, situada após a curva d , há o perigo efetivo da ocorrência de fibrilação ventricular.



Fonte: IEC479/1974

Gráfico 1—Zonas de efeito de corrente alternada (de 50 e 60 Hz) sobre adultos.

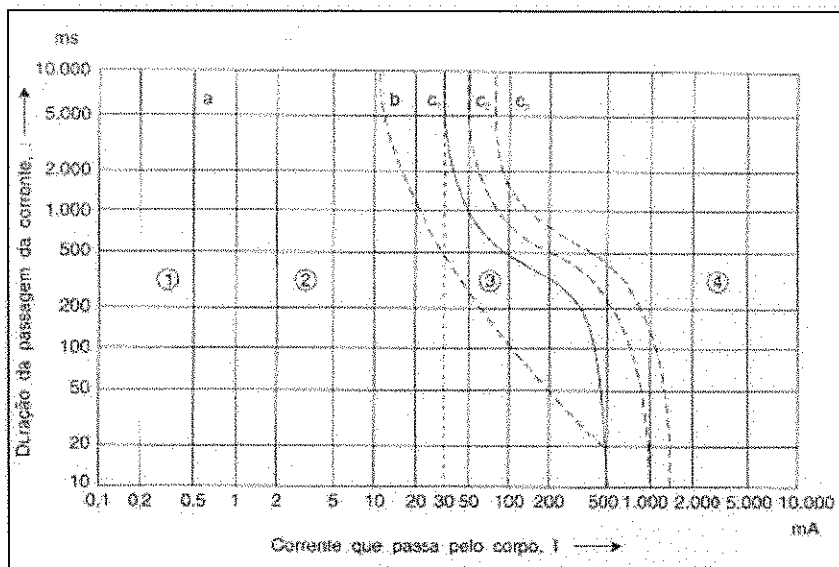
No caso de corrente alternada, com frequência de 15 a 100 Hz, são caracterizadas quatro zonas, como mostra o gráfico 2, para correntes de choque entre mão e pé.

Na *Zona 1* não ocorre nenhuma reação.

Na *Zona 2*, não ocorre nenhum efeito fisiológico perigoso.

Na *Zona 3*, não acontece, em geral, nenhum dano orgânico. Para tempos longos ocorrem contrações musculares, dificuldade de respiração e perturbações reversíveis no coração. A *Zona 3* é limitada pelas curvas b e c_1 .

Na *Zona 4*, além dos efeitos da *Zona 3*, a probabilidade de fibrilação ventricular aumenta cerca de 5% (curva c_2) a 50% (curva c_3) e acima de 50% além da curva c_3 .



Fonte: IEC 479/1974

Gráfico 2 – Zonas de efeito de corrente alternada (de 15 a 100 Hz) entre mão e pé sobre as pessoas.

A publicação nº 479-1 da IEC define o *fator de corrente do coração* (F) como o fator que relaciona a equivalência da corrente elétrica no coração para um dado percurso com uma corrente que passa entre a mão esquerda e o pé. O fator de corrente do coração permite calcular as correntes I_H para percursos diferentes desse, que representam o mesmo perigo de fibrilação ventricular que o correspondente à corrente de referência I_{REF} , entre a mão esquerda e o pé. Ou seja,

$$I_H = I_{REF} / F \quad (2.2)$$

Uma vez que os valores de F estão no quadro 2, para trajetos diferentes da corrente elétrica que passa pelo corpo humano.

Quadro 2 - Trajeto da corrente que passa pelo corpo humano	F
Da mão esquerda ao pé esquerdo, ao pé direito ou aos dois pés.	1,0
Das duas mãos aos dois pés.	1,0
Da mão esquerda à direita.	0,4
Da direita ao pé esquerdo, ao pé direito ou aos dois pés.	0,8
Das costas à mão direita.	0,3
Das costas à mão esquerda.	0,7
Do peito à mão direita.	1,3
Do peito à mão esquerda.	1,5
Mão esquerda, mão direita ou mãos e nádegas.	0,7

Fonte: IEC 479 – 1

Quadro 2 – Valores do fator de corrente do coração (F) para diferentes trajetos da corrente.

Os efeitos principais que uma corrente (externa) pode produzir no corpo humano são fundamentalmente quatro:

- Tetanização;
- Parada respiratória;
- Queimadura;
- Fibrilação ventricular.

2.3.1. Tetanização

A tetanização é um fenômeno decorrente da contração muscular produzida por impulso elétrico. Verifica-se que, sob ação de um estímulo devido à aplicação de uma diferença de potencial elétrico a uma fibra nervosa, o músculo se contrai, para em seguida retomar ao estado de repouso. Se ao primeiro estímulo seguir-se um segundo, antes que o repouso seja atingido, os dois efeitos podem somar-se.

Caso sejam aplicados consecutivamente diversos estímulos, em contrações repetidas do músculo, antes do músculo voltar ao repouso, dá-se o nome de contração tetânica. Quando a frequência dos estímulos ultrapassar um certo limite o músculo é levado à contração completa, permanecendo nessa condição até que cessem os estímulos, após o que lentamente retorna ao estado de repouso.

O mesmo fenômeno descrito para uma fibra nervosa elementar ocorre, de forma muito mais complexa, no corpo humano atravessado por uma corrente elétrica. As

freqüências usuais de 50 e 60 Hz são mais que suficientes para produzir uma tetanização completa.

Para valores mais elevados de corrente elétrica não ocorre a tetanização. A excitação muscular pode ser suficientemente violenta de modo a provocar uma repulsão, podendo até o indivíduo ser lançado a uma certa distância. A corrente contínua, desde que de intensidade e duração suficientes, pode também produzir a tetanização; lembrando, também que mesmo para pequenos valores de corrente, há um grande risco, isto porque a impedância do corpo diminui com a duração do contato.

Uma pessoa em contato com uma massa sob tensão pode ficar presa a ela durante o tempo em que perdurar a diferença de potencial, o que, dependendo da duração, pode causar a inconsciência e até a morte.

2.3.2. Parada Respiratória

Correntes superiores ao limite de largar podem provocar parada respiratória, devido a tetanização do diafragma (músculo que divide o tórax do abdômen é responsável pelos movimentos de contração e relaxamento que promovem o enchimento de ar nos pulmões). Estas correntes produzem sinais de asfixia no indivíduo, causados pela contração dos músculos ligados à respiração. Se o indivíduo permanecer exposto a esta corrente perderá a consciência e poderá morrer sufocado. Neste caso pode-se verificar a grande importância da respiração artificial, da rapidez de sua aplicação e do tempo pelo qual ela é realizada.

Define-se o limite de largar como sendo a máxima corrente que uma pessoa pode tolerar ao segurar um eletrodo, podendo ainda largá-lo usando os músculos completamente estimulados pela corrente. Para corrente alternada de 50 a 60 Hz há uma diferença entre homens e mulheres, em média são 10 mA para as mulheres e 16 mA para os homens. Em corrente contínua, os valores médios são 51 mA para as mulheres e 76 mA para os homens.

2.3.3. Queimadura

A corrente elétrica ao atravessar o corpo elétrico pode produzir queimadura por efeito Joule. A situação torna-se mais crítica nos pontos de entrada e saída da corrente, isto porque a pele tem uma alta resistência elétrica enquanto os tecidos internos são bons condutores. Também, a resistência de contato entre a pele e a superfície sob tensão soma-se à resistência da pele, neste caso a densidade de corrente é maior nos pontos de entrada e de saída da corrente, tanto quanto for pequena a área de contato. As queimaduras agravam-se numa relação direta com a densidade de corrente. Em alta tensão, predominam-se os efeitos térmicos da corrente, isto é, o calor produz a destruição dos tecidos superficiais e profundos bem como o rompimento de artérias que desencadeiam hemorragias. As queimaduras provenientes de choques elétricos são mais profundas e de mais difícil cura, podendo levar a morte por insuficiência renal.

O indivíduo pode também entrar em contato com superfícies aquecidas por corrente elétrica, cuja temperatura indica um defeito de sobrecarga na instalação. Caso haja formação de arco elétrico a temperatura pode atingir valores bastante elevados que

certamente destruirá qualquer tecido humano atingido. Em alguns casos pode haver desprendimentos de partículas incandescentes que irão produzir o mesmo efeito.

2.3.4. Fibrilação Ventricular

O músculo cardíaco contrai-se ritmicamente de 60 a 90 vezes por minuto, e sustenta, como se fosse uma bomba, a circulação sanguínea nos vasos. A contração muscular é produzida por impulsos elétricos. Se a esta atividade elétrica normal sobrepuser uma corrente elétrica de ordem externa bem maior do que a corrente biológica as fibras do coração passarão a receber sinais elétricos excessivos e irregulares, as fibras ventriculares ficarão superestimuladas de maneira caótica e passarão a contrair-se de maneira desordenada, uma independente da outra, de modo que o coração não pode mais exercer sua função. Todo este processo é denominado fibrilação ventricular. No momento em que se inicia a fibrilação a pressão arterial cai a zero, nestas condições não haverá irrigação sanguínea pelo corpo, a pessoa desmaiará ficando assim em estado de morte aparente.

A fibrilação do coração pode ocorrer se houver passagem de corrente com intensidade da ordem de 30 a 500 mA, por período superior a um quarto de segundo. Durante a fibrilação ventricular a circulação do sangue fica comprometida, resultando na falta de oxigenação dos tecidos do corpo e do cérebro. O coração raramente se recupera por si só da fibrilação ventricular. No entanto, se aplicarmos uma corrente de curta duração e de intensidade elevada, a fibrilação pode ser interrompida e o ritmo normal do coração pode ser restabelecido. O aparelho empregado para esta finalidade é o desfibrilador elétrico. Não havendo disponibilidade imediata do desfibrilador a massagem cardíaca permitirá que o sangue circule pelo corpo, dando tempo para que se providencie o aparelho, pois só a massagem não permitirá que o coração se recupere da fibrilação ventricular.

Muitos pesquisadores têm procurado o valor mínimo de corrente capaz de dar início a fibrilação, em relação ao tempo pelo qual circula pelo corpo humano, porém as experiências não têm fornecido resultados concordantes, isto devido a alguns fatores tais como:

- Impossibilidade de realizar experiências diretamente em seres humanos e dificuldades de extrapolar ao corpo humano os resultados obtidos com animais;
- A corrente I_0 , que realmente é a causadora da fibrilação ventricular, é apenas uma fração da corrente I que circula pelo corpo humano. Como apenas I é mensurável ocorre que a relação I_0/I não é constante, podendo variar de pessoa para pessoa e, numa mesma pessoa, dependerá do trajeto da corrente;
- Há um curto espaço de tempo no ciclo cardíaco, período vulnerável, no qual o coração é eletricamente instável, é o instante em que, decrescendo o potencial de ação, a fibra tende a retornar ao estado de repouso, se a corrente atinge o coração nesse intervalo, a probabilidade de iniciar a fibrilação aumenta consideravelmente;
- Correntes elevadas nem sempre provocam fibrilação, elas podem determinar uma parada cardíaca, ou produzir alterações orgânicas permanentes no sistema cardíaco.

Quadro 3 – Efeitos do choque elétrico em pessoas adultas, jovens e sadias				
Intensidade (mA)	Perturbações prováveis	Estado após o choque	Salvamento	Resultado Final
1	Nenhuma	Normal	----	Normal
1 – 9	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contrações musculares.	Normal	Desnecessário	Normal
9 – 20	Sensação dolorosa, contrações violentas, perturbações circulatórias,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 – 100	Sensação insuportável, contrações violentas, asfixia, perturbações circulatórias graves inclusive fibrilação ventricular,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte
>100	Asfixia imediata, fibrilação ventricular.	Morte aparente	Muito difícil	Morte
Vários Ampères	Asfixia imediata, queimaduras graves,	Morte aparente ou imediata	Praticamente impossível	Morte

Fonte: NISKIER, 2000.P.142

De um modo geral, pode-se citar outros efeitos, tais como: eletrólise no sangue; problemas renais; prolapso em órgãos ou músculos; perda da coordenação motora; perda da sensibilidade; danos à visão e ao cérebro; e perturbação no sistema nervoso.

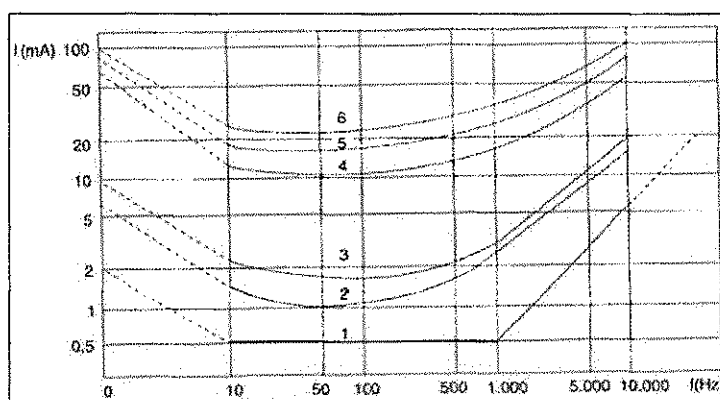
2.4. Influência da Frequência no Choque Elétrico

Os danos que uma corrente podem fazer ao atravessar o corpo humano diminuem com o aumento da frequência, isto porque as correntes de altas frequências tendem a passar pela parte externa do corpo humano, não afetando órgãos vitais e interessando apenas a

pele. Porém, há um outro problema que é o efeito térmico relacionado à distribuição não uniforme de corrente no eletrodo de contato e no próprio corpo.

O gráfico 3 indica o limiar de tetanização e de percepção em função da frequência, segundo probabilidade de produção do fenômeno variando de 0,5 a 99,5% (IEC-479/1974).

- Curva 1: mostra o limite convencional das intensidades de corrente elétrica do choque que não resulta em nenhuma percepção.
- Curva 2: é o início da percepção para 50% das pessoas.
- Curva 3: é o início da percepção para 99,5% das pessoas.
- Curva 4: é a corrente de largar para 99,5% das pessoas.
- Curva 5: é a corrente de largar para 50% das pessoas.
- Curva 6: é a corrente de não largar para 99,5% das pessoas.



Fonte: IEC 479/1974

Gráfico 3 – Corrente elétrica *versus* frequência

As curvas mostram que na frequência de 10 a 100 Hz temos os menores valores de corrente. Nessas condições, as frequências de 50 e 60 Hz, de uso comum, estão entre as mais perigosas. A vantagem das altas frequências em relação à segurança só ocorre em frequência da ordem dos MHz.

O limiar de sensação da corrente cresce com o aumento da frequência, ou seja, correntes com frequências maiores são menos sentidas pelo organismo, estas correntes de altas frequências acima de 100 kHz, cujos efeitos se limitam ao aquecimento são amplamente utilizadas na medicina como fonte de febre artificial. Nessas condições pode se fazer circular até 1A sobre o corpo humano sem causar perigo. O quadro 4 lista diversos valores de limiar de sensação em função do aumento da frequência da corrente elétrica.

Frequência (Hz)	50-60	500	1.000	5.000	10.000	100.000
Limiar de Sensação (mA)	1	1,5	2	7	14	150

Fonte: www.corpodebombeiro/primeirossocorros

2.5. Impedância do Corpo Humano

Do ponto de vista elétrico, podemos representar o corpo humano por um conjunto de resistores e capacitores. A impedância do corpo não é constante, varia de pessoa para pessoa, e em uma mesma pessoa esta variação depende das condições psicofisiológicas e ambientais.

Os principais fatores que contribuem para variação da impedância do corpo humano são:

- Estado da pele. A maior parte da resistência do corpo está localizada na pele nos pontos de entrada e saída da corrente. A umidade diminui a resistência da pele. Logo, o suor, piora ainda mais a situação. Se o contato com a parte sob tensão ocorrer num ponto onde a pele estiver cortada ou machucada, a resistência cai a valores muito baixos. No entanto, se o contato for num local em que a pele estiver caalejada haverá um aumento da resistência, favorecendo assim a segurança.
- Tipo de contato. A resistência do corpo humano depende do trajeto da corrente, ela é determinada pelas partes do corpo entre as quais é aplicada a tensão, mão-mão, mão direita - pé esquerdo etc.
- Superfície de contato. Quanto maior a área de contato com a parte sob tensão, menor será a resistência do corpo.
- Pressão de contato. Quanto maior a pressão de contato, menor a resistência.
- Duração de contato. Quanto mais prolongado for o tempo de contato, menor se tornará a resistência do corpo. Porém, se a quantidade de calor chegar a carbonizar a pele, a resistência poderá atingir valores elevados.
- Natureza da corrente. Para corrente contínua e corrente alternada, nas frequências de 50/60 Hz, os valores da resistência do corpo humano são praticamente os mesmos. Porém para frequências da ordem de MHz, como mencionado anteriormente, a resistência diminui sensivelmente.
- Taxa de álcool no sangue. Quanto maior a taxa de álcool no sangue, menor é a resistência elétrica do corpo humano.

- Tensão de contato. Quanto menor a tensão aplicada, menor a resistência elétrica do corpo humano, ocorrendo maiores variações nos níveis mais baixos de tensão.

Considerando todas estas variáveis, é de fundamental importância perceber que a impedância do corpo humano está intimamente ligada com todo o complexo da atividade biológica, variando com a excitação, com a concentração mental, com o cansaço físico etc.

2.5.1. Modelos Humanos para Impedâncias e Choque

2.5.1.1. Resistência elétrica do corpo humano

O corpo humano é uma massa eletrolítica, constituída de órgãos presos por músculos fixados na estrutura óssea, tudo envolto pela pele. Sendo o corpo humano um condutor, o mesmo estará sujeito à corrente elétrica, desde que acidentalmente participe do circuito energizado.

A resistência do corpo humano diminui com o aumento da tensão do choque elétrico, advindo daí, um perigo maior porque a corrente aumenta. Ou seja, a resposta do comportamento da resistência do corpo humano em relação ao nível da tensão elétrica do choque é contrária à segurança humana.

No macro-choque, a corrente elétrica passa por três barreiras que se opõem ao choque. As barreiras são constituídas por impedâncias formadas por: pele humana na entrada e saída da corrente; parte interna do corpo humano.

A impedância interna do corpo humano é levemente capacitiva. Geralmente o efeito capacitivo do corpo é desprezado e a impedância interna passa a ser resistiva. A proteção contra choque elétrico tem como critério o limite admissível da tensão de contato, ou seja, o produto da corrente que passa pelo corpo humano por sua impedância total, em função do tempo.

Atualmente, estes valores são aceitos para até 250 V. Isto porque a partir desta tensão a pele é danificada, mudando acentuadamente o perfil da impedância total do corpo humano. A partir de 700 V, o dano destrói completamente a pele.

A resistência do corpo humano varia acentuadamente com nível de umidade da pele.

Quadro 5 – Impedância total do corpo humano em função da tensão de contato			
5% população	50% população	95% população	Tensão de contato (V)
1.750	3.250	6.100	25
1.450	2.625	4.375	50
1.250	2.200	3.500	75
1.200	1.875	3.200	100
1.125	1.625	2.875	125
1.000	1.350	2.125	220
750	1.100	1.550	700
700	1.050	1.500	1.000

Fonte: IEC 479-1

2.5.1.2. Pele humana

A pele humana equivale a 14% do peso do corpo humano e, é composta basicamente de duas partes designadas de *epiderme* e *derme*.

A epiderme é a parte externa da pele composta por glândulas e pêlos, com constituição seca e escamosa. Deste modo, é mal condutora, sendo que sua resistência elétrica varia principalmente com o estado de umidade no local do contato com o circuito energizado.

A derme é constituída de vasos e nervos, por isso é úmida e boa condutora. É pela derme que as correntes de choque de altas frequências percorrem. Se o choque em alta frequência for elevado, toda a derme é queimada e dissolvida, tornando-se um pasta gelatinosa. A epiderme perde a aderência com o corpo, ficando flácida e caída.

Em termos de equivalente elétrico, a pele tem uma estrutura composta de camada semicondutora e pequenos elementos condutores (poros).

A impedância da pele depende de:

- tensão de contato;
- frequência elétrica;
- tempo de choque;
- área de contato;
- pressão de contato;
- temperatura da pele;
- tipo da pele.

A impedância da pele decai com o aumento da tensão de contato, isto é, o perigo aumenta.

Sabe-se que a corrente de choque aumenta com a tensão de contato, aumentando-se em consequência a densidade de corrente na região do toque. Quanto maior a densidade de corrente maiores são os danos na pele.

2.5.1.3. Classificação da pele humana

O macro choque é o choque elétrico de origem externa, a corrente penetra e atravessa a pele, invade o corpo humano, e sai pela pele em outro local. A pele humana praticamente limita a corrente e o choque. Portanto, faz-se mister analisar o choque elétrico sob determinadas condições do estado da pele humana. Em relação ao choque elétrico, a pele humana é classificada pelo seu estado, respectivamente, quanto ao seu grau de umidade, sendo enquadrada em 4 categorias de acordo com o quadro 6.

Quadro 6 – Classificação da pele humana			
Código da Pele	Classificação	Características da Pele	Aplicações e Exemplos
BB1	Elevada	Condições secas	Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, inclusive suor).
BB2	Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente elétrica de uma mão à outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida (suor) e a superfície de contato sendo significativa (por exemplo, um condutor está seguro dentro da mão).
BB3	Fraca	Condições molhadas	Passagem da corrente elétrica entre duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados a ponto de se poder desprezar a resistência da pele dos pés.
BB4	Muito fraca	Condições imersas	Pessoas imersas na água, por exemplo, em banheiras ou piscinas.

Fonte: NBR 5410:1997

Para efetuar um projeto seguro da instalação elétrica, consorciada com o seu aterramento elétrico, deve-se considerar o tipo de atividade sob as 4 classificações da pele, em termos do risco de fibrilação ventricular.

2.5.1.4. Resistência do Corpo Humano de Acordo com a Classificação da Pele

Sob as condições da pele humana do item anterior, medidas da resistência do corpo humano foram efetuadas, aplicando tensão elétrica alternada senoidal entre as duas mãos ou entre mão e pés. Os valores medidos estão apresentados no quadro 7.

Tensões de Choque [V]	BB1		BB2		BB3		BB4	
	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]	R [Ω]	I [mA]
10	6500	1,6	3200	3,0	1200	8,0	500	20,0
25	5000	5,0	2500	10,0	1000	25,0	400	50,0
50	4000	12,0	2000	25,0	875	57,0	300	165,0
100	2200	45,0	1500	70,0	730	140,0	260	3,070
250	1000	230,0	1000	230,0	650	500,0	200	1000,0

Fonte: IEC 479

Quadro 7 – Medidas de resistência do corpo humano sob condições BB's da pele

Analisando o quadro 7, observam-se várias características do comportamento do corpo humano.

Para a mesma tensão elétrica, a resistência diminui com o grau de umidade da pele, aumentando o risco do choque elétrico.

Para a mesma condição da pele humana, o aumento da tensão elétrica diminui a resistência elétrica do corpo humano, aumentando, também, o choque elétrico.

Esta tendência do corpo humano contraria a filosofia da segurança. Aqui, no caso, quanto maior o risco, maior é o perigo, porque a resistência do corpo humano diminui com a tensão.

Para os trabalhadores do setor elétrico em geral, considera-se a situação BB2 da pele humana. Neste caso, a resistência do corpo tende a saturar no valor de 10000 quando a tensão do choque chega até o valor de 250 Volts, sob o ponto de vista do risco da fibrilação ventricular do coração. Por este motivo, a resistência do corpo humano recomendada pela IEEE-80, é de 10000. Valor este usado nos projetos de dimensionamento dos sistemas de aterramento, relativos à segurança humana, porque o choque nestas condições não danifica a pele.

Não tem sentido estimar a resistência do corpo humano para choque elétrico em alta tensão. Isto porque a corrente do choque em alta tensão é grande, queima, danifica e derrete a pele, e causa a morte por queimaduras anterior a morte por fibrilação ventricular.

2.6. Tensões

A intensidade de corrente elétrica que atravessa uma impedância depende diretamente, da tensão aplicada. Essas tensões se aplicadas ao ser humano provocam choques elétricos, podendo causar fibrilação ventricular. Daí a necessidade de classificar todas as diversas situações de perigo em função do valor da tensão que possa ser aplicada ao corpo humano, considerado, do ponto de vista elétrico como uma impedância (resistência).

2.6.1. Tensão de Falta

A tensão de falta (*fault voltage*), termo 826-04-01 do VEI, é a “tensão que aparece quando de uma falha de isolamento, entre massas ou elementos condutores estranhos e a terra”. A NBR 5473 não define essa grandeza, porém a NBR 5460 define tensão para terra como “tensão entre uma parte energizada de um sistema ou equipamento elétrico e a terra”. Pode-se concluir, dessas duas definições, que a tensão de falta pode ser entendida como uma tensão que aparece, quando de uma falha de isolamento, entre uma massa e um eletrodo de aterramento de referência, isto é, um ponto cujo potencial não seja modificado pela energização da massa. Só é definida se o sistema possuir um ponto aterrado.

2.6.2. Tensão de Contato

A tensão de contato é definida na NBR 5473 como a “tensão que pode aparecer acidentalmente, quando de uma falha de isolamento, entre duas partes simultaneamente acessíveis”, o que corresponde exatamente à definição 826-02-02 do Vocabulário Eletrotécnico Internacional (VEI) da IEC (*touch voltage*, em inglês). Por sua vez, a NBR 5460 define tensão de toque como a “tensão causada por uma corrente de falta entre partes condutoras simultaneamente acessíveis, uma das quais pode ser a terra”. É evidente a analogia entre as duas definições, que traduzem o mesmo conceito, mas a expressão consagrada pela terminologia de instalações é, efetivamente, “tensão de contato”.

Ou seja, a tensão de contato é a tensão elétrica existente entre os membros superiores e inferiores de um indivíduo, devido a uma falha no equipamento.

No momento do curto-circuito, se uma pessoa tocar o equipamento, ficará submetida a um choque proveniente da tensão de contato. Entre a palma da mão e o pé haverá uma diferença de potencial chamada de tensão de contato. Segundo norma, e nos projetos de sistema de aterramento, considera-se que a pessoa está afastada de 1m do equipamento em que está tocando com a mão. Neste caso, a resistência R_1 representa a resistência da terra do “pé” da torre até a distância de 1m. O restante do trecho da terra é representado pela resistência R_2 .

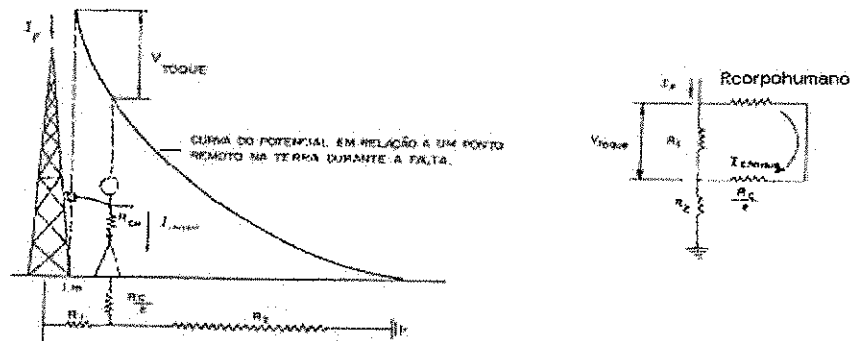


Figura 1 – Tensão de Contato

Cada pé em contato com o solo terá uma resistência de contato representado por R contato.

Assim, define-se tensão de contato conforme expressão (2.3),

$$V_{toque} = (R_{corpo\ humano} + R_{contato}/2) * I_{toque} \quad (2.3)$$

Segundo recomendação da IEEE-80, pode-se considerar que:

$$R_{contato} = 3\rho_s \quad (2.4)$$

Onde:

$\rho_s \Rightarrow$ resistividade superficial do solo, isto é, a resistividade da primeira camada da estratificação do solo.

Substituindo a expressão (2.4) na (2.3) obtêm-se a expressão (2.5),

$$V_{toque} = (1000 + 3\rho_s/2) * I_{toque}$$

$$V_{toque} = (1000 + 1,5\rho_s) * I_{toque} \quad (2.5)$$

O aterramento na base do equipamento só estará adequado se, no instante do curto-circuito monofásico a terra, a tensão de contato ficar abaixo do limite de tensão para não causar fibrilação ventricular. A tensão de contato é perigosa porque o coração está no trajeto da corrente de choque, aumentando o risco da fibrilação ventricular.

2.6.3. Tensão de passo

A NBR 5460 define tensão de passo (U_p) como a “tensão causada por uma corrente de terra, entre dois pontos da superfície do solo separados por uma distância equivalente ao passo convencional de uma pessoa” – considerada, para fins de cálculo e medição, igual a 1 m. Quando uma pessoa situa-se efetivamente no solo considerado, por ela circulará uma corrente (de pequena intensidade) que alterará ligeiramente a distribuição de potencial, fazendo com que a tensão de passo realmente aplicada seja sempre inferior a U_p . Ou seja, a tensão de passo é definida como parte da tensão de um sistema de aterramento à qual pode ser submetida uma pessoa, cujos pés estão separados pela distância equivalente a um passo.

Observe que a tensão de passo diminui à medida que a pessoa se afasta do aterramento. A tensão de passo será máxima quando um pé estiver junto à haste de terra e o outro, afastado um metro.

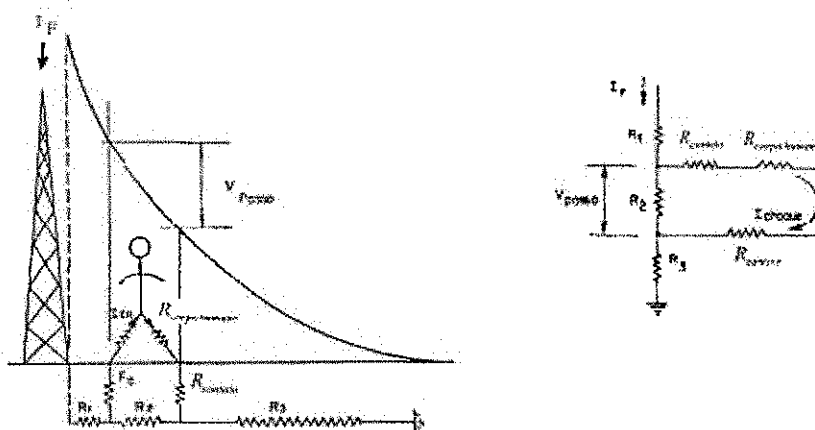


Figura 2 – Tensão de Passo

Sendo assim, deduz-se a expressão (2.6),

$$V_{\text{passo}} = (R_{\text{corpo humano}} + 2R_{\text{contato}}) * I_{\text{toque}} \quad (2.6)$$

Substituindo a expressão (2.4) na (2.6) chega-se a expressão (2.7),

$$V_{\text{passo}} = (1000 + 2 * 3\rho_s) * I_{\text{toque}}$$

$$V_{\text{passo}} = (1000 + 6\rho_s) * I_{\text{toque}} \quad (2.7)$$

O aterramento só estará bom se a pior tensão de passo for menor do que o limite de tensão de passo para não causar fibrilação ventricular no ser humano.

A tensão de passo é menos perigosa do que a tensão de toque. Isto, se deve ao fato do coração não estar no percurso da corrente, no caso da tensão de passo. Esta corrente vai de pé a pé, mas mesmo assim ela também é perigosa. As veias e artérias vão da planta do pé até o coração. Sendo o sangue condutor da corrente de choque devido à tensão de passo

vai do pé até o coração e deste ao outro pé. Por este motivo, a tensão de passo é também perigosa e pode provocar a fibrilação ventricular.

Observe-se que as tensões geradas no solo pelo curto-circuito criam superfícies equipotenciais. Se a pessoa estiver com os dois pés na mesma superfície de potencial, a tensão de passo será nula, não havendo choque elétrico.

Um agravante é que a corrente de choque devido à tensão de passo contrai os músculos da perna e coxa, fazendo a pessoa cair, e, ao tocar no solo com as mãos, a tensão se transforma em tensão de toque no solo. Neste caso, o perigo é maior, porque o coração está contido no percurso da corrente de choque.

Geralmente em projetos de instalações elétricas as prescrições práticas de segurança são especificadas em termos de tensão. Daí, a importância de se definir a tensão de contato.

3.0 Proteção para Garantir a Segurança Contra Choque Elétrico

Se nas instalações elétricas de qualquer lugar não se adotar medidas de segurança e proteção adequada, serão grandes os riscos de eletropleção. O perigo pode existir tanto para o eletricitista que, acidentalmente, tocar numa barra energizada de uma subestação ou de um quadro de distribuição, como o operário pode apoiar-se, também acidentalmente, na carcaça energizada de um motor elétrico, posto sob tensão por uma falta elétrica.

A periculosidade não está em se tocar num elemento energizado, e sim, em se tocar simultaneamente dois elementos que estejam em potenciais diferentes. A diferença de potencial é que representa perigo.

A proteção contra choques elétricos depende de uma série de variáveis, entre as quais destacam-se os tipos de contatos. Os contatos diretos (quando se toca diretamente num condutor ativo de uma instalação), geralmente, são devidos a desconhecimento, negligência ou imprudência das pessoas, estes são mais raros. Os contatos indiretos (quando se toca numa parte da instalação que é condutora temporariamente, normalmente por uma falta elétrica, mas que está isolada das partes condutoras da instalação) são mais freqüentes e representam um perigo maior.

Para a proteção contra choques elétricos há três grupos de medidas, descritas a seguir:

- medidas de proteção contra contatos diretos e indiretos;
- medidas de proteção contra contatos diretos;
- medidas de proteção contra contatos indiretos.

3.1. Proteção contra contatos diretos

Os métodos para proteção contra choques elétricos podem ser divididos em dois grupos. São eles: proteção passiva e proteção ativa.

3.1.1. Proteção Passiva

A proteção passiva (sem o condutor PE) tem o objetivo de limitar a corrente elétrica que por uma falta atravessaria o corpo humano ou impedir o acesso de pessoa a partes vivas. Estas medidas não prevêm a interrupção de circuitos com falta. A proteção passiva pode ser:

3.1.1.1. Proteção por isolamento das partes vivas

A isolamento é destinada a impedir todo contato com as partes vivas da instalação elétrica. As partes vivas devem ser completamente recobertas por uma isolamento que só possa ser removida através de sua destruição.

3.1.1.2. Proteção por meio de barreiras ou invólucros

As barreiras ou invólucros são destinados a impedir todo contato com as partes vivas da instalação elétrica.

3.1.1.3. Proteção parcial por meio de obstáculos

Os obstáculos são destinados a impedir os contatos fortuitos com partes vivas, mas não os contatos voluntários por uma tentativa deliberada de contorno de obstáculo.

3.1.1.4. Proteção parcial por colocação fora de alcance

A colocação fora de alcance é somente destinada a impedir os contatos fortuitos com as partes vivas.

3.1.2. Proteção Ativa

Na categoria de proteção ativa estão os dispositivos e os métodos que realizam ou proporcionam uma atuação automática sobre o circuito sempre que ocorrerem condições de perigo para o operador ou usuários. Estas medidas prevêm a interrupção de circuitos com falta.

3.1.2.1. Proteção complementar por dispositivo “DR” de alta sensibilidade

Qualquer que seja o esquema de aterramento devem ser objeto de proteção complementar contra contatos diretos por dispositivos a corrente diferencial-residual

(dispositivo DR) de alta sensibilidade, isto é, com corrente diferencial-residual nominal igual ou menor a 30 mA. O dispositivo “DR” tem a função de detectar fuga de corrente em circuitos elétricos desligando imediatamente a alimentação de corrente elétrica. As fugas de corrente não são visíveis e normalmente ocorrem por deficiência da isolação dos fios ou por toques involuntários de pessoas em pontos eletrificados. Normalmente, a ocorrência é maior em tomadas e plugues.

A proteção diferencial, ao contrário das precedentes, não evita o contato acidental, mas quando de sua ocorrência intervém instantaneamente, limitando suas conseqüências (proteção repressiva ou ativa).

3.2. Proteção contra contatos indiretos

A proteção contra contatos indiretos deve assegurar que em qualquer massa ou elemento condutor que não faça parte da instalação não exista sobretensão. Também, se subdividem em passiva e ativa:

3.2.1. Proteção Passiva

A proteção passiva tem por objetivo impedir a passagem de corrente através do corpo humano de duas maneiras básicas: interpondo uma outra barreira isolante; anulando a tensão de contato perigosa.

3.2.1.1. Proteção pelo emprego de equipamentos da classe II ou por isolação equivalente

A proteção deve ser garantida pela utilização de qualquer uma das soluções expostas a seguir:

- equipamentos que tenham sido submetidos aos ensaios de tipo e marcados conforme as normas aplicáveis, a saber: se os equipamentos têm isolação dupla ou reforçada (classe II), ou conjuntos pré-fabricados de equipamentos com isolação total;
- uma isolação suplementar, aplicada (aos equipamentos elétricos que possuem apenas uma isolação básica) durante a execução da instalação elétrica;
- uma isolação reforçada, aplicada às partes vivas não isoladas e montada durante a execução da instalação.

3.2.1.2. Proteção em locais não condutores

São considerados locais não condutores aqueles cujas paredes e pisos apresentam resistência mínima, em qualquer ponto, de 50 k Ω , se a tensão nominal da instalação não for superior a 500 V, ou de 100 k Ω , se a tensão nominal da instalação for superior a 500 V. É o caso de locais de com piso de madeira ou com revestimento não removível de material isolante e paredes de alvenaria.

Nos locais não condutores, a proteção passiva contra contatos indiretos é garantida se as pessoas não puderem entrar em contato simultaneamente com duas massas ou com uma massa e um elemento condutor que não faça parte da instalação, caso tais elementos sejam suscetíveis de se encontrarem em potenciais diferentes no caso de falta elétrica das partes vivas.

3.2.1.3. Proteção por ligações equipotenciais locais não aterradas

Todas as massas e elementos condutores simultaneamente acessíveis devem ser interligados por condutores de equipotencialidade. A ligação equipotencial local não deve ter qualquer ligação com a terra, seja diretamente, seja por intermédio de massa ou de elementos condutores. Se o conjunto equipotencial estiver totalmente isolado da terra, não haverá perigo, pois uma pessoa não poderá tocar simultaneamente em um componente do conjunto e em outro elemento externo. Se essa condição não puder ser cumprida, deve ser aplicada a medida de proteção por seccionamento automático da alimentação.

3.2.1.4. Proteção por separação elétrica

A proteção por separação elétrica, prevista na NBR 5410, consiste na alimentação de um circuito através de uma fonte de separação, que pode ser um transformador de separação ou uma fonte de corrente que assegure um grau de segurança equivalente ao do transformador de separação, por exemplo, um grupo motor-gerador com enrolamentos que forneçam uma separação equivalente.

Esse sistema baseia-se na impossibilidade de fechamento da corrente pela terra no caso de contato de uma pessoa com uma parte energizada. Tal impossibilidade perdura enquanto estiver garantido o isolamento para a terra e cessa após a primeira falta para a terra, o que torna evidente a necessidade de controlar permanentemente o isolamento.

3.2.2. Proteção Ativa

Os sistemas de proteção contra contatos indiretos quando do tipo ativo, realizam interrupção automática da alimentação.

3.2.2.1. Proteção por seccionamento automático da alimentação

O seccionamento automático da alimentação destina-se a evitar que uma tensão de contato mantenha-se por um tempo que possa resultar em risco de efeito fisiológico perigoso para as pessoas. Esta medida de proteção requer a coordenação entre o esquema de aterramento adotado e as características dos condutores de proteção e dos dispositivos de proteção.

3.3. Proteção contra contatos diretos e indiretos

A extrabaixa tensão de segurança, denominada pela NBR 5410 de SELV (do inglês, *Safety Extra-Low Voltage*) é considerada pela norma como medida de proteção contra contatos diretos e contra contatos indiretos, envolvendo prescrições relativas à alimentação e a instalação dos circuitos.

A sigla PELV (do inglês, *Protective Extra-Low Voltage*), é adotada para variante aterrada do SELV.

A característica principal do PELV é limitar a tensão dos circuitos alimentados a valores que não possam, mesmo em caso de falha, ser superiores à tensão de contato limite, UL, evitando assim riscos para a vida humana no caso de contatos diretos ou indiretos.

Os circuitos SELV e PELV devem ser alimentados por fontes que proporcionem uma completa separação galvânica entre eles e os circuitos a tensão mais elevada ou por fontes autônomas.

Quando, por razões funcionais, for usada extrabaixa tensão, mas não for possível ou necessário respeitar quaisquer das condições impostas a SELV e a PELV, a extrabaixa tensão não pode ser considerada “de segurança”. A NBR 5410 utiliza o termo extrabaixa tensão funcional denominada de FELV (do inglês, *Functional Extra-Low Voltage*).

A FELV não se constitui por si só em uma medida de proteção, devendo ser complementada por outras medidas.

As medidas de proteção por seccionamento automático da alimentação independem da qualidade da instalação. De acordo com elas, um dispositivo de proteção deve promover o seccionamento de um circuito quando da ocorrência de uma falta para terra, impedindo a permanência da situação que possa resultar em perigo para as pessoas. Para aplicação destas medidas de proteção é necessária a coordenação entre o esquema de aterramento e as características dos dispositivos de proteção, sendo considerado os seguintes esquemas:

- esquema TN;
- esquema TT;
- esquema IT.

Quadro 8 – Classificação dos métodos de proteção contra choques elétricos			
Proteção contra	Tipo	Passiva	Ativa
Contatos diretos	Completa	Isolação das partes vivas, Barreiras ou invólucros	-
	Parcial	Obstáculos Colocação fora do alcance	-
	Complementar	-	Uso de dispositivos DR de alta sensibilidade
Contatos indiretos	Sem condutor de proteção	Equipamentos classe II ou isolamento equivalente/ Local não condutor/ Ligações equipotenciais locais não aterradas/ Separação elétrica.	-
	Com condutor de proteção		Seccionamento automático em: Esquema TT Esquema TN Esquema IT
Contatos diretos e indiretos	-	Extrabaixa tensão de segurança/ Extrabaixa tensão funcional	-

Fonte: NBR 5410:1997

O quadro 8 apresenta uma classificação dos métodos de proteção contra choques elétricos prescritos pela NBR 5410.

Para a seleção das medidas de proteção contra choques elétricos (por contato direto ou indireto), a NBR 5410 recomenda que sejam especialmente observadas as seguintes condições de influências externas:

1. BA - competência das pessoas

O quadro 9 resume a competência das pessoas, que leva em conta a capacidade física, conhecimento técnico e experiência com serviços elétricos.

Quadro 9 – Competência das pessoas			
Código	Classificação	Características	Aplicação e exemplos
BA1	Comuns	Pessoas inadvertidas	-
BA2	Crianças	Crianças que se encontram nos locais que lhes são destinados	Crianças de pouca idade em coletividade, por exemplo, em creche.
BA3	Incapacitados	Pessoas que não dispõem de completa capacidade física ou intelectual (velhos e doentes)	Asilos, hospícios, hospitais.
BA4	Advertidas	Pessoas suficientemente informadas ou supervisionadas por pessoas qualificadas de modo a lhes permitir evitar os perigos que a eletricidade pode apresentar	Locais de serviço elétrico
BA5	Qualificadas	Pessoas que têm conhecimento técnico ou experiência suficiente para lhes permitir evitar os perigos que a eletricidade pode apresentar (engenheiros e técnicos)	Locais de serviço elétrico fechados

Fonte: NBR 5410:1997

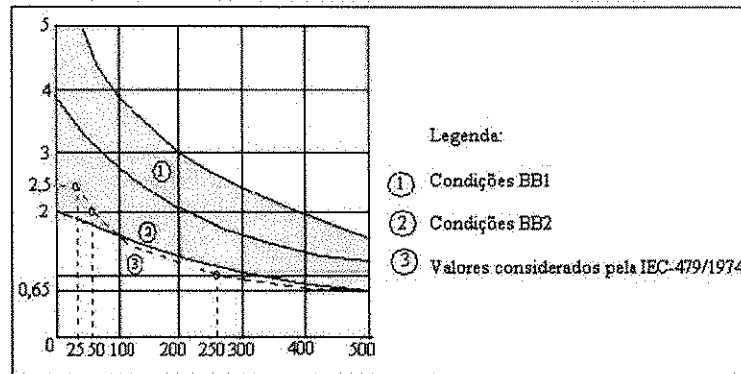
2. BB - resistência elétrica do corpo humano

O gráfico 4 indica os valores de impedância do corpo humano, em função da tensão de contato, para correntes alternadas de até 100 Hz, considerando pele seca (condição BB1) e pele úmida (condição BB2), respectivamente zonas (1) e (2).

Nas condições BBI e BB2, se considera o contato entre as duas mãos ou entre uma mão e os pés. É o caso, por exemplo, de uma pessoa com os pés no chão que toca com a mão um objeto sob tensão. Nas condições BB3 (pele molhada), e BB4 (pele imersa em água) admite-se o contato duplo entre as duas mãos e os dois pés; por exemplo, uma pessoa com os pés molhados que toca com as mãos, também molhadas, um objeto energizado (BB3) ou que toma um banho de imersão (BB4).

Nas condições de contato nulo com o potencial da terra (BCI), não existe qualquer elemento condutor no local considerado; em particular, o piso e as paredes são isolantes. Nessa situação podem, eventualmente, ser admitidos contatos diretos com um único condutor (parte viva). Na condição de contatos fracos (BC2), o piso e as paredes são isolantes. Mas, podem existir elementos condutores em pequena quantidade ou de pequenas dimensões que, geralmente, não são tocados por pessoas ou, então, as pessoas que os tocam não estão em contato simultâneo com massas de equipamentos elétricos. Os locais BCI e

BC2 são chamados de locais não condutores; São os casos de salas, quartos e escritórios, como por exemplo, pisos de madeira e paredes de alvenaria.



Fonte: IEC 479/1974

Gráfico 4 – Impedância do corpo humano em função da tensão de contato

3. BC - contato das pessoas com o potencial da terra

A condição de contatos freqüentes (BC3) corresponde ao caso em que o piso e as paredes são condutores e/ou onde o local possui elementos condutores que podem ser tocados simultaneamente com massas de equipamentos elétricos (cozinhas, banheiros, locais externos e indústrias em geral).

A condição de contatos contínuos (BC4) corresponde a locais estreitos e condutores em que a falta de liberdade de movimento impede que as pessoas escapem facilmente do perigo.

A NBR 5410 define três situações, descritas a seguir:

- Situação 1 (locais secos / úmidos): corresponde às condições (BB2 + BC1), (BB2 + BC2) e (BB2 + BC3); mais encontrada nos locais residenciais, comerciais e indústrias;
- Situação 2 (locais molhados, pele molhada, solo/piso com baixa resistência): corresponde às condições (BB2 + BC4) e BB3 com qualquer condição BC; é encontrado em áreas externas, canteiro de obra, campings;
- Situação 3 (banheiros e piscinas): corresponde à condição BB4 com qualquer condição BC.

O quadro 10 indica as situações 1, 2 e 3 descritas.

Quadro 10 – Situações 1, 2 e 3			
Condição de influência externa	BB2	BB3	BB4
BC1	Situação 1		
BC2	Situação 1		
BC3	Situação 1	Situação 2	Situação 3
BC4	Situação 2	Situação 2	Situação 3

Fonte: NBR 5410:1997

A NBR 5410 considera a proteção contra contatos indiretos a partir da relação entre tensão de contato e tempo máximo de duração respectivo. Assim, se houver uma falha na isolamento de um equipamento, a alimentação do circuito envolvido deve ser interrompida em um dado tempo máximo pelo seccionamento automático da alimentação. Esta relação é apresentada para as situações 1 e 2 no quadro 11 e no gráfico 5.

A tensão de contato limite pode ser definida como sendo o maior valor de tensão que se pode manifestar, no caso de ocorrer falta de impedância desprezível. Para as situações 1 e 2 será o valor assintótico da tensão, ou seja, 50 V na situação 1 e 25 V na situação 2, considerando tensões alternadas de 15 a 100 Hz e, respectivamente 120 e 60 V para as tensões contínuas sem ondulação. Uma tensão contínua sem ondulação é convencionalmente definida como apresentando uma faixa de ondulação não superior a 10% em valor eficaz. Para frequência de 100 a 1.000 Hz e para tensões contínuas retificadas, ainda não foram definidos os valores da tensão de contato limite.

Quadro 11 – Duração máxima da tensão de contato presumida (tensões alternadas de 15 a 100 Hz)		
Tensão de contato (V)	Duração máxima (s)	
	Situação 1	Situação 2
25	infinita	5,0
50	5	0,47
75	0,60	0,30
90	0,45	0,25
110	0,36	0,18
150	0,27	0,10
220	0,17	0,035
280	0,12	0,020
350	0,08	-
500	0,04	-

Fonte: COTRIN, 2003.P.110

Para a Situação 3, devem ser fixados valores ainda menores para a tensão de contato limite. Nesse caso, porém, a proteção por seccionamento automático da alimentação não é considerada adequada, sendo necessárias medidas adicionais.

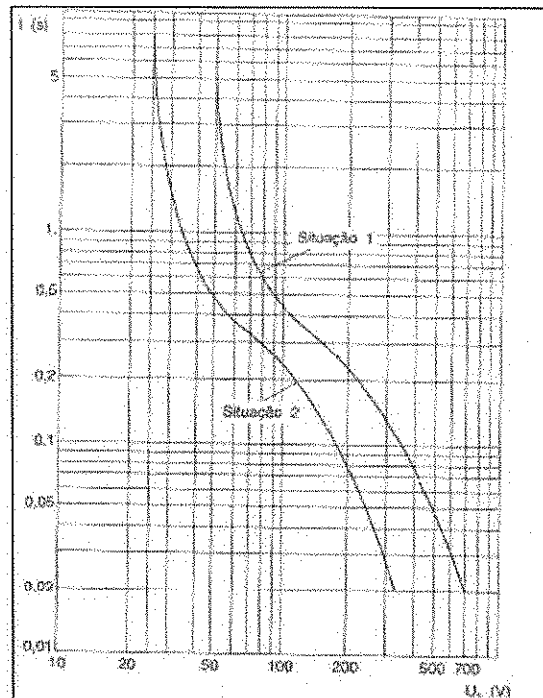


Gráfico 5 – Duração máxima da tensão de contato

3.4. Aterramento

3.4.1. Fundamentos

Aterramento é a ligação intencional com a terra, isto é, com o solo que pode ser considerado um condutor através do qual a corrente elétrica pode fluir, difundindo-se. Quando se diz que algum aparelho está aterrado (ou eletricamente aterrado) significa que um dos fios de seu cabo de ligação está propositalmente ligado a terra. Ao fio que faz essa ligação denominamos "fio terra".

Aterra-se os sistemas elétricos basicamente por três motivos.
São eles:

- controle de sobretensões;
- segurança pessoal;

- proteção contra descargas atmosféricas.

Essencialmente o objetivo do aterramento é interligar eletricamente objetos condutores ou carregados, de maneira a ter as menores diferenças de potencial possíveis. Funcionalmente, o aterramento proporciona:

- Ligação de baixa resistência com a terra, oferecendo um percurso de retorno entre o ponto de defeito e a fonte, reduzindo os potenciais até a atuação de dispositivos de proteção.
- Percurso de baixa resistência entre equipamento elétrico ou eletrônico e objetos metálicos próximos, para minimizar os riscos pessoais no caso de defeito interno no equipamento.
- Percurso preferencial entre o ponto de ocorrência de uma descarga atmosférica em objeto exposto e o solo.
- Percurso para sangria de descargas eletrostáticas, prevenindo a ocorrência de potenciais perigosos, que possam causar um arco ou centelha.
- Criação de um plano comum de baixa impedância relativa entre dispositivos eletrônicos, circuitos e sistemas.

3.4.1.1. Tipos de aterramento

Nas instalações elétricas considera-se três tipos de aterramento:

3.4.1.1.1. Aterramento funcional

O aterramento funcional consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema, em geral o neutro. Este aterramento está relacionado com o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação.

3.4.1.1.2. Aterramento de proteção

O aterramento de proteção consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos por contato indireto.

3.4.1.1.3. Aterramento de trabalho

Tem por objetivo tornar possível, sem perigo, ações de manutenção sobre partes da instalação normalmente sob tensão, posta fora de serviços para este fim. Trata-se de aterramento de caráter provisório, que é desfeito tão logo cessa o trabalho de manutenção.

Pode-se falar também do aterramento combinado (funcional e de proteção).

3.4.1.2. Eletrodo de aterramento

O eletrodo de aterramento é o condutor ou o conjunto de condutores enterrados no solo e eletricamente ligados(s) a terra para fazer o aterramento. O tipo e a profundidade de instalação dos eletrodos de aterramento devem ser de acordo com as condições do solo.

Analisando o eletrodo composto por apenas uma haste verifica-se por ele uma corrente, I , e um potencial, U_t , em relação a um ponto distante de potencial zero, ilustrado na figura 3. Desta forma define-se resistência de aterramento, R_T , do eletrodo como sendo a relação:

$$R_T = U_T / I$$

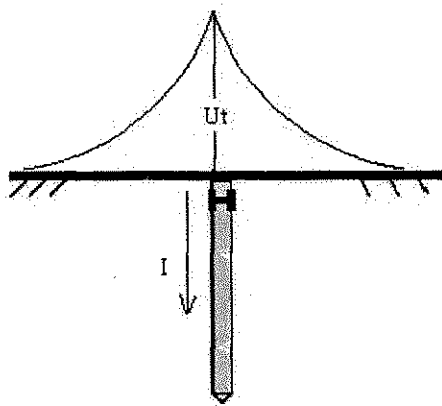


Figura 3 – Variação das tensões geradas no solo pela passagem da corrente em um eletrodo de aterramento.

A figura 3 mostra que o potencial próximo à haste varia de zero até U_t , ou seja, o potencial do solo diminui ao aumentar a distância à haste, quase se anula num ponto “suficientemente distante”.

Teoricamente a resistência de um condutor elétrico é dada por $R = \rho L/A$, onde ρ é resistividade, L , o comprimento percorrido pela corrente e A , a seção que a corrente atravessa. Aqui a resistência é definida admitindo algumas hipóteses, tal como que a corrente saia da haste perpendicularmente à sua superfície e que se difunda horizontalmente no terreno, assim a corrente atravessa superfícies equipotenciais cilíndricas cada vez maiores à medida que aumentar a distância à haste.

Admitindo ρ constante, ou seja, terreno homogêneo, obtém-se a resistência de aterramento dada a seguir:

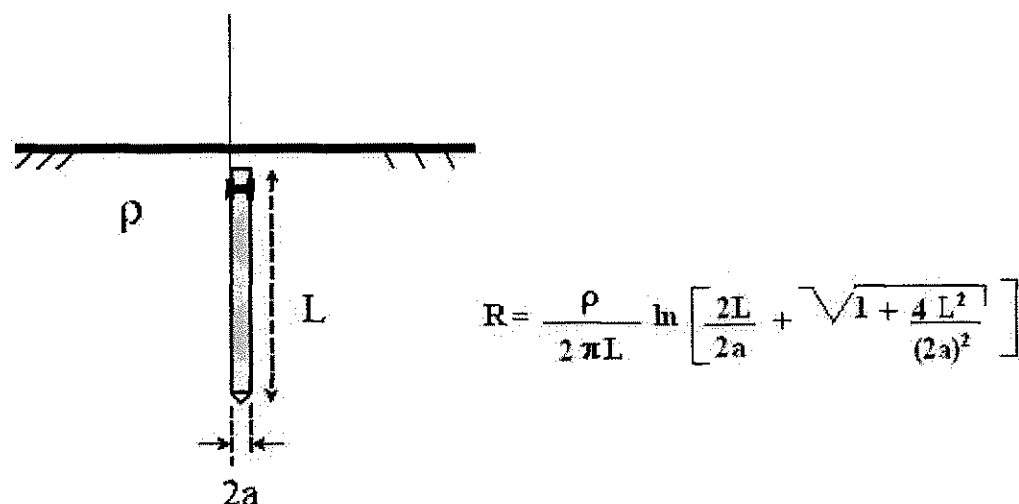


Figura 4 - Eletrodo constituído por apenas uma haste cravada no solo.

A expressão mostra que quanto maior o comprimento da haste menor a resistência de aterramento, isto porque quanto maior a haste maior a superfície de passagem da corrente, diminuindo assim a resistência.

A ligação de hastes em paralelo reduz a resistência de aterramento. Neste caso, para que seja utilizada plenamente a possibilidade de dispersão da haste é necessário crava-la fora da zona de dispersão da outra, ou seja, na região de potencial nulo. É comum utilizar o afastamento entre hastes igual ou superior ao comprimento da haste. Para distância menor, a eficiência das hastes é bastante reduzida.

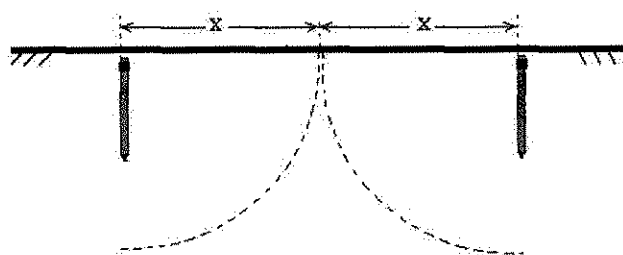


Figura 5 - Eficiência máxima

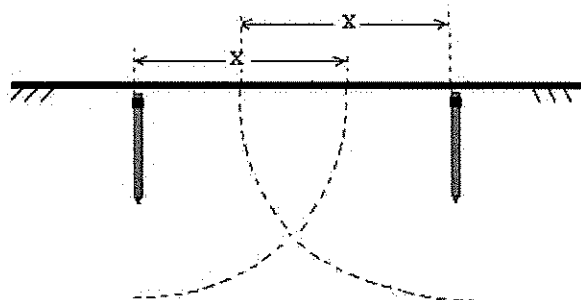


Figura 6 – Eficiência reduzida

3.4.1.3. Condutor de proteção

Condutor que liga as massas e os elementos estranhos à instalação entre si e/ou a um terminal de aterramento principal. Este condutor é designado PE (do inglês Protection Earth), e o neutro, pela letra N. Quando o condutor tem funções combinadas de condutor de proteção e de neutro, é designado por PEN. Os sistemas elétricos de baixa tensão, tendo em vista a alimentação e as massas dos equipamentos em relação a terra, são classificadas pela NBR 5410, de acordo com a seguinte simbologia literal:

- A primeira letra indica a situação da alimentação em relação a terra.

T – para um ponto diretamente aterrado;

I – isolamento de todas as partes vivas em relação a terra ou emprego de uma impedância de aterramento, a fim de limitar a corrente de curto-circuito para a terra.

- A segunda letra indica a situação das massas em relação a terra.

T – para massas diretamente aterradas, independentemente de aterramento eventual de um ponto de alimentação;

N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado (normalmente é o neutro).

- Outras letras, para indicar a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.

S – quando as funções de neutro e de condutor de proteção são realizadas por condutores distintos;

C – quando as funções de neutro e de condutor de proteção são combinadas num único condutor. Quando a alimentação se realizar em baixa tensão, o condutor neutro deve sempre ser aterrado na origem da instalação do consumidor.

3.4.2. Esquemas de aterramento do neutro

Inicialmente é importante diferenciar a tensão de passo da tensão de contato, já definido, a tensão de passo, U_P , é definida como parte da tensão de um eletrodo de aterramento à qual pode ser submetida uma pessoa nas proximidades do eletrodo, cujos pés estejam separados pela distância equivalente a um passo (aproximadamente 1m). A tensão de passo indicada na figura 5 depende da posição do passo no terreno em relação ao eletrodo de aterramento. Considerando por exemplo, um eletrodo constituído por uma haste vertical enterrada num terreno homogêneo, a tensão de passo máxima durante a dispersão será entre a haste e qualquer ponto de uma circunferência equipotencial de raio igual a 1 m.

Tensão de falta, U_F , é a tensão que aparece, quando de uma falha de isolamento, entre uma massa e um eletrodo de aterramento de referência, ou seja, um ponto cujo potencial não seja modificado pela energização da massa. Como visto anteriormente a tensão de contato, U_B , é a tensão que pode aparecer acidentalmente, quando de uma falha de isolamento, entre duas partes simultaneamente acessíveis. Diante destes conceitos pode-se escrever $U_F = U_B + U_R$, onde U_R é a tensão sobre a resistência entre o elemento condutor e a terra. Esta equação mostra que a tensão de contato é, em geral, inferior a tensão de falta. Se o elemento condutor estiver no potencial da terra, $R = 0$ e $U_R = 0$, resultará, portanto em $U_F = U_B$. Conseqüentemente em questões de segurança o que importa é a tensão de falta e não de contato.

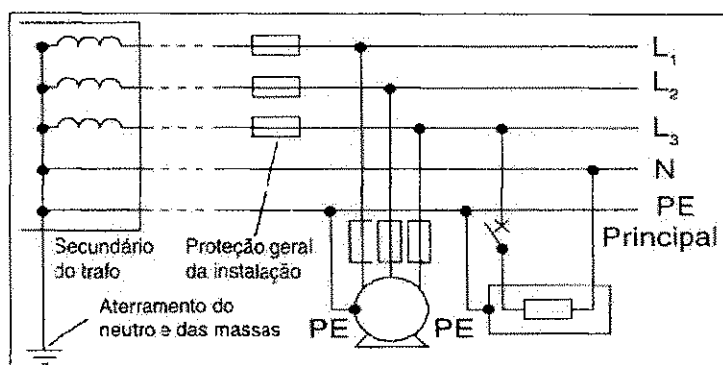
Os sistemas de distribuição de energia elétrica estão divididos em esquema de condutores vivos e esquema de aterramento. No esquema de aterramento são levados em consideração, principalmente, o modo de conexão do neutro da fonte de alimentação e as massas das cargas em relação à referência de terra. Dependendo da maneira que é executada essa conexão, podem ser obtidos os esquemas de aterramento convencionais, designados por TN, TT e IT.

Estatisticamente, a falta que mais acomete os sistemas elétricos, independentemente do esquema de aterramento adotado é a monofásica para a terra, desde a fonte de alimentação até os circuitos terminais.

3.4.2.1. Esquema TN

O esquema TN possui um ponto da sua fonte de alimentação diretamente aterrado, geralmente o ponto de neutro de um transformador trifásico, sendo as massas das cargas conectadas a esse mesmo ponto por meio de condutores de proteção.

O esquema TN será classificado como sendo do tipo TN-C quando as funções de neutro e de proteção forem asseguradas pelo mesmo condutor (PEN) e será do tipo TN-S quando as funções de neutro e proteção forem asseguradas por condutores distintos, nomeados por condutor N (neutro) e PE (proteção). A figura 7 apresenta o modelo elétrico do esquema de aterramento TN-S.

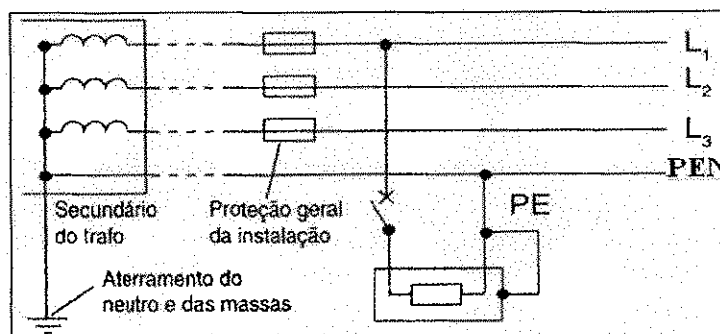


Fonte: COTRIN, 2003.P.339

Figura 7 - Modelo elétrico do esquema TN-S.

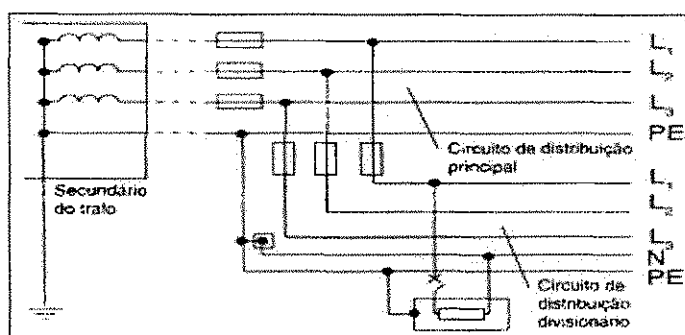
A nomenclatura contida nas figuras 7, 8 e 9 é a seguinte:

- fonte, transformador trifásico;
- R_f , resistência de aterramento do eletrodo da fonte;
- carga, elemento consumidor de energia elétrica;
- L_1 , L_2 e L_3 , fases do circuito de alimentação;
- PE, condutor de proteção;
- N, condutor neutro.



Fonte: COTRIN, 2003.P.339

Figura 8 – Modelo elétrico do esquema TN-C



Fonte: COTRIN, 2003.P.339

Figura 9 – Modelo elétrico do esquema TN-C-S

A eliminação das faltas monofásicas para a terra no esquema de aterramento TN é obtida por meio da atuação por sobrecorrente da proteção do circuito submetido a essa situação. A vantagem dessa atuação é a rápida identificação do circuito em falta que pode ser observada pela paralisação da carga sob sua alimentação, por corte no fornecimento de energia elétrica. A maior desvantagem está no desligamento de um circuito que pode comprometer a operação de equipamentos fundamentais ao andamento de um processo.

A impedância do caminho que a corrente de falta percorre no esquema TN-S é baixa, pois esse caminho é formado principalmente por condutores. A figura 9 mostra um exemplo do caminho percorrido pela corrente de falta que foi originada na carga suprida por esse esquema de aterramento.

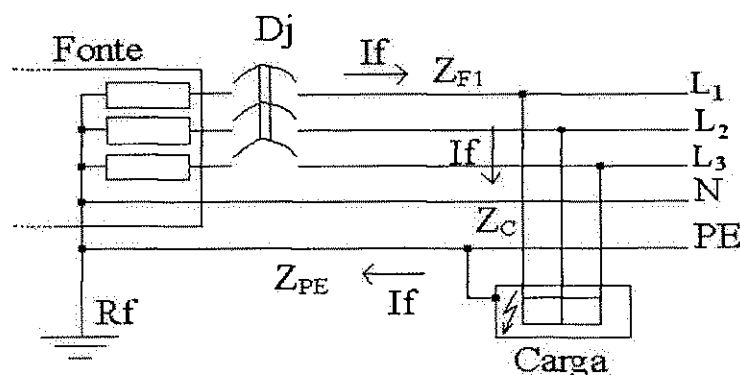


Figura 10 - Caminho da falta no esquema TN-S

A nomenclatura contida na figura 10 é a seguinte:

- fonte, transformador trifásico;
- R_f , resistência de aterramento do eletrodo da fonte;
- carga, elemento consumidor de energia elétrica;
- L_1 , L_2 e L_3 , fases do circuito de alimentação;
- PE, condutor de proteção;
- N, condutor neutro;
- Z_{F1} , impedância de uma fase do circuito de alimentação principal;

- Z_c , impedância de uma fase do circuito terminal;
- Z_{PE} , impedância do condutor de proteção;
- I_f , corrente de falta;
- D_j , dispositivo de proteção contra as sobrecorrente.

No Brasil, o esquema TN é o mais comum, quando se tratam de instalações alimentadas diretamente pela rede pública de baixa tensão da concessionária de energia elétrica.

Nesse caso, quase sempre a instalação é do tipo TN-C até a entrada, onde o neutro e aterrado por razões funcionais e segue instalação adentro separado do condutor de proteção (TN-S). É fácil verificar que, se houver a perda do neutro antes da entrada consumidora o sistema irá se transformar em TT.

Diante disto é razoável utilizar interruptores diferenciais residuais (DRs), mesmo em sistema TN-S, para garantir a proteção das pessoas contra choques elétricos.

No esquema TN-C o rompimento de um condutor PEN numa instalação traz problemas sérios para segurança, isto porque um equipamento alimentado com fase e neutro ficará devido ao rompimento do PEN, com a massa num potencial igual ao da fase em relação a terra; a corrente de falta da isolação é bem elevada, é da ordem de quiloampéres (kA), por isto este esquema é proibido em instalações móveis cujos condutores tenham seção inferior a 10mm^2 , em cobre, ou 16mm^2 , em alumínio, e condutores flexíveis. Este esquema é proibido também em instalações onde há alto risco de incêndio ou explosão, neste caso é porque a conexão da carga ao condutor PEN cria um fluxo de corrente na carga resultando em um alto risco de incêndio e perturbações eletromagnéticas. Durante faltas de isolação estas correntes de circulação são consideravelmente aumentadas, justificando assim sua proibição em locais de alto risco de incêndio.

3.4.2.2. Esquema TT

No esquema de aterramento TT, existe um ponto da fonte de alimentação diretamente conectado a um eletrodo de aterramento dedicado à mesma, geralmente o ponto de neutro de um transformador trifásico. As massas das cargas são conectadas a um outro eletrodo de aterramento, independente do eletrodo da fonte. A figura 11 apresenta o modelo elétrico desse esquema de aterramento.

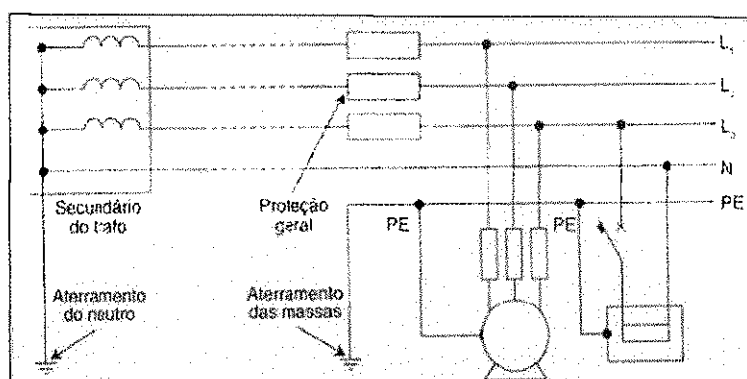


Figura 11 – Modelo elétrico do esquema TT

O esquema TT opera de maneira semelhante ao TN quando é submetido à falta monofásica para a terra, porém, no TT o percurso da corrente de falta inclui a terra, o que limita em muito o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra. Essa corrente é insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficientes para colocar em perigo uma pessoa. Portanto, ela deve ser detectada e eliminada por dispositivos mais sensíveis, geralmente chamados de interruptores diferenciais residuais (DRs).

A impedância do caminho de falta monofásica para a terra no esquema TT envolve as impedâncias dos condutores de alimentação e proteção ($Z_{F1} + Z_C + Z_{PE}$), a resistência de aterramento da carga (R_c) e da fonte de alimentação (R_f). A figura 12 mostra um exemplo do caminho percorrido pela corrente de falta que foi originada na carga suprida por esse esquema de aterramento.

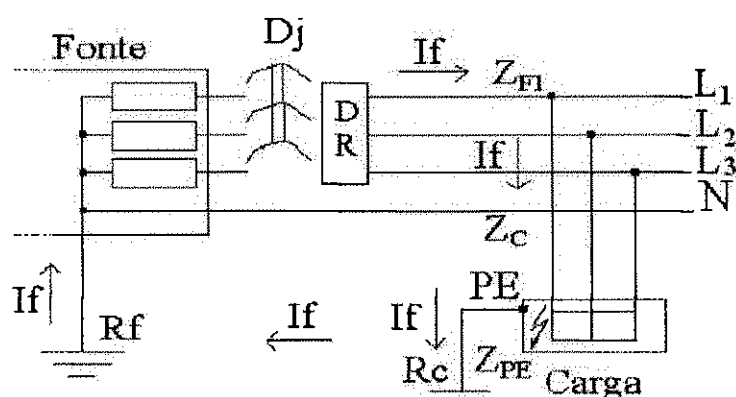


Figura 12 – Caminho da falta no esquema TT

A nomenclatura contida na figura 12 é a mesma da figura 10, acrescentado os seguintes itens:

- R_c , resistência de aterramento do eletrodo das cargas;
- DR, dispositivo Diferencial Residual.

3.4.2.3. Esquema IT

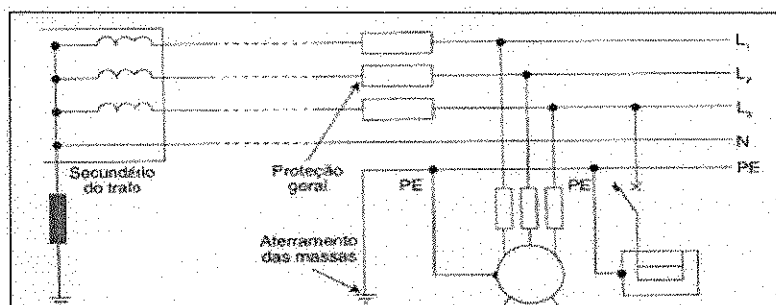


Figura 13 – Modelo elétrico do esquema IT

O valor da impedância do caminho de falta para a terra no esquema IT é alto, pois este envolve as impedâncias dos condutores de alimentação e proteção ($Z_{F1} + Z_C + Z_{PE}$), a resistência de aterramento da carga (R_c), da fonte alimentação (R_t) e, principalmente, a impedância limitadora da fonte de alimentação (Z_L), quando essa for instalada. Dependendo do valor atribuído para a impedância limitadora a corrente de falta para a terra será de baixa intensidade. Desta forma, se uma falta monofásica para a terra se estabelecer, no sistema, essa não causará a atuação do dispositivo de proteção contra as sobrecorrente. A figura 14 exemplifica o caminho percorrido pela corrente de falta que foi originada na carga suprida por esse esquema de aterramento.

A nomenclatura contida na figura 14 é igual a das figuras 12 e 10 acrescentado apenas o CPI que representa o dispositivo de controle permanente da isolação.

Alguns processos do setor industrial, aeroespacial e militar exigem, em um único sistema de distribuição de energia elétrica, as características individuais de operação de cada esquema de aterramento convencional, ou seja, há necessidade de preservar a alimentação de determinadas cargas de maior prioridade, cargas prioritárias, no processo, quando essas são submetidas às faltas monofásicas para a terra. Nessa mesma situação, outras cargas de menor prioridade, não prioritárias, podem ser retiradas de operação sem causar prejuízo para a continuidade do processo.

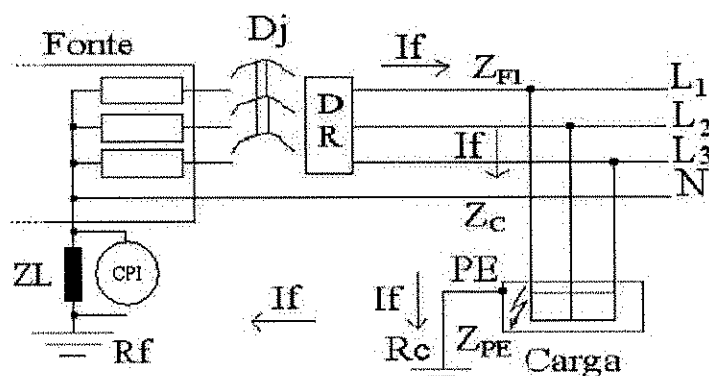


Figura 14 – Caminho da falta no esquema IT

4.0 Primeiros Socorros

As chances de salvamento da vítima de choque elétrico diminuem com o passar de alguns minutos, pesquisas realizadas apresentam as chances de salvamento em função do número de minutos decorridos do choque aparentemente mortal, pela análise do quadro 12 esperar a chegada da assistência médica para socorrer a vítima é o mesmo que assumir a sua morte, então não se deve esperar, o caminho é a aplicação de técnicas de primeiros socorros por pessoa que esteja nas proximidades.

O ser humano que esteja com parada respiratória e cardíaca passa a ter morte cerebral dentro de 4 minutos, por isso é necessário que o profissional que trabalha com eletricidade deve estar apto a prestar os primeiros socorros a acidentados, especialmente através de técnicas de reanimação cárdio-respiratória.

Quadro 12 – Chances de salvamento em função do tempo	
Tempo após o choque p/ iniciar respiração artificial	Chances de reanimação da vítima
1 minuto	95 %
2 minutos	90 %
3 minutos	75 %
4 minutos	50 %
5 minutos	25 %
6 minutos	1 %
8 minutos	0,5 %

Fonte: www.Corpodebombeiro/primeirosocorros

4.1. Métodos de respiração artificial para reanimação de vítimas de choque elétrico

A respiração artificial é empregada em todos os casos em que a respiração natural é interrompida.

4.1.1. Procedimentos Gerais

Antes de tocar o corpo da vítima, procure livra-la da corrente elétrica, com a máxima segurança possível e a máxima rapidez, nunca use as mãos ou qualquer objeto metálico ou molhado para interromper um circuito ou afastar um fio. Não mova a vítima mais do que o necessário à sua segurança.

Antes de aplicar o método, examine a vítima para verificar se respira, em caso negativo, inicie a respiração artificial. Quanto mais rapidamente for socorrida a vítima, maior será a probabilidade de êxito no salvamento.

Chame imediatamente um médico e os paramédicos do Corpo de Bombeiros que possa auxiliá-lo nas demais tarefas, sem prejuízo da respiração artificial, bem como, para possibilitar o revezamento de operadores.

Procure abrir e examinar a boca da vítima ao ser iniciada a respiração artificial, a fim de retirar possíveis objetos estranhos (dentadura, palito, alimentos, etc.), examina também narinas e garganta. Desenrole a língua caso esteja enrolada, em caso de haver dificuldade em abrir a boca da vítima, não perca tempo, inicie o método imediatamente e deixe essa tarefa a cargo de outra pessoa.

Desaperte punhos, cinta, colarinho, ou quaisquer peças de roupas que por acaso apertem o pescoço, peito e abdome da vítima. Agasalhe a vítima, a fim de aquecê-la, outra pessoa deve cuidar dessa tarefa de modo a não prejudicar a aplicação da respiração artificial.

Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação da respiração artificial. Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação do método, mesmo no caso de se tornar necessário o transporte da vítima à aplicação deve continuar.

Não distraia sua atenção com outros auxílios suplementares que a vítima necessita, enquanto estiver aplicando o método, outras pessoas devem ocupar-se deles. O tempo de aplicação é indeterminado, podendo atingir 5 horas ou mais, enquanto houver calor no corpo da vítima e esta não apresentar rigidez cadavérica há possibilidade de salvamento.

O revezamento de pessoas, durante a aplicação deve ser feito de modo a não alterar o ritmo da respiração artificial. Ao ter reinício a respiração natural, sintonize o ritmo da respiração artificial com a natural.

Depois de recuperada a vítima, mantenha-a em repouso e agasalhada, não permitindo que se levante ou se sente, mesmo que para isso precise usar força, não lhe de beber, a fim de evitar que se engasgue, após a recuperação total da vítima, pode dar lhe então café ou chá quente.

Não aplique injeção alguma, até que a vítima respire normalmente. Este caso aplica-se em qualquer caso de colapso respiratório, como no caso de pessoas intoxicadas por gases venenosos ou que sofram afogamentos.

Na maioria dos casos de acidente por choque elétrico, a morte é apenas aparente, por isso socorra a vítima rapidamente sem perda de tempo. O método de respiração artificial consiste em um conjunto de manobras mecânicas por meio dos quais o ar, em certo e determinado ritmo, é forçado a entrar e sair alternadamente dos pulmões.

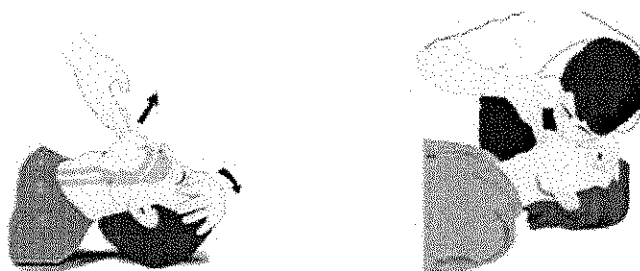
Os passos para aplicação deste método são descritos a seguir:

- 1- Deite a vítima de bruços com a cabeça voltada para um dos lados e a face apoiada sobre uma das mãos tendo o cuidado de manter a boca da vítima sempre livre.
- 2- Ajoelhe-se junto à cabeça da vítima e coloque as palmas das mãos exatamente nas costas abaixo dos ombros com os polegares se tocando ligeiramente.
- 3- Em seguida lentamente transfira o peso do seu corpo para os braços esticados, até que estes fiquem em posição vertical, exercendo pressão firme sobre o tórax.
- 4- Deite o corpo para trás, deixando as mãos escorregarem pelos braços da vítima até um pouco acima dos seus cotovelos; segure-os com firmeza e continue jogando o corpo para trás, levante os braços da vítima até que sinta resistência: abaixe-os então até a posição inicial, completando o ciclo, repita a operação no ritmo de 10 a 12 vezes por minuto.

4.1.2. Método da respiração artificial Boca-a-Boca

Para aplicação do método da respiração artificial boca-a-boca deite a vítima de costas com os braços estendidos e efetue os seguintes procedimentos:

- 1- Restabeleça a respiração: coloque a mão na nuca do acidentado e a outra na testa, incline a cabeça da vítima para trás.
- 2- Com o polegar e o indicador aperte o nariz, para evitar a saída do ar, como na figura 15.
- 3- Encha os pulmões de ar.
- 4- Cubra a boca da vítima com a sua boca, não deixando o ar sair.
- 5- Sopre até ver o peito erguer se.
- 6- Solte as narinas e afaste os seus lábios da boca da vítima para sair o ar.
- 7- Repita esta operação, a razão de 13 a 16 vezes por minuto.
- 8- Continue aplicando este método até que a vítima respire por si mesma.



Fonte: www.corpodebombeiros/primeirosocorros
 Figura 15 – Método da respiração artificial boca-a-boca

4.2. Parada cardíaca

Aplicada à respiração artificial pelo espaço aproximado de 1 minuto, sem que a vítima dê sinais de vida, poderá tratar-se de um caso de parada cardíaca.

Para verificar se houve uma parada cardíaca, existem 2 processos:

- 1- Pressione levemente com as pontas dos dedos indicador e médio a carótida, quase localizada no pescoço, junto ao pomo de Adão (Gogó).
- 2- Levante a pálpebra de um dos olhos da vítima, se a pupila (menina dos olhos) se contrair, é sinal que o coração está funcionando, caso contrário, se a pupila permanecer dilatada, isto é, sem reação, é sinal de que houve uma parada cardíaca.

Ocorrendo a parada cardíaca deve-se aplicar sem perda de tempo, a respiração artificial e a massagem cardíaca, conjugadas, da seguinte maneira:

- 1- Massagear a região na altura do coração, que está localizado no centro do tórax entre o esterno e a coluna vertical;
- 2- Colocar as duas mãos sobrepostas na metade inferior do esterno, como indica a figura 16.
- 3- Pressionar, com suficiente vigor, para fazer abaixar o centro do Tórax, de 3 a 4 cm, somente uma parte da mão deve fazer pressão, os dedos devem ficar levantados do Tórax.
- 4- Repetir a operação: 15 massagens cardíacas e 2 respirações artificiais, até a chegada do socorro mais especializado.



Fonte: www.corpodebombeiros/primeirossocorros
Figura 16 – Massagem cardíaca

5.0 Conclusão

A contribuição, freqüentemente não voluntária, do choque elétrico na fisiologia do corpo humano apresenta-se como uma das inúmeras interferências do desenvolvimento tecnológico moderno e desenfreado na qualidade de vida das pessoas, haja vista a popularização dos equipamentos e quase sempre de facilidade de acesso. O choque, com suas diversificadas variáveis, torna-se, ainda, de compreensão não-fácil no contexto da vida cotidiana, para a população em geral.

As atividades biológicas - glandular, nervosa ou muscular - são originadas de impulsos de corrente elétrica, rigorosamente controlada quanto aos parâmetros tempo, nível, freqüência e intensidade. Se, eventualmente, a essa corrente fisiológica for acrescentada uma outra corrente externa, devido a um contato elétrico, por exemplo, ocorrerão no organismo humano alterações das funções vitais normais, configurando o choque elétrico, com as conseqüências diversas, conforme explanadas na fundamentação teórica.

Deseja-se ainda, que esse se torne um ponto para decolagem de novas pesquisas, implementação e aprofundamento do aqui já levantado preliminarmente. Deseja-se, portanto, que esse trabalho de fim de curso sirva como referência para o meio técnico - profissional e acadêmico, em futuras e complementares pesquisas nas áreas de segurança em atividades com a energia elétrica, para as pequenas e médias indústrias e as residências, que são carentes dessas informações técnicas.

6.0 Referências Bibliográficas

- [1] IEC-479-1, Effects of Current on human beings and livestock – Part 1: General Aspects, Publication 479-1. International Electrotechnical Commission, 1994.
- [2] “ABNT NBR 5410/97 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão “Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.
- [3] CELG Distribuição.
Acesso em: Sexta-feira, 07 de Setembro de 2007 21:30:02
Disponível em: <http://www.celg.com.br/Dicas_Seguranca_Choque>
- [4] NISKIER, Julio A.J.M. Instalações Elétricas, Rio de Janeiro: LTC, 4ª edição
- [5] Corpo de Bombeiros.
Acesso em: Domingo, 26 de agosto de 2007 08:25:02
Disponível em: <<http://www.bombeirosemergencia.com.br/choqueeletrico.htm>>
Disponível em: <<http://www.brigadamilitar.rs.gov.br/bombeiros/prisocchoqueeletrico.htm>>
- [6] KINDERMANN, Geraldo. Choque elétrico. Porto Alegre: Sagra DC Luzzato, 2ª edição, 2000.
- [7] MAMEDE, João F. Instalações Elétricas Industriais. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A, 6ª edição, 2002.
- [8] KINDERMANN, Geraldo. Aterramento Elétrico. Porto Alegre: Sagra DC Luzzato, 3ª edição, 1995.
- [9] KINDERMANN, Geraldo. Proteção de Sistema Elétricos de Potência. Porto Alegre: Sagra DC Luzzato, 1ª edição, 1999.
- [10] Bticino/Pirelli. “Proteção das pessoas contra choques elétricos”, São Paulo, 1989.
- [11] IEC 479-2, Effects of current passing through the human body – Part 2: Special Aspects, Publication 479-2. International Electrotechnical Commission, 1987.
- [12] NBR 6533 – Estabelecimento de Segurança aos efeitos da corrente Elétrica percorrendo o Corpo Humano. ABNT, mar./1981.
- [13] ANSI/IEEE Std 80-1986, “Guide for safety in Alternating Current Substation Grounding”, 1986.
- [14] NR-10 - Instalações e Serviços em Eletricidade. Manual de Segurança e Medicina no Trabalho, São Paulo: Atlas, 52ª edição, 2003.

[15] C.F. DALZIEL. Effects of Electric Shock on Man. Electrical Engineering, vol. 60 ,pp 63-66, feb. 1971.

[16] Apostila Siemens – Seminários Técnicos 2003 Engenheiros e Projetistas. Módulo 4S, Proteção contra choques elétricos e aterramento das instalações de baixa tensão.

Acesso em: Sexta-feira, 24 de agosto de 2007 22:15:12

Disponível em:

<http://www.siemens.com.br/SiemensInternetBrasil/templates/coluna1.aspx?channel=6162>

[17] Apostila Siemens - Seminários Técnicos 2003 Engenheiros e Projetistas. Módulo 4B, Proteção contra os efeitos das correntes elétricas do choque elétrico e aterramento da instalação de baixa tensão.

Acesso em: Quinta-feira, 23 de agosto de 2007 20:25:49

Disponível em:

<http://www.siemens.com.br/SiemensInternetBrasil/templates/coluna1.aspx?channel=6162>

[18] PROCOBRE – O aterramento na Proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões e equipamentos eletrônicos.

Acesso em: Segunda-feira, 20 de agosto de 2007 15:13:06

Disponível em: <<http://www.procobrebrasil.org>>

[20] Schneider Electric – Programa de Formação Técnica Continuada. Proteção Diferencial.

Acesso em: Segunda-feira, 10 de Setembro de 2007 21:10:56

Disponível em: <[http://www.schneider-](http://www.schneider-electric.com.br/modulos/downloads1/downloadsdet.cfm?ID=BR&Letra=R)

[electric.com.br/modulos/downloads1/downloadsdet.cfm?ID=BR&Letra=R](http://www.schneider-electric.com.br/modulos/downloads1/downloadsdet.cfm?ID=BR&Letra=R)>

[21] J.R.A. Souza . Os Componentes da Instalação e a Proteção Contra Choques. Revista Eletricidade Moderna, nº 181, abril/1989.

[22] NBR 5419

[23] CREDER, Hélio, “Instalações Elétricas”. Rio de Janeiro: LTC,13ª., 1995.

[24] MEDEIROS FILHO, Sólon, “Fundamentos de Medidas Elétricas”. Rio de Janeiro: Guanabara Dois,1983.