

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST – UNIFACVEST**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
MATHEUS LUBIAN

**SISTEMA DE ATERRAMENTO ELÉTRICO, ESTUDO DE CASO**

**Lages**  
**2018**

**MATHEUS LUBIAN**

**SISTEMA DE ATERRAMENTO ELÉTRICO, ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador (a): Prof ° Eng ° Dra.  
Franciéli Lima de Sá**

**Coorientador (a): Prof ° Eng°  
Msc Nathielle Waldrigues  
Branco**

**Centro Universitário Facvest - UNIFACVEST**

**Lages  
2018**

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Mathews Leubian

NOME DO ALUNO

Sistema de aterramento elétrico, Estudo de caso.

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Francieli Lima de Sá

Titulação e nome do Orientador(a)

Msc. Silvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Avaliador (a).

Msc. Nathiella W. Branco

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá, Dra.

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 10 de dezembro de 2018.

## RESUMO

Aterramento é a ligação de estruturas ou instalações com a terra, com o objetivo de estabelecer uma referência para a rede elétrica, e admitir a entrada para a terra de correntes elétricas de distintas naturezas. Portanto, é fundamental que seja do conhecimento de todos saber como se proteger das correntes elétricas perigosas que podem, inclusive, levar pessoas a morte. Neste trabalho serão apresentadas as diferentes técnicas de como fazer um sistema de aterramento de acordo com o local, o tipo de solo e a necessidade de proteção dos equipamentos, pois os mesmos mal aterrados podem conduzir correntes elétricas causadoras da fibrilação ventricular. Também será comentado como efetuar o dimensionando dos principais sistemas de aterramento de acordo com sua resistividade aparente. Por fim, será discutido a importância de se ter o conhecimento do solo que será empregado, pois de acordo com algumas características nele encontrado, alterará sua resistividade. Além disso, será feito um estudo de caso, referente ao sistema de aterramento elétrico de uma residência.

Palavras chave: Sistemas de Aterramento, Choques Elétricos, Segurança Individual, Resistividade do Solo.

## **ABSTRACT**

Grounding is the connection of structures or installations with the earth, with the purpose of establishing a reference for the electric network, and admitting the entrance to the earth of electric currents of different natures. It is therefore essential that everyone knows how to protect themselves from dangerous electrical currents that can even lead to death. In this work the different techniques of how to make a grounding system according to the location, type of ground and the need to protect the equipment will be presented, since the same grounded ones can lead electric currents causing the ventricular fibrillation, it will also be spoken as to carry out the dimensioning of the main grounding systems according to their apparent resistivity. It will be discussed the importance of having the knowledge of the soil that will be "used", because according to some characteristics found in it, will change its resistivity. In addition, a case study will be done regarding the electrical grounding system of a residence.

Key words: Grounding Systems, Electric Shocks, Self Catering Apartments, Resistivity, Ground.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me dado forças nesses anos de caminhada e luta.

Agradeço especialmente a minha Mãe Ivanice, meu Pai Jairo e meu Irmão Marcelo, por sempre terem me apoiado, em todos os momentos desde o início até o fim da faculdade e sei que vão para o resto da vida.

Agradeço a minha namorada Daiane, por me suportar e me ajudar, nesse período difícil que é o TCC, e em todos os outros momentos que passamos juntos.

Agradeço a todos os professores que de algum modo, contribuíram para me tornar a pessoa que sou hoje.

E a todos os meus amigos, companheiros de festas, de estudos, desses cinco anos que passamos juntos, que essa amizade se torne duradoura.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Constituição de um Aterramento .....	18
<b>Figura 2</b> - Sistema TN-S.....	21
<b>Figura 3</b> - Sistema TN-C .....	21
<b>Figura 4</b> - Sistema TN-C-S.....	22
<b>Figura 5</b> - Sistema TT.....	24
<b>Figura 6</b> - Sistema IT.....	24
<b>Figura 7</b> - Esquema do DR .....	26
<b>Figura 8</b> - Funcionamento do DR.....	27
<b>Figura 9</b> - Ausência de falta para a terra.....	28
<b>Figura 10</b> - Uso dos dispositivos DR's.....	29
<b>Figura 11</b> - Localização do aterramento entre a rede de Baixa tensão e o medidor.....	31
<b>Figura 12</b> - Terrômetro Minipa MTR-1530 .....	33
<b>Figura 13</b> - $\rho$ (Resistividade) x Umidade Percentual Solo Arenoso .....	35
<b>Figura 14</b> - Resistividade X Temperatura .....	36
<b>Figura 15</b> - Estratificação do solo em duas camadas.....	37
<b>Figura 16</b> - Método de Wenner .....	38
<b>Figura 17</b> - Haste cravada verticalmente no solo .....	40
<b>Figura 18</b> - Secção Transversal da Haste Circular e em Cantoneira .....	41
<b>Figura 19</b> - Parâmetros das interferências entre as hastes "h" e "m" .....	42
<b>Figura 20</b> - Hastes alinhadas em paralelo.....	43
<b>Figura 21</b> - Triângulo equilátero.....	45
<b>Figura 22</b> - Curvas dos K x e.....	46
<b>Figura 23</b> - Quadrado Vazio .....	46
<b>Figura 24</b> - Hastes em circunferência.....	47
<b>Figura 25</b> - Hastes em circunferência com nove metros de raio .....	47
<b>Figura 26</b> – ((a) Conector de aterramento b) Condutor de malha de aterramento c) Soldas exotérmicas.....	50

<b>Figura 27</b> - Dimensionamento do condutor.....	53
<b>Figura 28</b> - Projeto inicial de uma malha .....	54
<b>Figura 29</b> - Princípio da proteção pelo modelo eletrogeométrico .....	61
<b>Figura 30</b> - Variação do ângulo de proteção de acordo com o método de Franklin.....	62
<b>Figura 31</b> - Exemplo do tipo gaiola de Faraday .....	63
<b>Figura 32</b> - Efeitos diretos e indiretos causados pelas descargas atmosféricas.....	64
<b>Figura 33</b> - Esquema de ligação de um DPS em um circuito elétrico .....	65
<b>Figura 34</b> - ((a) Batimento cardíaco normal; (b) Batimento cardíaco acelerado; (c) Batimento cardíaco lento; (d) Batimento cardíaco irregular).....	67
<b>Figura 35</b> - Parede do coração .....	68
<b>Figura 36</b> - Possíveis percursos da corrente elétrica no corpo humano .....	70
<b>Figura 37</b> - Potencial de Toque .....	72
<b>Figura 38</b> - Potencial de Passo .....	73
<b>Figura 39</b> - Conector de aterramento.....	76
<b>Figura 40</b> - Caixa de inspeção .....	76
<b>Figura 41</b> - Barramento de terra .....	77
<b>Figura 42</b> - Estrutura da entrada de energia.....	78
<b>Figura 43</b> - Plug tomada, classe I .....	79
<b>Figura 44</b> - Aterramento adequado chuveiro elétrico.....	80

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores de K.....	25
<b>Tabela 2</b> – Tipo de solo e Respectiva Resistividade .....	32
<b>Tabela 3</b> – Resistividade de um Solo Arenoso com variação na umidade .....	34
<b>Tabela 4</b> – Variação da resistividade com a Temperatura.....	35
<b>Tabela 5</b> - Eletrodos de aterramento convencionais .....	49
<b>Tabela 6</b> - Dimensionamento dos condutores da malha e cabo de ligação .....	53
<b>Tabela 7</b> - Exemplos de classificação de estruturas quanto ao nível de proteção .....	59
<b>Tabela 8</b> - Efeitos da corrente elétrica no corpo humano .....	69
<b>Tabela 9</b> - Potência aparente dos equipamentos elétricos .....	74

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	13
1.1.1	Objetivos Específicos .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	APLICAÇÕES .....	15
1.4	METODOLOGIA .....	16
<b>2</b>	<b>ASPECTOS GERAIS SOBRE O ATERRAMENTO .....</b>	<b>17</b>
2.1	DEFINIÇÃO .....	17
2.2	TIPOS DE SISTEMAS DE ATERRAMENTO .....	18
2.3	HASTES DE ATERRAMENTO .....	19
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE BAIXA TENSÃO RELAÇÃO À ALIMENTAÇÃO E DAS MASSAS EM RELAÇÃO À TERRA .....	19
2.4.1	Sistema de alimentação do tipo TN.....	20
	<b>a) Sistema do tipo TN-S .....</b>	<b>20</b>
	<b>b) Sistema do tipo TN-C.....</b>	<b>21</b>
	<b>c) Sistema do tipo TN-C-S .....</b>	<b>22</b>
2.4.2	Sistema do tipo TT .....	22
2.4.3	Sistema do tipo IT .....	23
2.5	CONDUTORES DE PROTEÇÃO .....	25
2.6	DISPOSITIVOS DIFERENCIAIS RESIDUAIS (DRS) .....	26
2.6.1	Princípio de funcionamento.....	26
2.6.2	Aplicação dos dispositivos DR's.....	28
<b>3</b>	<b>PROJETO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO.....</b>	<b>30</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO.....	31
3.2	RESISTIVIDADE DO SOLO .....	32

3.3 INFLUÊNCIA DA UMIDADE .....	33
3.4 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA.....	35
3.5 A INFLUÊNCIA DA ESTRATIFICAÇÃO .....	36
3.6 MÉTODOS DE MEDIÇÃO.....	37
3.7 CUIDADOS NA MEDIÇÃO .....	39
3.8 DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE ATERRAMENTO .....	40
3.8.1 Dimensionamento de um sistema de aterramento com uma haste vertical .....	40
3.8.2 Dimensionamento de um sistema de aterramento formado por hastes alinhadas em paralelo .....	43
3.8.3 Dimensionamento de um sistema com hastes em triângulo .....	44
3.8.4 Dimensionamento de um sistema com hastes em quadrado vazio.....	46
3.8.5 Dimensionamento de um sistema com hastes em circunferência.....	47
3.9 MALHA DE ATERRAMENTO .....	48
3.9.1 Elementos de uma malha de aterramento .....	48
3.9.2 Itens necessários ao projeto de uma malha de terra.....	51
3.9.3 Dimensionamento do condutor da malha .....	51
3.9.4 Potenciais máximos a serem verificados .....	54
3.9.5 Malha inicial .....	54
3.9.6 Resistência de aterramento da malha.....	55
3.9.7 Potencial de malha.....	56
3.10 TRATAMENTO QUÍMICO DO SOLO.....	57
<b>4 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)</b>	
<b>59</b>	
4.1 MODELO ELETROGEOMÉTRICO .....	61
4.2 MÉTODO DE FRANKLIN .....	62
4.3 MÉTODO DE FARADAY .....	63
4.4 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS).....	64

4.4.1	Classes dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS) .....	64
4.4.2	Localização dos DPS .....	65
<b>5</b>	<b>FIBRILAÇÃO VENTRICULAR DO CORAÇÃO PELO CHOQUE ELÉTRICO</b> .....	<b>66</b>
5.1	CHOQUE ELÉTRICO .....	66
5.2	FIBRILAÇÃO VENTRICULAR DO CORAÇÃO .....	67
5.3	INFLUÊNCIA DO VALOR DA CORRENTE ELÉTRICA.....	69
5.4	CORRENTE TOLERÁVEL PELO SER HUMANO.....	70
5.5	POTENCIAL DE TOQUE .....	71
5.6	POTENCIAL DE PASSO .....	72
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>74</b>
6.1	PROJETO DE UM SISTEMA DE ATERRAMENTO DE UMA RESIDÊNCIA .....	74
6.2	PLANEJAMENTO CONSTRUTIVO .....	75
6.3	DIMENSIONAMENTO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	78
6.4	ATERRAMENTO DOS EQUIPAMENTOS EM GERAL .....	79
6.5	ATERRAMENTO DO CHUVEIRO ELÉTRICO .....	79
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de aterramento foram criados para proteger pessoas, animais e materiais contra possíveis falhas de equipamentos ou sistemas. Esta falha pode prover desde uma simples fuga de corrente até um complexo arco elétrico visível, que pode vir a danificar um equipamento ou até mesmo, ocasionar acidentes fatais (PINHEIRO, 2013).

Afirmar que um aparelhamento está ligado a terra ou eletricamente aterrado, significa que suas partes condutoras metálicas estão ligadas a terra e um acoplamento é feito, geralmente por um fio para aterrar, ou de proteção, conectado entre o dispositivo e o eletrodo, ou malha de aterramento (ALVES; COSTA; XAVIER, 2018).

Um aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Este se constitui basicamente de três componentes:

- Eletrodos de aterramento, ou seja, qualquer corpo metálico colocado no solo;
- Conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos;
- Terra que envolve os eletrodos (VISACRO FILHO, 2002).

O Aterramento elétrico, claro, é um tema que provoca um grande número de perguntas sobre as regras e procedimentos com respeito ao ambiente elétrico. Em diversos casos, a falta de técnicas para realizar um aterramento eficaz, proporciona a queima de equipamentos, ou pior, o choque elétrico nos operadores desses equipamentos (CAPELLI, 2000).

Para que um sistema de energia elétrica opere corretamente, com qualidade, segurança na proteção e sem interrupções no seu sistema, é de fundamental importância que o quesito aterramento elétrico seja considerado de uma maneira especial e com cuidado (PINHEIRO, 2013).

Diante dessa realidade, esse trabalho objetiva mostrar como é dimensionado o estudo para se fazer um bom aterramento elétrico, conforme o local desejado, o tipo de solo presente e a necessidade de proteção dos equipamentos.

## **1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho visa mostrar e exemplificar, conceitos no que se referem ao sistema de aterramento elétrico, modos de operação, segurança na qual exerce este sistema sobre “corpos” presentes em seu meio.

### *1.1.1 Objetivos Específicos*

- Estudar os fatores que influenciam na resistividade do solo;
- Demonstrar o grau de perigo decorrente do choque elétrico;
- Diferenciar os tipos de aterramentos;
- Classificar os sistemas de baixa tensão;
- Projetar um Sistema de Aterramento (Estudo de caso).

## 1.2 Justificativa

Muitas pessoas acreditam, por exemplo que podem tocar em qualquer aparelho elétrico sem haver o risco de um choque elétrico, porém isso só será verdade caso exista um sistema de aterramento bem dimensionado no local ou no equipamento.

Segundo a Abracopel (2018) entre os anos de 2013 e 2017, houve um aumento de 33,6% de acidentes envolvendo energia elétrica no Brasil, este aumento progressivo revela a falta de informação, de cuidado e conhecimento da população sobre os riscos de movimentar instalações elétricas sem ajuda de um profissional. No ano passado, foram registrados 1387 casos de acidentes envolvendo energia elétrica em todo o Brasil, onde, mais de 50% destes foram fatais.

Sendo esse um ponto bem relevante ao setor elétrico e a segurança pessoal, este trabalho visa orientar um cidadão comum e, até mesmo um profissional eletricista que não tenha uma especialização na área de aterramento, como fazer um bom aterramento elétrico, e quais os cuidados que devem ser tomados na ausência de um sistema desse.

### **1.3 Aplicações**

O aterramento elétrico, é um sistema utilizado em inúmeras edificações, muitas vezes em conjunto com o Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), para juntos reduzirem os riscos eminentes que podem ser causados por descargas atmosféricas, choques, sobre tensões, descargas eletrostáticas entre outros. Este sistema pode ser implantado também em motores, painéis elétricos, toda e qualquer parte metálica que possam eventualmente ter contato com partes energizadas.

De acordo com a NBR 5410 toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada “eletrodo de aterramento”.

#### **1.4 Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho será uma abordagem qualitativa aliado a um estudo de caso. Assim, será apresentado uma revisão teórica dos principais conceitos referentes ao assunto abordado e, posteriormente, apresentados resultados de como é implementado o aterramento elétrico na prática e onde ele se aplica.

## 2 ASPECTOS GERAIS SOBRE O ATERRAMENTO

### 2.1 Definição

O aterramento é um sistema que tem como finalidade prover um caminho seguro, controlado e de baixa impedância com direção à terra, para proteger pessoas e animais de possíveis potenciais perigosos. Além da segurança aos seres humanos, este sistema visa evitar danos aos bens patrimoniais causados por correntes produzidas pela falha dos isolamentos ou por conexões indevidas (PINHEIRO, 2013).

Pinheiro (2013), destaca ainda, que afirmar que um aparelho está ligado à terra ou eletricamente aterrado significa que suas partes condutoras metálicas, estão ligadas à terra, e assim um acoplamento é feito, geralmente por um cabo de aterramento ou de proteção ligado entre o aparelho e o eletrodo ou malha de aterramento.

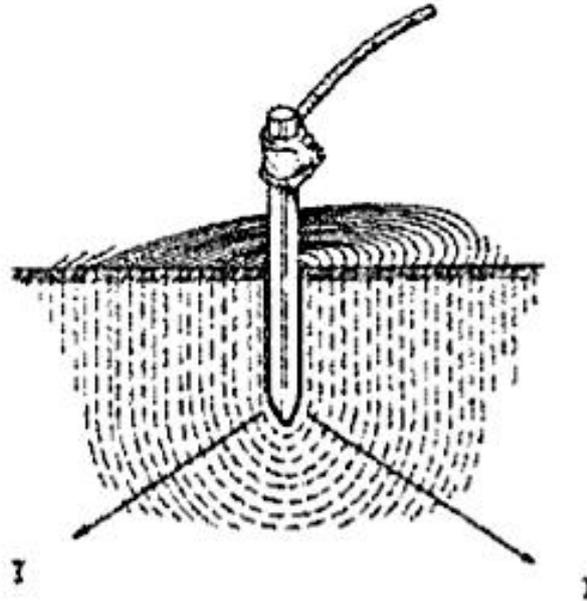
Para que um sistema de aterramento opere corretamente, com uma certa continuidade de serviço, com um desempenho do sistema de proteção sendo seguro, e mais ainda, tendo a segurança pessoal dentro de seus limites, é de fundamental importância que o quesito aterramento seja considerado de maneira especial e com cuidado (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

É necessário um cuidado na elaboração de projetos específicos, nos quais, com base em dados disponíveis e os parâmetros pré-definidos, considerando todas as condições a que o sistema possa ser submetido (ALVES; COSTA; XAVIER, 2018).

Os principais objetivos do aterramento são:

- Fazer que equipamentos de proteção estejam mais sensibilizados e isolem as falhas à terra.
- Obter a resistência de aterramento a mais baixa possível, para correntes de falta à terra.
- Manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro dos limites da segurança pessoal para não causar fibrilação ventricular.
- Proporcionar um caminho de escoamento para descargas atmosféricas.
- Usar a terra como retorno decorrente no sistema MRT (Monofásico com retorno pela terra).
- Escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

**Figura 1 - Constituição de um Aterramento**



Fonte: VISACRO FILHO (2002)

O aterramento harmoniza a interrupção do fornecimento de energia de um circuito ou de todo o sistema elétrico de forma simples, rápida e precisa com o objetivo de isolar um defeito ou falha de corrente, impedindo que a falha se propague e evitando danos a materiais e pessoas (PINHEIRO, 2013).

## 2.2 Tipos de Sistemas de Aterramento

Os diversos tipos de sistemas de aterramento devem ser realizados de modo com que garanta a melhor ligação com a terra.

Os principais tipos são:

- Uma simples haste cravada no solo;
- Hastes alinhadas;
- Hastes em quadrado;
- Hastes em triângulo;
- Hastes em círculos;
- Placas de material condutoras enterradas no solo;
- Fios ou cabos enterrados no solo, formando diversas formas, tais como:

- Estendido em vala comum;
- Em cruz;
- Em estrela;
- Quadriculados, formando uma malha de terra.

O tipo de aterramento a ser adotado depende da importância do sistema elétrico envolvido, das características do custo e do local. Evidentemente o sistema mais eficiente e o mais caro é a malha de aterramento (PINHEIRO, 2013).

### 2.3 Hastes de Aterramento

O material das hastes de aterramento deve ter as seguintes propriedades:

- Ser bom condutor de eletricidade;
- Material deve ser praticamente inerte as ações dos ácidos e sais dissolvidos no solo;
- Resistência mecânica compatível com a cravação e movimentação do solo;
- O material deve sofrer a menor ação possível da corrosão galvânica.

As melhores hastes são geralmente as de cobre (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

### 2.4 Classificação dos Sistemas de Baixa Tensão Relação à Alimentação e das Massas em Relação à Terra

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui uma norma que rege o campo de instalações elétricas em baixa tensão e utiliza a seguinte simbologia para classificar os sistemas de aterramento em relação à alimentação e das massas em relação à terra.

1. Primeira Letra: Especifica a situação da alimentação em relação à terra:
  - **T**: Ponto diretamente aterrado;
  - **I**: Isolação de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma elevada impedância.

2. Segunda Letra: Especifica a situação dos equipamentos ou das massas (carcaças) das cargas em relação à terra:
  - **T**: Massas aterradas diretamente, independente da fonte de alimentação;
  - **N**: Massas ligadas ao ponto aterrado da fonte de alimentação;
  - **I**: Massa isolada, isto é, não aterrada.
  
3. Terceira Letra: Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:
  - **S**: Separado, isto é, o aterramento da massa é executado com um fio (PE) separado do neutro;
  - **C**: Comum, isto é, o aterramento da massa do equipamento é executado usando o fio neutro (PEN) (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

#### *2.4.1 Sistema de alimentação do tipo TN*

O percurso de uma corrente fase-massa possui uma impedância muito baixa e sua corrente pode alcançar valores altíssimos, suficientes para serem detectados e interrompidos por fusíveis ou disjuntores.

No sistema de alimentação do tipo TN, podemos ter as seguintes variações:

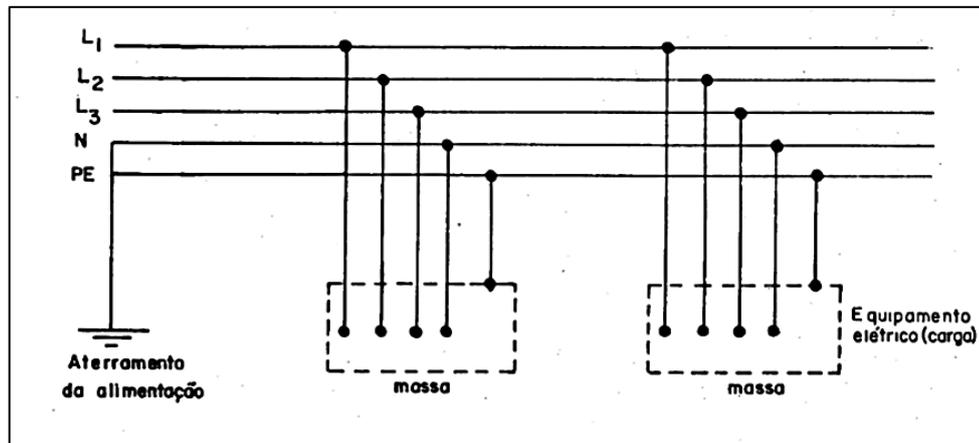
##### **a) Sistema do tipo TN-S**

É conhecido como sistema a cinco condutores. Neste caso, o condutor de proteção que é conectado à malha de terra na origem do sistema, interliga todas as massas da instalação no qual são compostas, principalmente, pela carcaça dos equipamentos. O condutor responsável pela condução de correntes de defeito entre fase e massa é o de proteção. Em sistemas com cabo enterrado, onde exista uma capa de proteção de chumbo, o condutor de proteção é comumente a capa de chumbo (PINHEIRO, 2013).

Esse sistema traz um aspecto muito importante para a segurança pessoal, pois como as massas estão ligadas ao ponto aterrado da fonte diferente do neutro, mantêm se o mesmo potencial que é zero, obtendo assim uma tensão de toque nula (PINHEIRO, 2013).

Segundo Pinheiro (2013) a utilização de condutores separados N e PE é obrigatória para circuitos com seção inferior a 10 mm<sup>2</sup> para cobre e 16 mm<sup>2</sup> para alumínio e em equipamentos móveis.

**Figura 2- Sistema TN-S**



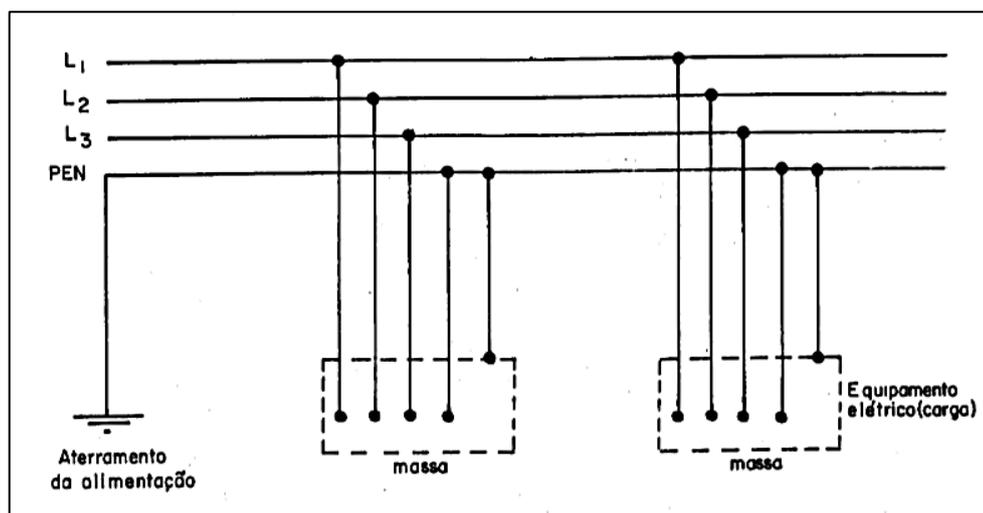
Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

**b) Sistema do tipo TN-C**

O condutor neutro é utilizado também como condutor de proteção e denominado como PEN (condutor de proteção + neutro). Neste caso, diferentemente do sistema TN-S, as massas das cargas elétricas ficam submetidas a potenciais diferentes, que são causadas pelas tensões geradas devido ao desequilíbrio das cargas e das harmônicas provocadas pelas cargas não lineares.

De acordo com Pinheiro (2013) este tipo de sistema não é permitido para condutores de seção inferior a 10 mm<sup>2</sup> e para equipamentos móveis.

**Figura 3 - Sistema TN-C**

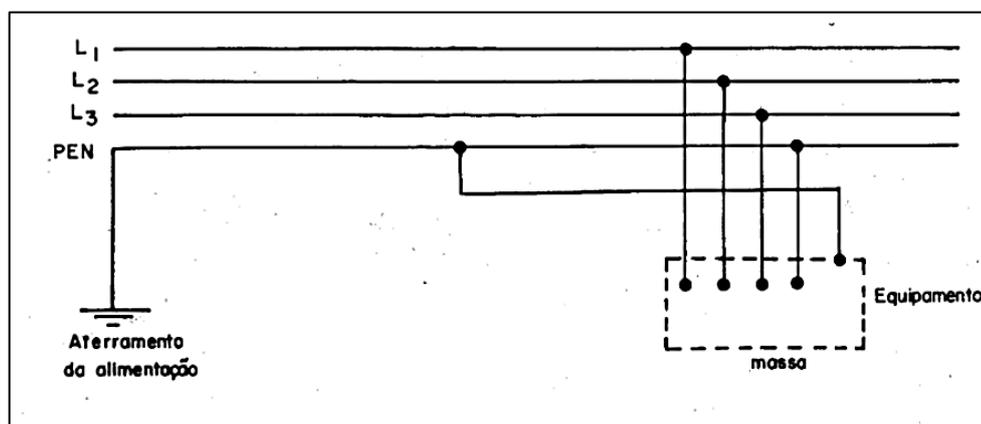


Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

### c) Sistema do tipo TN-C-S

A fonte de alimentação é aterrada, o equipamento tem o seu aterramento que utiliza um fio separado, que após uma certa distância, o mesmo é conectado ao fio neutro.

**Figura 4 - Sistema TN-C-S**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

De acordo com Pinheiro (2013) no Brasil, o esquema de ligação TN é o mais comum, quando se tratam de instalações alimentadas pela rede pública de baixa tensão, e quase sempre, a instalação é do tipo TN-C até a entrada. Do ponto de entrada em diante, o neutro é aterrado por razões funcionais e segue para o interior da instalação separado do condutor de proteção (TN-S).

#### 2.4.2 Sistema do tipo TT

O esquema do tipo TT possui uma fonte de alimentação diretamente aterrada. Todas as partes metálicas expostas e todas as partes metálicas estranhas à instalação são ligadas a um eletrodo de terra separado na instalação (NBR 5410, 2004), como exemplifica a Figura 5.

### 2.4.3 Sistema do tipo IT

Creder (2007) diz que o esquema IT não possui nenhum ponto de alimentação aterrado diretamente, ele é um sistema isolado ou aterrado por impedância, estando, no entanto, suas massas diretamente aterradas. As correntes de falta fase-massa, limitam-se a um valor desprezível de forma a não permitir que uma primeira falha possa desligar o sistema. Geralmente, essa corrente não é perigosa para os seres humanos, mas como a instalação estará atuando em condição de falta, é obrigatória a utilização de dispositivo supervisor de isolamento (DSI), evitando a excessiva degradação dos componentes da instalação (PINHEIRO, 2013).

Todas as partes condutoras expostas a instalação são ligadas a um eletrodo de terra, de acordo com a Figura 6.

Este tipo de esquema de aterramento possui algumas vantagens e desvantagens.

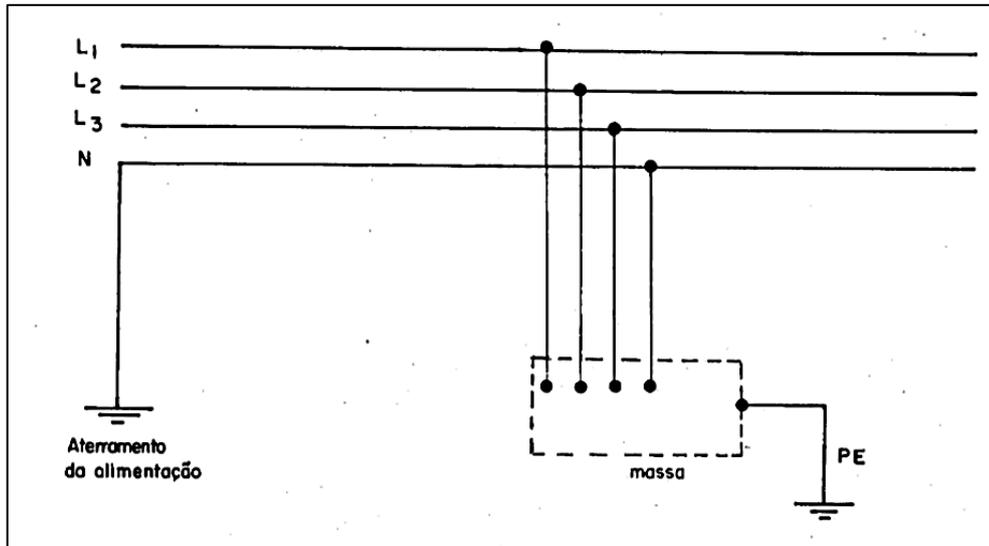
As principais vantagens são:

- Limitar a corrente de curto-circuito de acordo com a capacidade de suportabilidade dos componentes presentes na instalação;
- Manter em funcionamento o circuito quando submetido ao primeiro defeito;
- Abater as harmônicas de maneira marcante na operação do sistema elétrico utilizado;
- Segurança pessoal.

Uma desvantagem do emprego deste esquema de aterramento é a dificuldade em sistemas de grande porte, obrigando o emprego de dispositivos e técnicas para a sinalização e localização do primeiro defeito. Em caso de um segundo defeito, a segurança humana é comprometida.

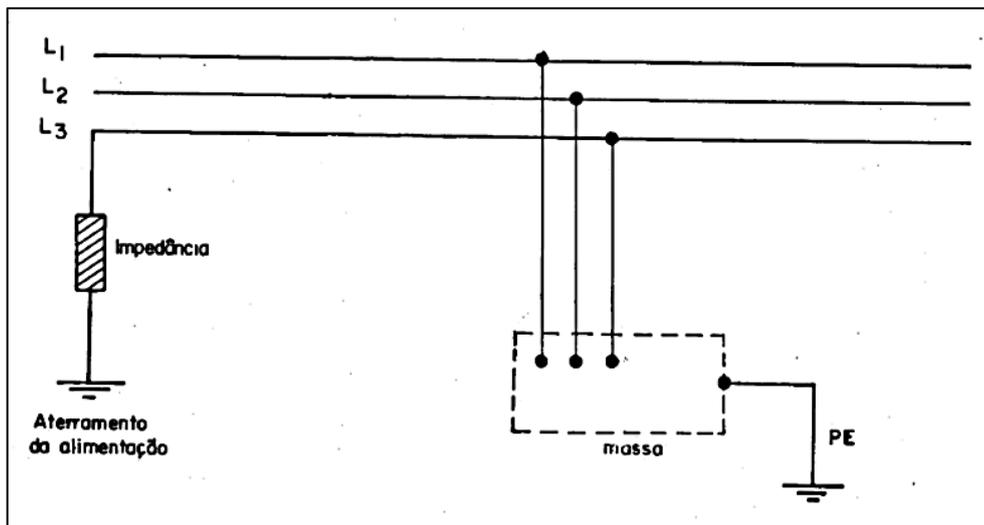
No geral, o uso dos sistemas IT fica restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação. Têm-se, como exemplo, métodos importantes como salas de cirurgia e processos metalúrgicos.

**Figura 5 - Sistema TT**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

**Figura 6 - Sistema IT**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

## 2.5 Condutores de Proteção

Segundo Creder (2007) o condutor de proteção tem por função o aterramento das massas metálicas de equipamentos elétricos. O seu dimensionamento visa proteger pessoas contra choques elétricos devido a contatos indiretos, bem como ao desempenho adequado dos dispositivos de proteção, sejam por sobrecorrente (fusíveis e disjuntores) ou pela corrente diferencial-residual (interruptor ou dispositivo DR).

A seção mínima do condutor pode ser definida pela equação 1, apenas para tempos de atuação dos dispositivos de proteção inferiores a 5 segundos.

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2 x t}}{K} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

S → Seção mínima do condutor de proteção, em mm<sup>2</sup>;

I → Corrente de falta, que pode circular pelo dispositivo de proteção, em Ampères;

t → Tempo de atuação dos dispositivos de proteção em segundos;

K → Constante definida pela Tabela 1 (fator que depende do material do condutor de proteção, da sua isolamento e outras partes e das temperaturas inicial e final).

**Tabela 1 - Valores de K**

Cabos Isolados		Material da Cobertura	
Tipo de Condutor	Material do Condutor	PVC (160°C)	EPR / XLPE (250°C)
Independentes (condutor isolado, cabo unipolar ou cabo nu em contato com a cobertura do cabo.	Cobre	143	176
	Alumínio	95	116
	Aço	52	64
Veias de cabos multipolares	Cobre	115	143
	Alumínio	76	94

Fonte: CREDER (2007)

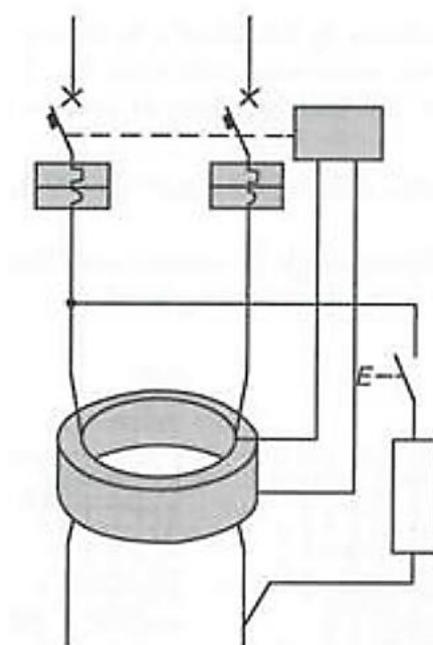
## 2.6 Dispositivos Diferenciais Residuais (DRs)

### 2.6.1 Princípio de funcionamento

Um dispositivo diferencial residual é constituído, essencialmente pelos seguintes elementos principais.

- Contatos fixos e móveis;
- Transformador diferencial;
- Disparador diferencial (relé polarizado).

**Figura 7 - Esquema do DR**



**Fonte: PINHEIRO (2013)**

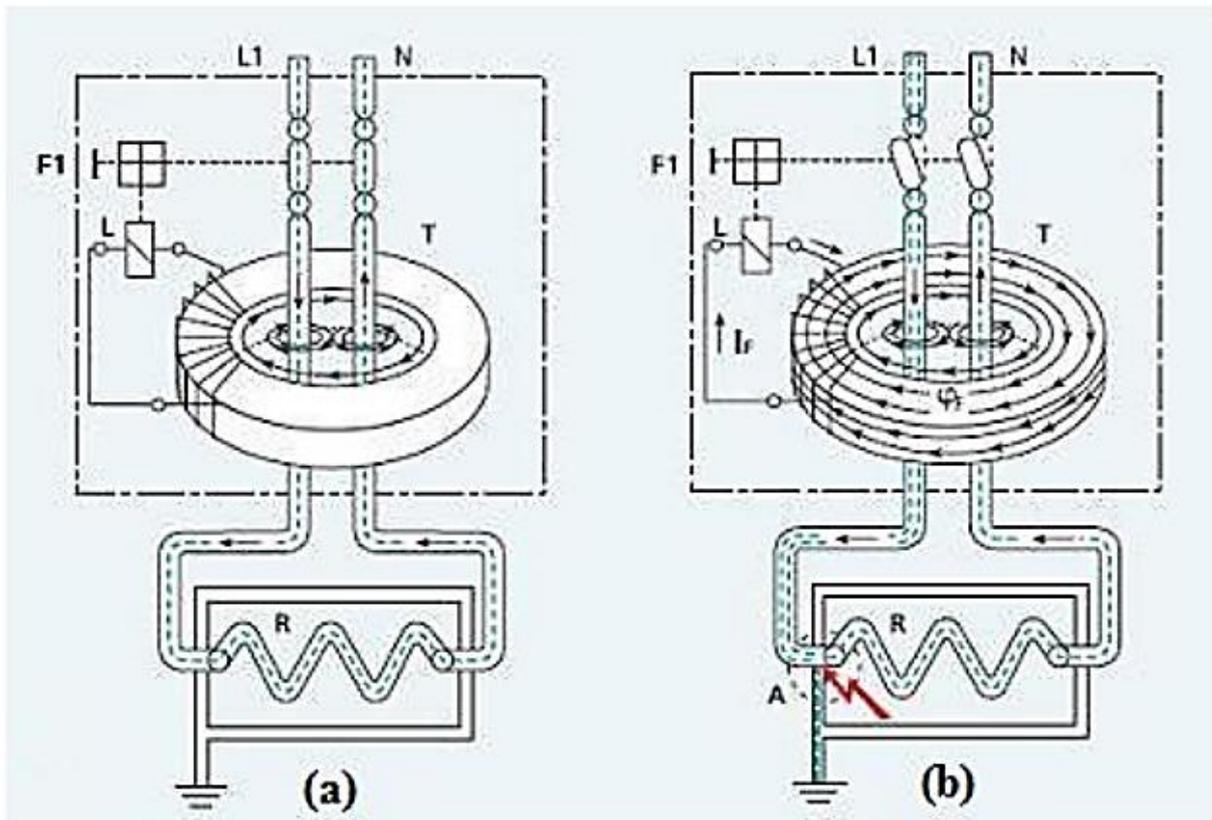
Os contatos têm por função permitir o fechamento e a abertura do circuito e são dimensionados de acordo com a corrente nominal do dispositivo. No caso de um disjuntor termomagnético diferencial, os contatos são dimensionados para poder “cortar” as correntes de curto circuito até seu limite dado pela capacidade de interrupção de corrente nominal do dispositivo (PINHEIRO, 2013).

O transformador é composto por um núcleo laminado, de material altamente permeável, com tantas bobinas primárias quanto forem os pólos do dispositivo e uma bobina secundária

destinada a detectar a corrente diferencial-residual. O sinal na saída da bobina secundária é enviado a um relé polarizado que ativa um mecanismo de gatilho para abertura dos contatos principais (CREDER, 2007).

De acordo com Pinheiro (2013) o disparador diferencial é um relé polarizado composto por um ímã permanente, uma bobina ligada à bobina secundária do transformador e uma peça móvel anexa de um lado por uma mola e ligada mecanicamente aos contatos do dispositivo. Na condição de repouso, a peça móvel se mantém na posição fechada encostada no núcleo e tracionando a mola, de acordo com a Figura 8 (a).

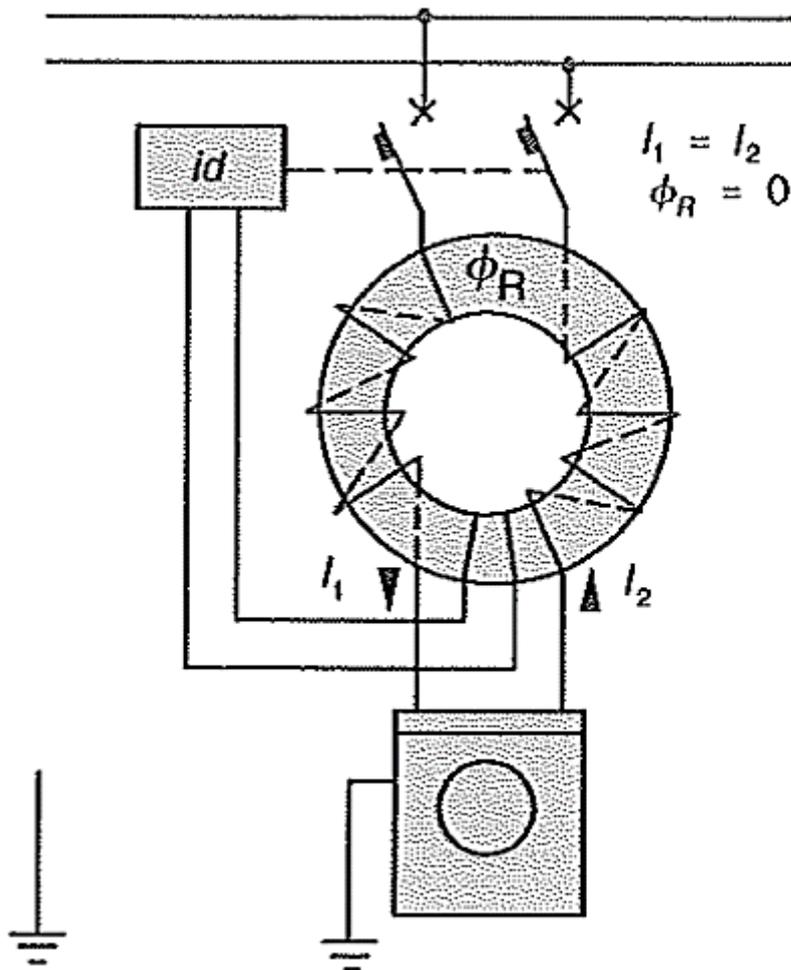
**Figura 8 - Funcionamento do DR**



Fonte: PINHEIRO (2013)

Quando o disjuntor diferencial opera em condições normais de funcionamento, o fluxo resultante no núcleo do transformador, o qual produzido pelas correntes que percorrem os condutores de alimentação, é nulo, e na bobina secundária não é gerada nenhuma força eletromotriz. A parte móvel do disparador diferencial está em contato com o núcleo tracionando a mola, atraída pelo campo do ímã permanente (Figura 9) (PINHEIRO, 2013).

**Figura 9 - Ausência de falta para a terra**



Fonte: CREDER (2007)

Quando existir uma corrente diferencial residual ou seja uma corrente de fuga, e ela for maior que a corrente diferencial residual nominal de atuação do dispositivo, o fluxo criado no núcleo do disparador pela corrente que provem da bobina secundária do transformador acarretará a desmagnetização do núcleo, tendo assim o contato da parte móvel aberto (Figura 8 – b), e conseqüentemente, os contatos principais do dispositivo (PINHEIRO, 2013).

### 2.6.2 Aplicação dos dispositivos DR's

Instalações elétricas normalmente apresentam correntes de fuga. Por menor que sejam esses valores, elas são influenciadas a partir de alguns fatores, entre os quais a qualidade dos

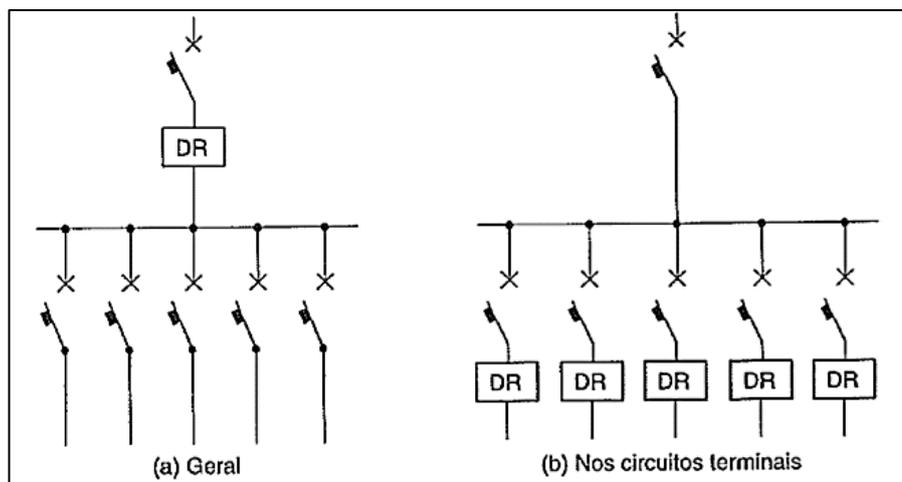
componentes e dos equipamentos utilizados, a qualidade da mão de obra e até mesmo a idade da instalação.

Creder (2007) cita que para poder instalar um dispositivo DR na proteção de um circuito ou de uma instalação, as respectivas correntes de fuga deverão ser inferiores ao limiar de atuação do dispositivo.

Por ser um dispositivo com grande sensibilidade, deve se tomar um cuidado na hora da instalação, sobretudo em instalações antigas. Não pode, por exemplo, utilizar um dispositivo DR em uma instalação onde exista um chuveiro elétrico.

A NBR-5410 (2004) recomenda que, para os sistemas do tipo TT, caso haja um único dispositivo DR para proteger a instalação, ele deve ser colocado na origem da instalação, como proteção geral contra contatos indiretos. Isto é, na prática essa condição é realizada entre a origem, por exemplo na caixa de entrada da instalação e o dispositivo DR único, o qual é instalado no quadro de distribuição, existirem apenas condutores isolados contidos em eletrodutos isolantes. Outra opção seria o uso, de vários dispositivos DR's, um em cada derivação.

**Figura 10 - Uso dos dispositivos DR's**



Fonte: CREDER (2007)

### 3 PROJETO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Antes de executar algum projeto de aterramento elétrico é preciso levar em consideração inúmeros fatores para se obter um ótimo resultado. Diversos fatores, não tratados com a devida importância podem fazer com que o aterramento elétrico, não seja o mesmo que o projetado, resultando assim em um péssimo aterramento. O objetivo primordial é aterrar todos os pontos, massas, equipamentos ao sistema de aterramento que se pretende dimensionar e realmente fornecer um caminho seguro para a corrente de falta.

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) para projetar adequadamente o sistema de aterramento deve-se seguir as etapas a seguir:

- a) Definir o local do aterramento;
- b) Providenciar várias medições no local, por exemplo umidade do solo;
- c) Fazer a estratificação do solo nas suas respectivas camadas;
- d) Definir o tipo do sistema de aterramento desejado;
- e) Calcular a resistividade aparente do solo para o respectivo sistema de aterramento;
- f) Dimensionar o sistema de aterramento, levando em consideração a sensibilidade e os limites de segurança pessoal, ou seja, da fibrilação ventricular do coração.

O sistema de aterramento quando dimensionado corretamente resulta em alguns benefícios, tais como:

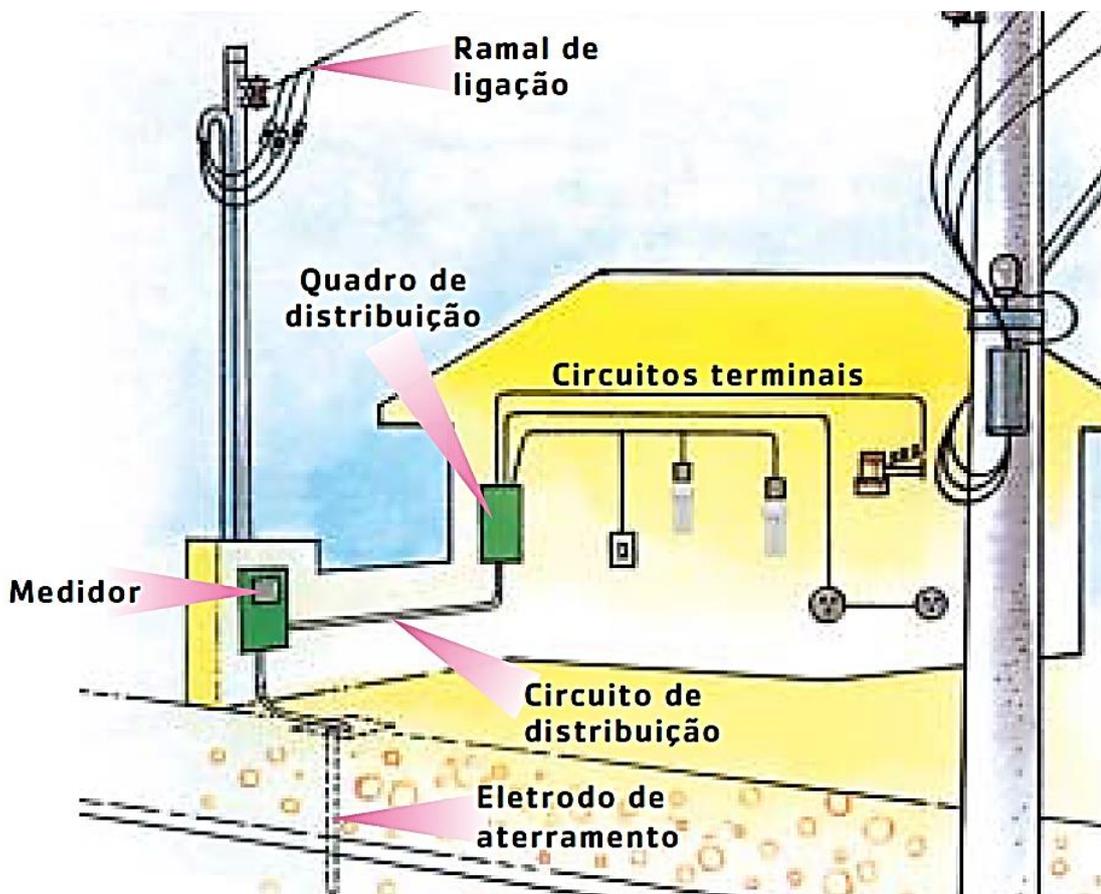
- Auxílio na proteção contra interferência eletromagnética;
- Fornecimento do ponto de referência (neutro) de transformadores trifásicos e de redes de distribuição;
- Viabilidade de um caminho seguro e alternativo das descargas atmosféricas para a terra (PINHEIRO, 2013).

### 3.1 Localização do sistema de aterramento

A localização do sistema de aterramento depende da posição estratégica ocupada pelos importantes equipamentos elétricos do sistema elétrico em questão.

Em redes de baixa tensão, o aterramento é localizado abaixo do medidor de energia ou 0.50 metros dele. Como mostra a Figura 11.

**Figura 11 - Localização do aterramento entre a rede de Baixa tensão e o medidor de energia.**



Fonte: PINHEIRO (2013)

Um dado importante na elaboração do projeto de aterramento, é ter conhecimento das características do solo, principalmente da resistividade elétrica.

### 3.2 Resistividade do Solo

A resistividade do solo dependerá do tamanho do sistema de aterramento projetado. A dispersão de correntes elétricas atinge camadas profundas com o aumento da área envolvida pelo aterramento (SILVA, 2012).

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) vários fatores influenciam na resistividade do solo. Entre eles:

- Tipo de solo;
- Teor de umidade;
- Mistura de diversos tipos de solo;
- Solos constituídos com camadas estratificadas com profundidades e materiais diferentes;
- Temperatura;
- Compactação e pressão;
- Composição química dos sais dissolvidos na água;
- Concentração de sais dissolvidos na água retida.

As diversas combinações citadas acima podem resultar em solos com características diferentes, e conseqüentemente com valores de resistividade distintos. Desde modo, solos aparentemente iguais tem resistividades diferentes.

A Tabela 2 demonstra a variação para solos de naturezas distintas.

**Tabela 2 – Tipo de solo e Respectiva Resistividade**

<b>TIPO DE SOLO</b>	<b>RESISTIVIDADE (<math>\Omega \cdot m</math>)</b>
<b>Lama</b>	<b>5 a 100</b>
<b>Terra de jardim com 50% de umidade</b>	<b>140</b>
<b>Terra de jardim com 20% de umidade</b>	<b>480</b>
<b>Argila seca</b>	<b>1500 a 5000</b>
<b>Argila com 40% de umidade</b>	<b>80</b>
<b>Argila com 20% de umidade</b>	<b>330</b>

<b>Areia molhada</b>	<b>1300</b>
<b>Areia seca</b>	<b>3000 a 8000</b>
<b>Calcário compacto</b>	<b>1000 a 5000</b>
<b>Granito</b>	<b>1500 a 10000</b>

Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Os valores da resistividade são feitos através de medições em campo com instrumentos do tipo terrômetro.

**Figura 12 - Terrômetro Minipa MTR-1530**



Fonte: MINIPA (2018)

### 3.3 Influência da Umidade

A umidade presente no solo faz com que sua resistividade sofra alterações. Isso acontece devido aos sais presentes no solo, em um solo mais úmido os sais se dissolvem, formando assim

um meio eletrolítico o qual favorece a passagem da corrente iônica. Assim, solos do mesmo tipo, porém com concentrações diferentes de umidade, apresentam variações em suas resistividades.

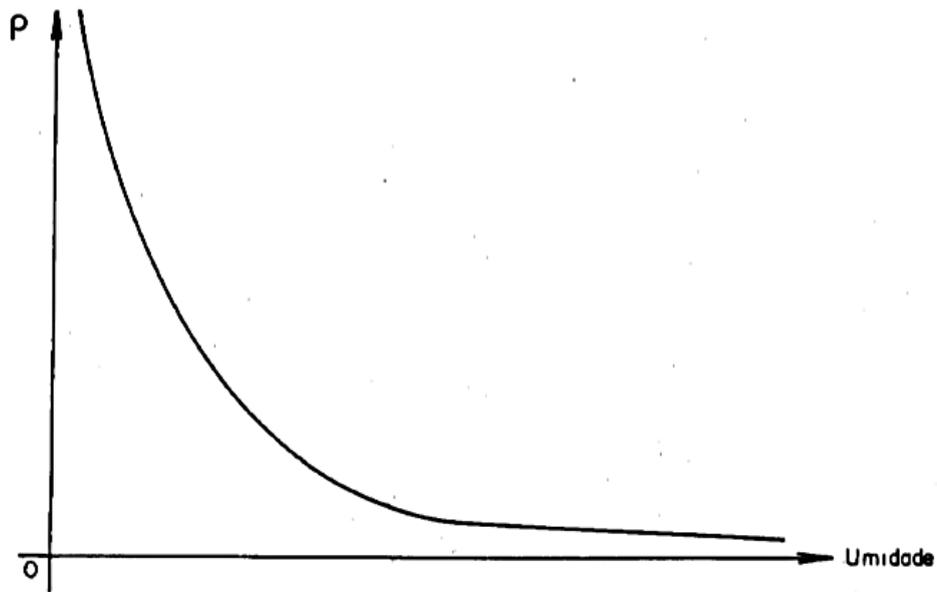
Como a resistividade do solo varia de acordo com sua umidade, pode-se concluir que a resistividade acompanha os períodos de chuva e seca das regiões. Os aterramentos melhoram a sua qualidade com solo úmido, e pioram no período de seca. (SILVA, 2012).

**Tabela 3** – Resistividade de um Solo Arenoso com variação na umidade

<b>Índice de Umidade</b> <b>(% por peso)</b>	<b>Resistividade (<math>\Omega\text{m}</math>)</b> <b>(Solo arenoso)</b>
0,0	10.000.000
2,5	1.500
5,0	430
10,0	185
15,0	105
20,0	63
30,0	42

**Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)**

A Figura 13 pode demonstrar melhor em forma de gráfico o conceito  $\rho$  (Resistividade) x Umidade.

**Figura 13** -  $\rho$  (Resistividade) x Umidade Percentual Solo Arenoso

Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

### 3.4 Influência da Temperatura

Para um solo arenoso, o qual suas características se mantem, porém somente a temperatura se altera, sua resistividade comporta-se de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 4** – Variação da resistividade com a Temperatura

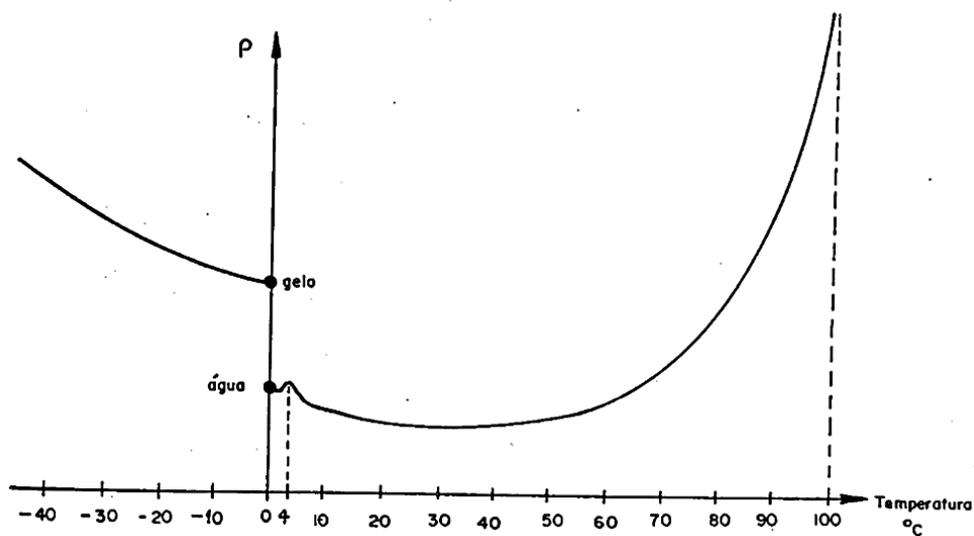
Temperatura (°C)	Resistividade ( $\Omega\text{m}$ ) (solo arenoso)
20	72
10	99
0 (água)	138
0 (gelo)	300
-5	790
-15	3.300

Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Com um maior decréscimo na temperatura, o solo se torna mais seco, pelo fato de haver uma concentração no estado molecular, aumentando assim sua resistividade.

Kindermann; Campagnolo (1995) diz que o mesmo caso acontece com temperaturas elevadas, próximas de 100°C, o estado da vaporização deixa o solo mais seco, com a formação de bolhas internas, dificultando a condução da corrente, conseqüentemente, elevando o valor da sua resistividade. Podemos notar essa variação expressa no gráfico da Figura 14.

**Figura 14 - Resistividade X Temperatura**



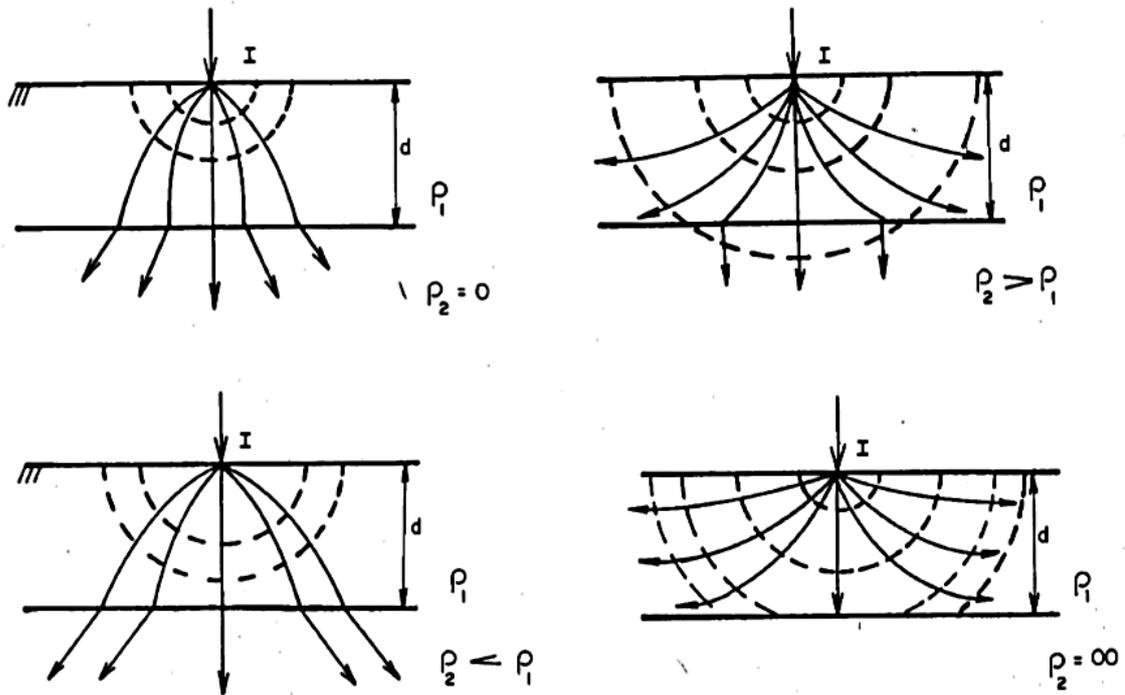
Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

### 3.5 A Influência da Estratificação

Os solos, em sua maioria, não são homogêneos, mas formados por diversas camadas de resistividades e profundidades diferentes. Essas camadas, devido suas formações geológicas, são em geral paralelas e horizontais à superfície do solo.

A estratificação do solo é feita geralmente em camadas horizontais, na maior parte das vezes em duas. Assim podemos saber o comportamento dos fluxos de dispersão das correntes em um solo heterogêneo em torno do aterramento (SILVA, 2012).

**Figura 15 - Estratificação do solo em duas camadas**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) as linhas pontilhadas são as superfícies equipotenciais, já as linhas cheias são as correntes elétricas fluindo no solo.

### 3.6 Métodos de Medição

O solo apresenta resistividade que depende do tamanho do sistema de aterramento projetado. A dispersão das correntes elétricas atinge camadas profundas com o aumento da área envolvida pelo aterramento.

O levantamento dos dados da resistividade do solo, são feitos através de medições em campo. O método mais conhecido e utilizado é o Método de Wenner (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

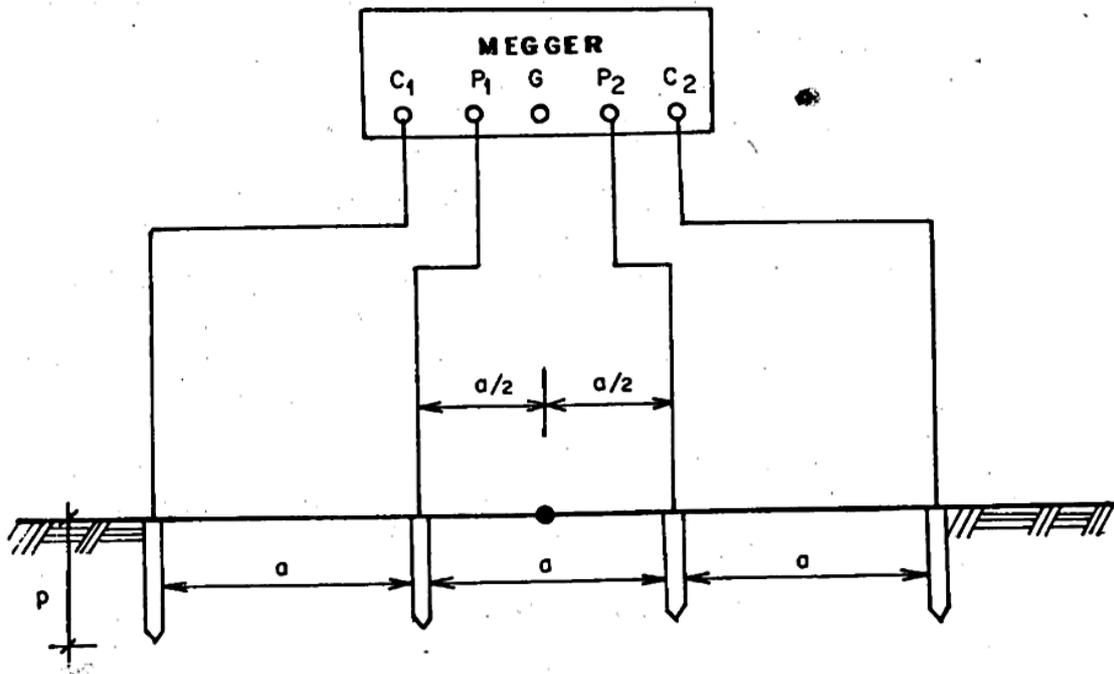
#### 3.6.1 Método de Wenner

Pinheiro (2013) afirma que o método utiliza um Megger, instrumento para medição de resistência, que possui quatro terminais, dois de corrente e dois de potencial. O método consiste

em colocar quatro eletrodos de teste em linha separados por uma distância  $d$  e enterrados no solo com uma mesma profundidade.

O aparelho através de uma fonte interna, faz circular uma corrente elétrica  $I$ , entre as duas hastes externas que estão conectados aos terminais de corrente  $C_1$  e  $C_2$ .

Figura 16 - Método de Wenner



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

onde:

- **R**: Leitura da resistência em  $\Omega$  no Megger, para uma profundidade “a”;
- **a**: Espaçamento das hastes cravadas no solo;
- **p**: Profundidade da haste cravada no solo.

As hastes internas são ligadas nos terminais  $P_1$  e  $P_2$ . Sendo assim o aparelho processa internamente e indica o valor da resistência elétrica. Para termos efeito do Método de Wenner, considera-se que o valor da resistência elétrica medida no aparelho é relativa a uma profundidade “a” do solo (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

Conforme Pinheiro (2013) após as medições terem sido concluídas, utiliza-se a fórmula de Palmer, para se achar a resistividade do solo ( $\rho$ ).

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}} \quad [\Omega \cdot m]$$

(Equação 2)

Quando se tem um afastamento relativamente grande entre as hastes, isto é,  $a > 20p$  e um *diâmetro de haste*  $\leq 0,1a$  a fórmula de Palmer se reduz a:

$$\rho = 2\pi a R \quad [\Omega \cdot m]$$

(Equação 3)

### 3.7 Cuidados na Medição

Durante a medição devem ser tomados alguns cuidados entre eles:

- As hastes devem estar alinhadas e igualmente espaçadas;
- O aparelho de medição deve estar posicionado simetricamente entre as hastes;
- As hastes devem ser cravadas a uma mesma profundidade, geralmente entre 20 e 30 centímetros;
- As hastes devem estar limpas, sem oxidação, gordura para ter um melhor contato com o solo;
- A condição do solo (úmido, seco, etc) deve ser anotada durante a medição;
- Não devem ser realizadas medições mediante a condições atmosféricas desfavoráveis, como por exemplo chuva ou raios;
- De acordo com a direção das hastes deve se utilizar espaçamento com os seguintes valores em metros, 1,2,4,6,8,16 e 32 (SILVA, 2012).

### 3.8 Dimensionamento dos Principais Sistemas de Aterramento

Neste t3pico, ser3o apresentados, os sistemas de aterramento mais simples utilizados com geometria e configura33es executadas por hastes, an3is e cabos enterrados no solo.

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) o escoamento da corrente el3trica derivada ou absorvida pelo sistema de aterramento, se d3 atrav3s de uma resistividade aparente que o solo apresenta para este aterramento em especial.

Portanto, ser3o analisados, os sistemas de aterramento em rela33o a uma resistividade aparente.

#### 3.8.1 Dimensionamento de um sistema de aterramento com uma haste vertical

Uma haste cravada verticalmente em um solo homog3neo, de acordo com a Figura 17, tem uma resist3ncia el3trica a qual podemos determinar pela F3rmula 4:

$$R_{1\text{ haste}} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right) [\Omega \cdot \text{m}]$$

(Equa33o 4)

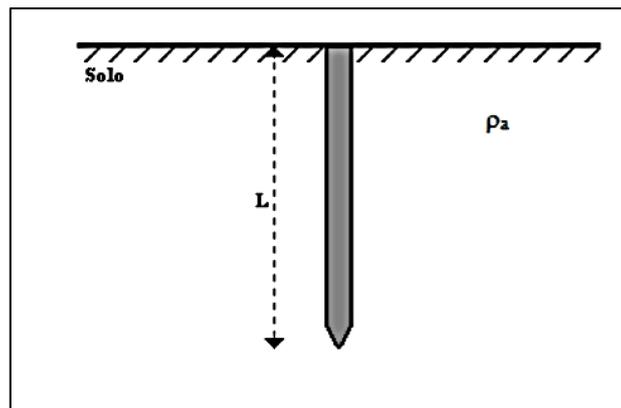
onde:

$\rho_a$  = resistividade aparente do solo em  $[\Omega \cdot \text{m}]$ ;

$L$  = comprimento da haste;

$d$  = di3metro do c3rculo equivalente 3 3rea da sec33o transversal a haste  $[\text{m}]$ .

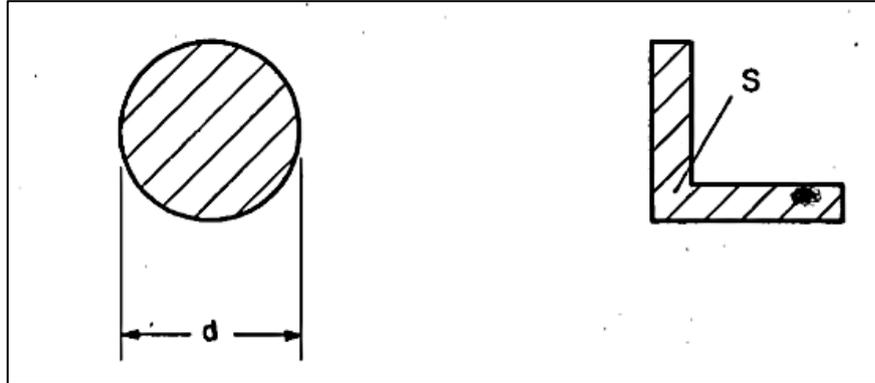
**Figura 17** - Haste cravada verticalmente no solo



Fonte: PINHEIRO (2013)

A Figura 18 exemplifica a secção transversal.

**Figura 18** - Secção Transversal da Haste Circular e em Cantoneira



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

No caso de uma haste do tipo cantoneira, é efetuado o cálculo da área da sua secção transversal e igualar a área de um círculo.

$$S_{cantoneira} = S_{circulo} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{(Equação 5)}$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{S_{cantoneira}}{\pi}} \quad \text{(Equação 6)}$$

onde:

d = diâmetro do círculo equivalente à área da secção transversal da cantoneira (KINDERMANN; CAMPAGNOLO; 1995).

- Resistência equivalente de hastes paralelas

Como ocorre uma interferência entre as hastes devemos levar em conta esse acréscimo da resistência, para o cálculo da resistência equivalente de hastes paralelas. A Equação 7 apresenta a resistência elétrica que cada haste tem inserida no conjunto.

$$R_h = R_{hh} + \sum_{m=1, m \neq h}^n R_{hm}$$

(Equação 7)

onde temos:

$R_h$  = Resistência apresentada pela haste “h”, inserida no conjunto considerando as interferências das outras hastes;

$n$  = Número de hastes paralelas;

$R_{hh}$  = Resistência individual de cada haste sem a presença de outras hastes;

$R_{hm}$  = Acréscimo de resistência na haste “h”, devido à interferência mútua da haste “m”, dada pela fórmula:

$$R_{hm} = \frac{p_a}{4\pi L} \ln \left[ \frac{(b_{hm} + L)^2 - e_{hm}^2}{e_{hm}^2 - (b_{hm} - L)^2} \right]$$

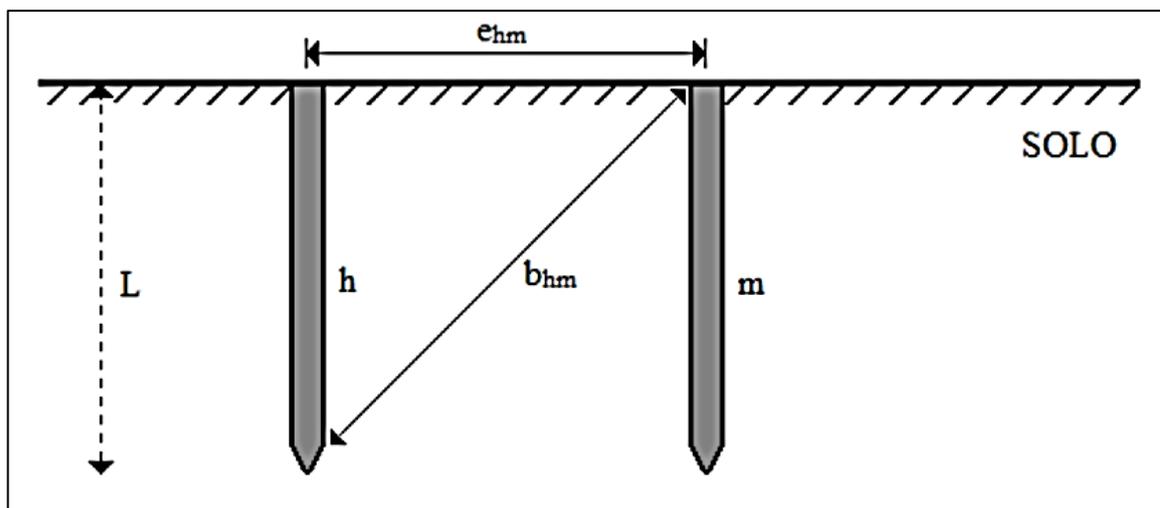
(Equação 8)

$$b_{hm} = \sqrt{L^2 + e_{hm}^2}$$

(Equação 9)

Sendo:  $e_{hm}$ , o espaçamento entre as hastes “h” e a haste “m” em metros, e  $L$  o comprimento da haste.

**Figura 19** - Parâmetros das interferências entre as hastes "h" e "m"



Fonte: PINHEIRO (2013)

Após determinadas as resistências de cada haste dentro do conjunto, considerando já os acréscimos ocasionados pelas interferências, a resistência equivalente das hastes interligadas será a resultante do paralelismo destas (PINHEIRO, 2013).

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

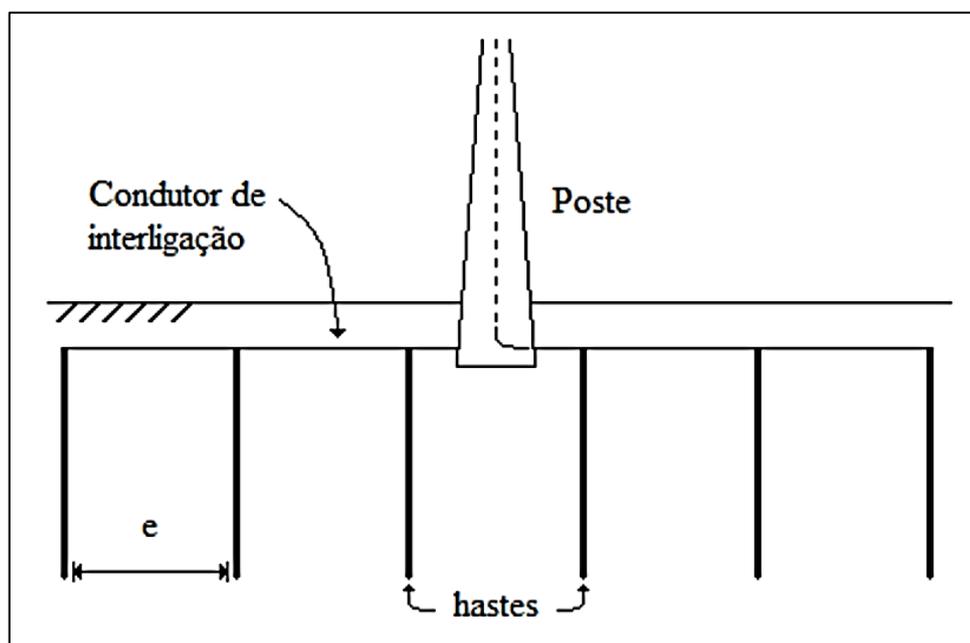
(Equação 10)

Para facilitar a padronização na empresa, quanto os cálculos da resistência equivalente do conjunto se utilizam hastes iguais em um sistema de aterramento.

### 3.8.2 Dimensionamento de um sistema de aterramento formado por hastes alinhadas em paralelo

O dimensionamento de um sistema onde as hastes ficam alinhadas em paralelo, é um sistema simples, porém eficiente, é bastante empregado em sistemas de distribuição de energia elétrica e também no aterramento de equipamentos isolados. Quando falamos na área urbana, este aterramento é feito ao longo do meio fio da calçada, algo econômico e que não prejudica o trânsito.

**Figura 20** - Hastes alinhadas em paralelo



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Para calcular a resistência equivalente do montante é preciso levar em consideração a interferência de cada haste, duas a duas.

Em um sistema de três hastes podemos calcular:

$$R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13}$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} + R_{23}$$

$$R_3 = R_{31} + R_{32} + R_{33}$$

(Equação 11)

Caso as hastes tiverem o mesmo formato então;

$$R_{11} = R_{22} = R_{33} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$$

(Equação 12)

Já as resistências mútuas de acréscimo são obtidas usando as duas fórmulas abaixo:

$$R_{12} = R_{21} = R_{23} = R_{32} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left[\frac{(b_{12} + L)^2 - e_{12}^2}{e_{12}^2 - (b_{12} - L)^2}\right]$$

(Equação 13)

$$R_{13} = R_{31} = \frac{\rho_a}{2\pi L} \ln\left[\frac{(b_{13} + L)^2 - e_{13}^2}{e_{13}^2 - (b_{13} - L)^2}\right]$$

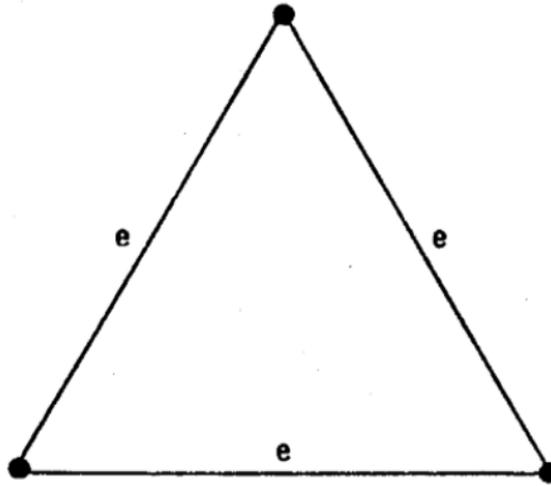
(Equação 14)

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

(Equação 15)

### 3.8.3 Dimensionamento de um sistema com hastes em triângulo

Nesse sistema, temos as hastes cravadas nos vértices de um triângulo equilátero.

**Figura 21 - Triângulo equilátero**

Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Todo dimensionamento do sistema em triângulo, se baseia na definição do índice de redução (K).

$$R_{eq\Delta} = K R_{1haste}$$

(Equação 16)

onde:

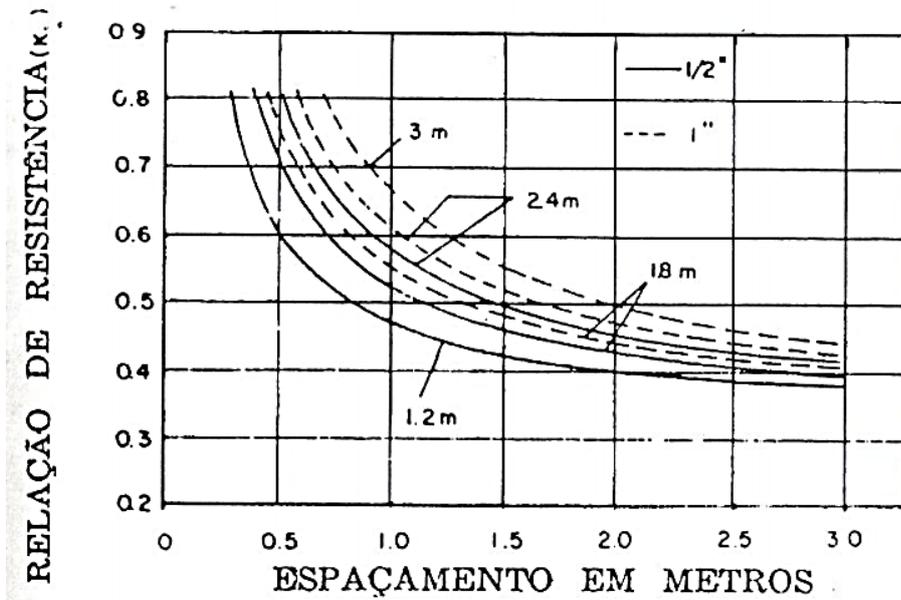
$R_{1haste}$  = Resistência elétrica de uma haste cravada isoladamente no solo;

K = Índice de redução do sistema de aterramento;

$R_{eq\Delta}$  = resistência equivalente apresentada pelo sistema de aterramento em triângulo com lado "e".

Os índices de redução "K" são obtidos diretamente das curvas da Figura 22:

**Figura 22 - Curvas dos K x e**



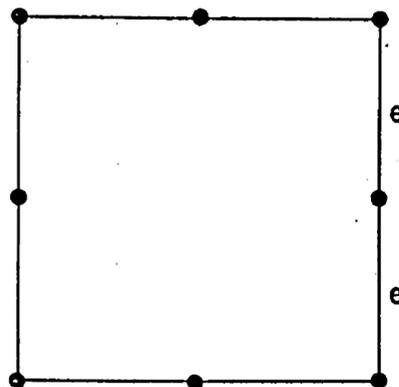
Fonte: SOUZA NETO; AMARAL; GOMES (2008)

As curvas são para hastes de  $1/2''$  e  $1''$ , com tamanhos de 1,2; 1,8; 2,4; e 3 metros (KINDERMANN; CAMPAGNOLO; 1995).

#### 3.8.4 Dimensionamento de um sistema com hastes em quadrado vazio

A Figura 23 mostra, o sistema com o formato de quadrado vazio, onde as hastes são colocadas na periferia a uma distância “e” das hastes adjacentes.

**Figura 23 - Quadrado Vazio**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

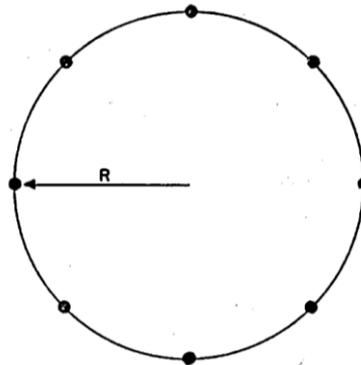
Segundo Pinheiro (2013) a resistência equivalente do sistema é dada pela expressão “ $R_{eq\Delta} = K R_{1haste}$ ”, com o índice de redução (K).

### 3.8.5 Dimensionamento de um sistema com hastes em circunferência

Neste sistema a dispersão das hastes estão igualmente espaçadas ao longo da circunferência com raio **R**, Figura 24.

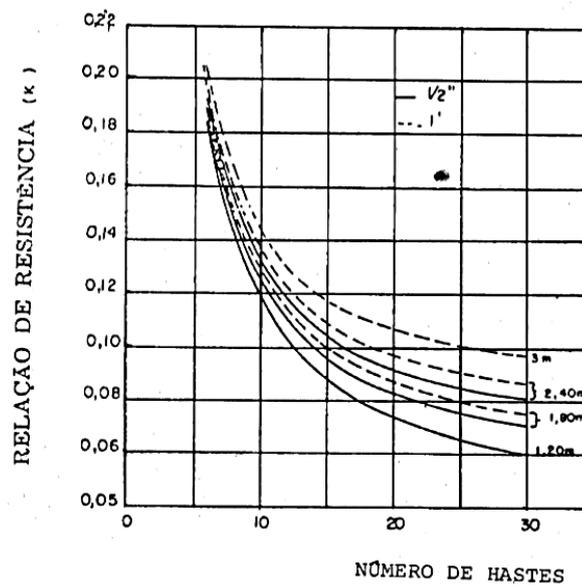
Seus respectivos índices de redução são obtidos na Figura 25 segundo KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995).

**Figura 24 - Hastes em circunferência**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

**Figura 25 - Hastes em circunferência com nove metros de raio**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

### 3.9 Malha de Aterramento

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) pode se dizer que dimensionar uma malha de terra é verificar se os potenciais que surgem na superfície, isto quando ocorre o máximo defeito a terra, são inferiores aos máximos potenciais de passo e toque que uma pessoa pode suportar sem que ocorra a fibrilação ventricular. Além disso, deve ser dimensionado o condutor de malha, de modo a suportar esforços mecânicos e térmicos os quais estarão sujeitos ao longo de sua vida útil.

Pinheiro (2013) aponta que dimensionar uma malha de terra é um processo iterativo. Parte-se de uma malha inicial onde são verificados se os potenciais estão dentro dos limites suportáveis pelo ser humano. Se isso não ocorrer, deve ser realizado as devidas alterações no projeto inicial até satisfazer as condições exigidas.

#### 3.9.1 Elementos de uma malha de aterramento

Temos como principais elementos que integram uma malha de aterramento:

##### a) Eletrodos de aterramento ou de terra

O eletrodo de aterramento pode ser constituído por um único elemento ou por um conjunto de elementos. Ou seja, desde uma simples haste enterrada, como várias hastes enterradas e interligadas de tipos e configurações diferentes.

Estes eletrodos podem ser formados dos seguintes elementos:

- Aço galvanizado: Após um período de tempo, o eletrodo sofre corrosão, aumentando, aumentando a resistência de contato com o solo como consequência.
- Aço cobreado: Por ter uma camada de cobre envolvendo o vergalhão de aço, o eletrodo adquire uma elevada resistência à corrosão, mantendo assim suas características originais por um bom tempo (PINHEIRO, 2013).

**Tabela 5 - Eletrodos de aterramento convencionais**

Tipo de eletrodo	Dimensões mínimas	Observações
Tubo de aço zincado	2,40m de comprimento e diâmetro nominal de 25mm	Enterrado totalmente vertical
Perfil de aço zincado	Cantoneira de 20mm x 20mm 3mm com 2,40m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de aço zincado	Diâmetro de 15mm com 2,00m ou 2,40m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de aço revestida de cobre	Diâmetro de 15mm com 2,00m ou 2,40m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Haste de cobre	Diâmetro de 15mm com 2,00m ou 2,40m de comprimento	Enterrado totalmente vertical
Fita de cobre	25mm <sup>2</sup> de seção, 2mm de espessura e 10m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 metros. Largura na posição vertical
Fita de aço galvanizado	100mm <sup>2</sup> de seção, 3mm de espessura e 10m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 metros. Largura na posição vertical
Cabo de cobre	25mm <sup>2</sup> de seção e 10m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 metros. Largura na posição horizontal
Cabo de aço zincado	95mm <sup>2</sup> de seção e 10m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 metros. Largura na posição horizontal
Cabo de aço cobreado	50mm <sup>2</sup> de seção e 10m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 metros. Largura na posição horizontal

Fonte: PINHEIRO (2013)

**b) Condutor da malha**

A NBR 5410, exemplifica que para solos com características ácidas e também não protegidos mecanicamente, é recomendando a utilização de um condutor de cobre nu de seção maior ou inferior a  $16\text{mm}^2$ . Já para solos alcalinos a seção do condutor não pode ser inferior que  $25\text{mm}^2$ .

**c) Conexões**

São componentes metálicos utilizados para fazer a conexão entre os condutores nas emendas ou derivações

**d) Condutor de ligação**

É aquele no qual é feito a ligação das massas, como exemplo: a carcaça de um equipamento, aos terminais de aterramento. Este último será ligado a malha de terra através do condutor de aterramento.

**Figura 26** – ((a) Conector de aterramento b) Condutor de malha de aterramento c) Soldas exotérmicas



a)



b)



c)

Fonte: (PAULINO, 2010)

### 3.9.2 Itens necessários ao projeto de uma malha de terra

Para executar o projeto com sucesso de uma malha de terra, deve ser feito alguns procedimentos pré-definidos, bem como, a informação do local onde será a construção da malha.

São eles:

- Deve ser feito medições no local da construção, através do método de **Wenner**, assim obtendo a estratificação do solo;
- Resistividade superficial do solo ( $\rho_s$ ). Geralmente é utilizado brita, na superfície do solo sobre a malha, para assim contribuir com uma camada mais isolantes, e aumentando a segurança humana. Neste caso utiliza-se o valor da resistência da brita molhada ( $\rho_s = 3000 \Omega\text{m}$ ).
- Corrente de curto-circuito máxima entre fase e terra no local do aterramento ( $I_{\text{máxima}} = 3I_0$ ).
- Percentual da corrente de curto-circuito máxima que flui realmente pela malha.
- Tempo de defeito para a máxima corrente de curto-circuito fase-terra ( $t_{\text{defeito}}$ ).
- Área da malha pretendida.
- Valor máximo da resistência da terra, de modo que seja compatível com a sensibilidade de proteção (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

### 3.9.3 Dimensionamento do condutor da malha

O condutor da malha de terra, deve ser dimensionado, levando em consideração os esforços térmicos e mecânicos que ele pode suportar, também é verificado se o condutor suporta os esforços de compressão e cisalhamento. Na prática, se utiliza, no mínimo o condutor 35mm<sup>2</sup>, onde este suporta os esforços mecânicos da movimentação do solo e o peso dos veículos que transportam o material (PINHEIRO, 2013).

Para o dimensionamento térmico, é utilizado a fórmula de **Onderdonk**, porém somente válida para cabos de cobre, que considera o calor produzido pela corrente de curto-circuito totalmente restrito ao condutor (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

$$I = 226,53S_{\text{cobre}} \sqrt{\frac{1}{t_{\text{defeito}}} \ln \left( \frac{\theta_m - \theta_a}{234 + \theta_a} + 1 \right)}$$

(Equação 17)

onde:

$S_{\text{cobre}}$  = Seção do condutor de cobre da malha de terra em mm<sup>2</sup>;

$I$  = Corrente de defeito em Amperes, através do condutor;

$t_{\text{defeito}}$  = Duração do defeito em segundos;

$\theta_a$  = Temperatura ambiente em °C;

$\theta_m$  = Temperatura máxima permissível em °C.

Com isso pode-se verificar se o condutor suporta os esforços provocados pela elevação da temperatura.

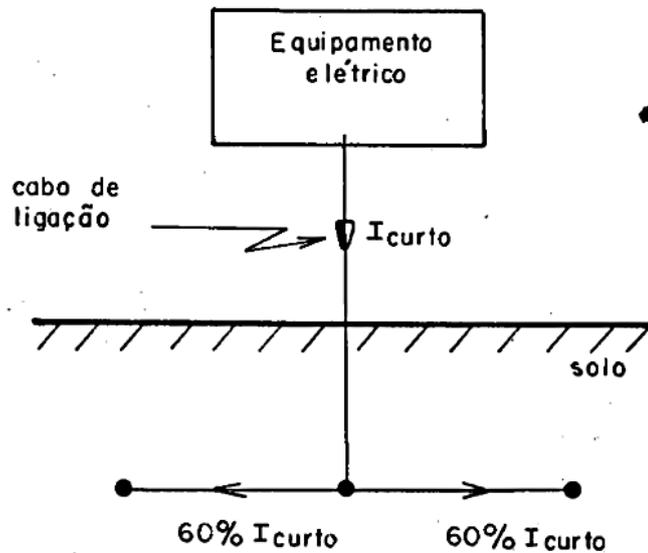
Nos condutores de cobre, o valor de  $\theta_m$  é limitado pelo tipo de conexão a ser adotado.

As conexões podem ser:

- Conexão cavilhada com juntas de bronze: é uma conexão tradicional por aperto, tem como temperatura máxima de  $\theta_m = 250^\circ\text{C}$ ;
- Solda convencional feita com eletrodo revestido, sua temperatura máxima é de  $\theta_m = 450^\circ\text{C}$ ;
- Brasagem com liga **Foscoper**, é uma união feita usando maçarico, sua temperatura máxima é de  $\theta_m = 550^\circ\text{C}$ . **Foscoper** é uma liga de cobre e fósforo, cuja união é feita por brasagem;
- Solda exotérmica, sua conexão é feita pela fusão obtida pela ignição e combustão dos ingredientes colocados num cadinho. Temperatura máxima é de  $\theta_m = 850^\circ\text{C}$  (PINHEIRO, 2013).

Para o dimensionamento do condutor de ligação ou de malha que interliga os equipamentos a malha de aterramento, deve-se considerar a corrente de defeito, como a Figura 27 ilustra.

**Figura 27 - Dimensionamento do condutor**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

a) Cabo de ligação

De acordo com a Figura 27 a corrente de defeito a ser utilizada na fórmula de **Onderdonk**, será a corrente total de curto circuito máximo.

A Tabela 6 resume o dimensionamento do condutor, especificando a secção do condutor necessária para cada ampère da corrente de defeito, em função do tempo de defeito e do tipo de emenda.

**Tabela 6 - Dimensionamento dos condutores da malha e cabo de ligação**

Capacidade do condutor de cobre em $\frac{mm^2}{kA}$			
Tempo de defeito (segundos)	Condutor 97% Cu		
	Solda exotérmica	Solda convencional	Juntas cavilhadas
0,5	2,44	3,20	4,05
1	3,45	4,51	5,78
4	6,84	9,07	11,50
30	18,74	24,83	31,52

Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

### 3.9.4 Potenciais máximos a serem verificados

No capítulo 5 será falado sobre o potencial de passo e de toque, e calculados seus potenciais máximos, que uma pessoa consegue suportar sem que ocorra a fibrilação ventricular. A malha só estará adequada se os potenciais estiverem abaixo desses limites.

$$V_{toque} \leq V_{toque \text{ máximo}} \quad (\text{Equação 18})$$

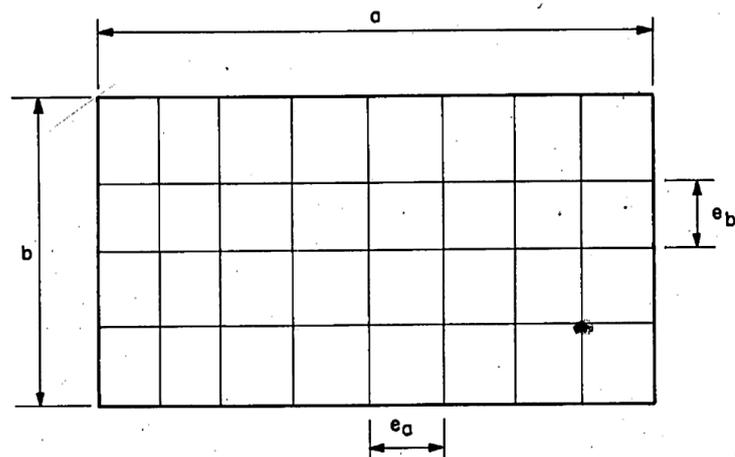
$$V_{passo} \leq V_{passo \text{ máximo}} \quad (\text{Equação 19})$$

### 3.9.5 Malha inicial

As dimensões da malha são pré-definidas, levando em conta o histórico do sistema elétrico por similaridade das malhas existentes. Deste modo, conseguimos estabelecer um projeto inicial de malha e especificar um espaçamento entre os condutores, e definimos se as hastes de aterramento serão utilizadas junto a malha. (PINHEIRO, 2013).

Segundo Kindermann; Campagnolo (1995) o espaçamento inicial adotado está entre 5% e 10% do comprimento dos respectivos lados da malha.

**Figura 28** - Projeto inicial de uma malha



Fonte: PINHEIRO (2013)

Após ter as dimensões da malha definidas, determina-se os condutores paralelos, pelas equações abaixo:

$$N_a = \frac{a}{e_a} + 1$$

(Equação 20)

$$N_b = \frac{a}{e_b} + 1$$

(Equação 21)

Escolhe-se o número inteiro, adequado ao resultado acima.

O comprimento total dos condutores que formam a malha é dado pela expressão:

$$L_{cabo} = aN_b + bN_a$$

(Equação 22)

Se durante o dimensionamento forem adicionadas hastes na malha, deve ser acrescentar seu comprimento, ao número total de condutores.

$$L_{total} = L_{cabo} + L_{hastes}$$

(Equação 23)

onde:

$L_{total}$  = comprimento total de condutores da malha;

$L_{haste}$  = comprimento total das hastes cravadas na malha.

### 3.9.6 Resistência de aterramento da malha

A resistência do aterramento da malha pode, aproximadamente ser calculada pela fórmula de **Sverak**. A qual leva em conta a profundidade (h) em que a malha é construída.

$$R_{malha} = \rho a \left[ \frac{1}{L_{total}} + \frac{1}{\sqrt{20A_{malha}}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A_{malha}}}} \right) \right]$$

(Equação 24)

onde temos:

$A_{malha} = a.b \rightarrow$  área ocupada pela malha, em m<sup>2</sup>;

$h =$  Profundidade da malha em metros, com  $0,25 \leq h \leq 2,5$ m;

$L_{total} =$  Comprimento total dos cabos e hastes que formam a malha.

Kindermann; Campagnolo (1995) complementa que está resistência da malha, representa a resistência elétrica da malha até o infinito. Este valor deve ser menor do que a máxima resistência limite da sensibilidade do relé de neutro.

### 3.9.7 Potencial de malha

Temos como o potencial de malha ( $V_{malha}$ ) o potencial de toque máximo, encontrado dentro de uma submalha da malha de terra, isto quando ocorre o máximo defeito fase-terra.

Assim, o potencial de malha máximo se encontra nos cantos da malha e pode ser calculado pela fórmula 25:

$$V_{malha} = \frac{\rho a K_m K_i I_{malha}}{K_{total}}$$

(Equação 25)

Onde  $K_m$  é definido como coeficiente de malha, que condensa a influência profundidade da malha, diâmetro do condutor e do espaçamento entre condutores. Seu valor é dado pela expressão 26.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{e^2}{16hd} + \frac{(e+2h)^2}{8ed} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2N-1)} \right\}$$

(Equação 26)

onde:

$h$  = Profundidade da malha, em metros;

$e$  = Espaçamento entre os condutores paralelos ao longo da malha, em metros;

$d$  = Diâmetro do condutor da malha;

$N = (N_a N_b)^{1/2}$ ;

$K_h$  = Correção da profundidade.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

(Equação 27)

sendo:

$h_0 = 1 \text{ m}$

Já o  $K_i$  é definido como coeficiente de irregularidade que condensa os efeitos da não uniformidade de distribuição da corrente pela malha.  $K_i$  é dado pela expressão:

$$K_i = 0,656 + 0,172N$$

(Equação 28)

### 3.10 Tratamento Químico do Solo

Segundo Capelli (2000) muitas vezes, o aumento de número de “barras” de aterramento não consegue diminuir a resistência de terra significativamente. Somente nessa situação devemos pensar em tratar quimicamente o solo.

Pinheiro (2013) diz ainda que o tratamento químico do solo visa a diminuição de sua resistividade, conseqüentemente, à diminuição da resistência de aterramento.

Tem-se vários produtos os quais podem ser colocados no solo antes ou até mesmo após a instalação da haste para diminuirmos a resistividade do solo. Dentre eles os mais utilizados são a bentonita e o gel e para termos um bom tratamento químico esses materiais devem ter as seguintes características:

- Boa capacidade de absorção de água;
- Não lixiviável;
- Não ser corrosivo;
- Não ser tóxico;
- Não causar dano a natureza;
- Baixa resistividade elétrica;
- Quimicamente estável no solo.

#### 4 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas ou SPDA, está ligado diretamente ao sistema de aterramento elétrico, por conta disso, devemos nos atentar a este sistema tão importante em nosso meio, o qual “decora” prédios e arranha-céus, sempre pensando na segurança de todos.

Creder (2007) afirma que as descargas atmosféricas podem ser diretas ou indiretas. Linhas de transmissão e edificações são estruturas que devem ser protegidas contra a incidência de raios.

Descargas atmosféricas diretas são aquelas que incidem diretamente sobre linhas de transmissão, edificações ou qualquer outra instalação que esteja exposta ao tempo. Os objetivos de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas diretas é interceptar raios e conduzi-los para a terra.

As descargas que incidem em uma região próxima a linha exercem influência no próprio comportamento, são elas as descargas indiretas ou descargas para o solo. Quando atingem o solo, essas descargas induzem tensão e corrente, no sistema provocando assim sobretensões (PINHEIRO, 2013).

São três os modelos de proteção admitidos pela normalização brasileira: Modelo Eletrogeométrico, Método de Franklin e Método de Faraday.

Abaixo temos a Tabela 7 a qual mostra a classificação da estrutura quanto ao nível de proteção.

**Tabela 7** - Exemplos de classificação de estruturas quanto ao nível de proteção

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns <sup>1</sup>	Residências	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndios e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido a perdas de	III ou IV <sup>2</sup>

		controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	
	Teatros, escolas, lojas de departamento, áreas esportivas e igrejas	Danos as instalações elétricas (p.ex., iluminação) e possibilidade de pânico Falha no sistema de alarme contra incêndio causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais e outros	Como acima, além dos efeitos indiretos com a perda de comunicações, falha dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Como para escolas, além dos 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 telecomunicações, 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, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
Estruturas pra o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas e para o meio ambiente.	I

<sup>1)</sup>ETI (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 destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.

Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV: Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.

Fonte: CREDER (2007)

#### 4.1 Modelo Eletrogeométrico

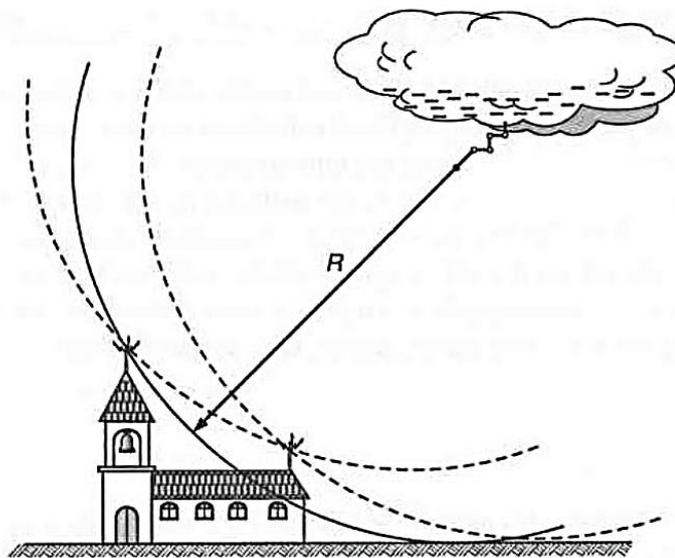
O modelo eletrogeométrico (MEG) foi embasado em um trabalho de pesquisa de um modelo sugerido por Preece a mais de 100 anos atrás, o qual previa que o volume de proteção de um elemento captor seria definido por um cone com vértice na ponta do captor, demarcado pela rotação de um segmento de círculo tangente ao solo. Este raio projetado pelo segmento do círculo é a função do nível de proteção desejado pela instalação (CREDER, 2007).

Algumas hipóteses simplificadoras são admitidas pelo MEG na proteção de estruturas, sendo elas:

- Só são consideradas as descargas negativas iniciadas nas nuvens;
- As hastes verticais e os condutores horizontais têm o mesmo poder de atração;
- A descarga final se dá para o objeto mais próximo aterrado, independente da sua massa ou condição de aterramento.

A Figura 29 demonstra a aplicação do MEG utilizada em uma igreja, onde podemos ver um para-raios no topo protegendo somente uma parte da igreja, sendo necessário mais um para-raios para complementar a proteção.

**Figura 29** - Princípio da proteção pelo modelo eletrogeométrico



Fonte: PINHEIRO (2013)

Neste modelo, calculamos a distância de atração ou o raio de atração, que é dado por  $R_a$  pela expressão:

$$R_a = a \times I_{m\acute{a}x}^b \quad (\text{Equação 29})$$

onde temos:

$I_{m\acute{a}x}$  é o valor de pico da corrente de retorno do raio;

**a** e **b** são as constantes que variam conforme propostas de vários pesquisadores.

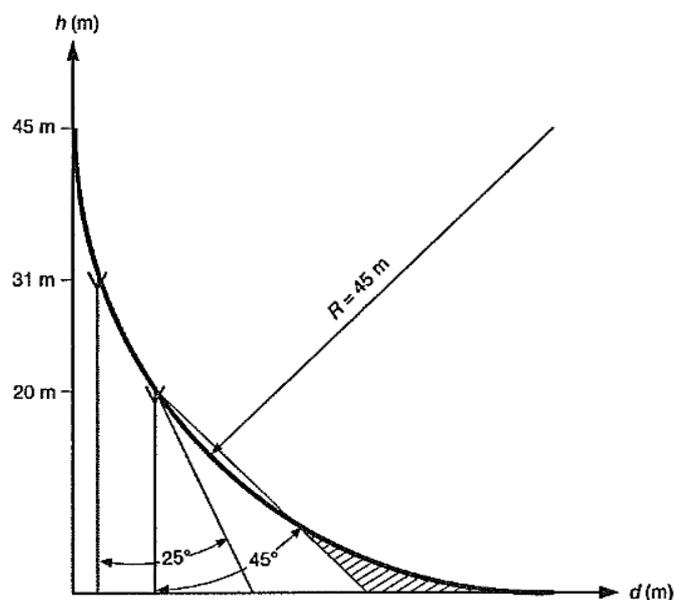
Quando aplicadas às estruturas a norma NBR 5419/2005 adota  $a=10$  e  $b=0,65$ .

#### 4.2 Método de Franklin

Menezes e Fonseca (2014) explicam que o método do tipo Franklin, é instalado uma haste vertical que proporciona um cone, cujo ângulo da geratriz varia segundo o nível de proteção o qual é desejado para tal edificação, de modo com que ela fique dentro da proteção.

Este método é aplicado em edificações não muito altas e de pouca área horizontal, pois assim é utilizado um número menor de captores, tornando o projeto mais barata e interessante. (MENEZES; FONSECA, 2014).

**Figura 30** - Variação do ângulo de proteção de acordo com o método de Franklin



Fonte: CREDER (2007)

### 4.3 Método de Faraday

Em edificações onde se tem uma área muito ampla horizontalmente, se utilizaria muitos captadores do tipo Franklin, para se obter uma boa proteção, tornando o projeto muito caro.

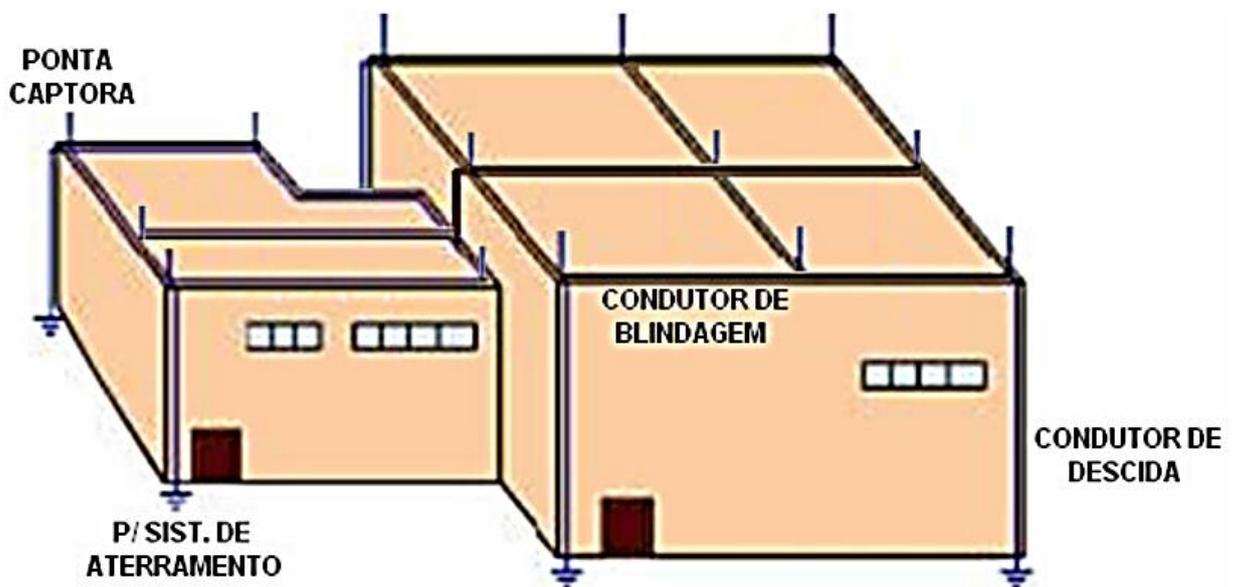
Neste caso, é implementado o método de Faraday ou gaiola de Faraday.

Esta tecnologia pode ser também chamada de “blindagem eletromagnética”. Na prática, se utiliza pequenos condutores com pontas, ligados a uma malha de cabos condutores no topo da edificação, que vão até o sistema de aterramento (PINHEIRO, 2013).

Creder (2007) diz que edificações que possuem estruturas metálicas em suas coberturas e uma boa continuidade elétrica em suas ferragens estruturais tem um bom desempenho como gaiola de Faraday.

O aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas pode ser executado também no interior da fundação de concreto armado, como através de malha de aterramento não natural (MENEZES; FONSECA, 2014).

**Figura 31** - Exemplo do tipo gaiola de Faraday



Fonte: CEFET (2012)

#### 4.4 Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)

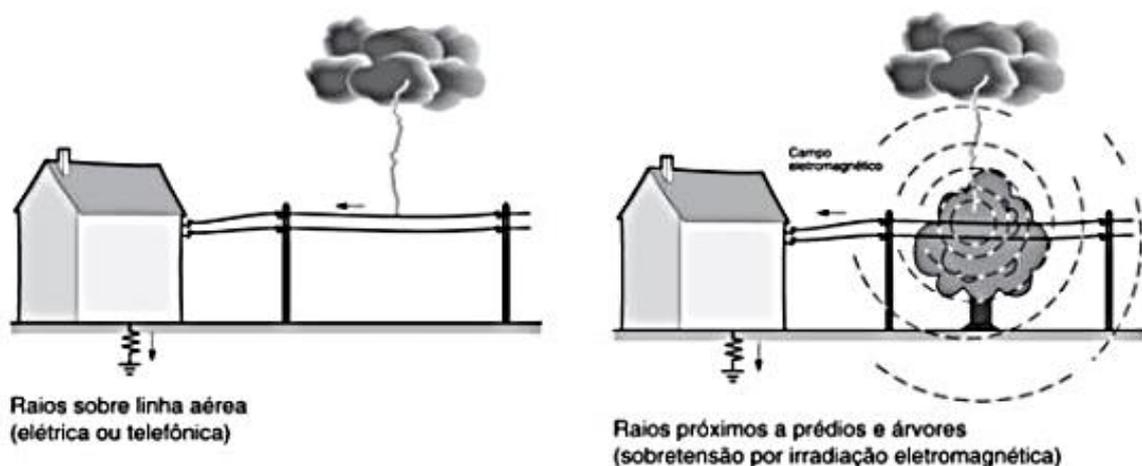
Surto elétrico é um fenômeno que pode ocasionar a queima de dispositivos elétricos e eletrônicos. Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) segundo Pinheiro (2013) devem apresentar características de forma a garantir o “grampeamento” de tensão a níveis inferiores e tempos suportáveis e manter a integridade, continuidade dos equipamentos e dispositivos da instalação. São conhecidos por limitar e eliminar as descargas atmosféricas.

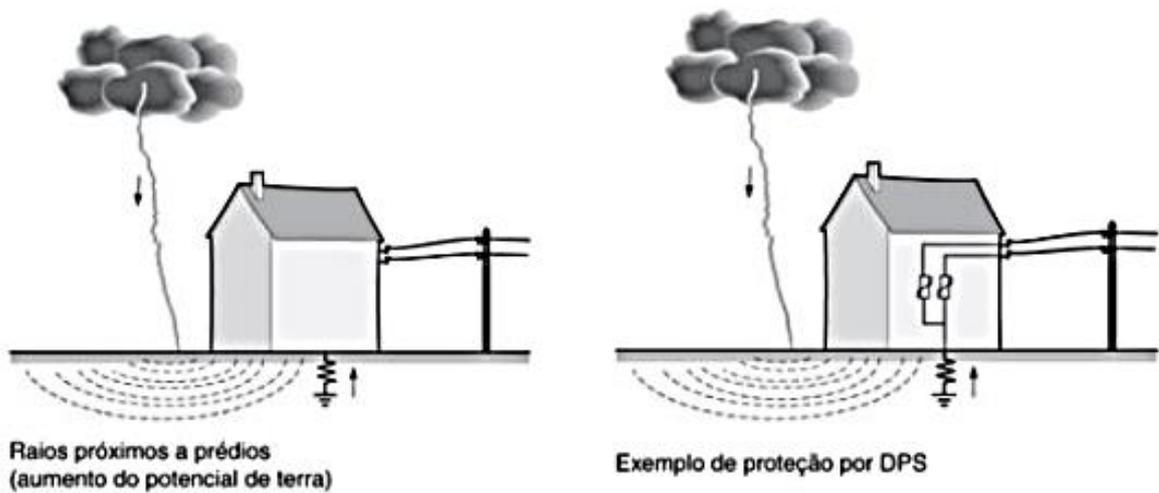
##### 4.4.1 Classes dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS)

Um DPS deve suportar as ondas de choques do raio normalizadas segundo ensaios correspondentes à sua classe, sendo ela I, II ou III, conforme a norma ABNT NBR IEC 61643-1.

- Classe I: Os dispositivos de proteção contra surtos dessa classe permitem eliminar os efeitos diretos causados pelas descargas atmosféricas.
- Classe II: Os DPS da classe II, são destinados a proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões conduzidas ou induzidas causadas pelas descargas atmosféricas.
- Classe I + II: Estes DPS, asseguram a proteção contra os efeitos diretos e indiretos causados pelas descargas atmosféricas, isso no mesmo produto.
- Classe III: Os DPS classe III são destinados à proteção fina de equipamentos situados a mais de 30 centímetros do DPS de cabeceira (FERGÜTZ, 2016).

**Figura 32** - Efeitos diretos e indiretos causados pelas descargas atmosféricas





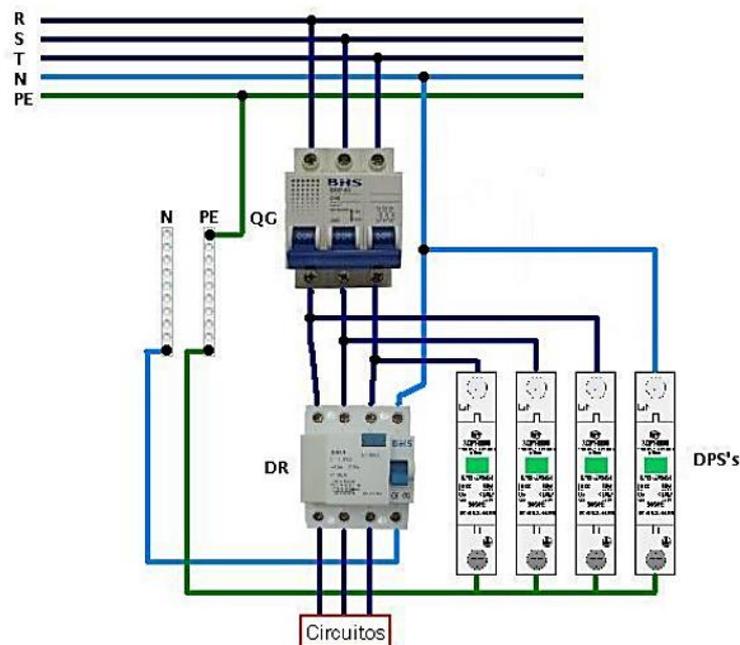
Fonte: PINHEIRO (2013)

#### 4.4.2 Localização dos DPS

Como a figura 33 ilustra, para fazer a instalação de um DPS, deve-se conectar um de seus terminais ao fio que sai do disjuntor e o outro terminal a barra de equipotencialização representando pelo condutor de proteção (PE).

De acordo com a NBR 5410/04, o DPS deverá ser instalado o mais próximo possível do ponto de entrada da edificação, ou seja, o ponto em que os cabos elétricos entram na edificação.

**Figura 33** - Esquema de ligação de um DPS em um circuito elétrico



Fonte: (FERGÜTZ, 2016)

## **5 FIBRILAÇÃO VENTRICULAR DO CORAÇÃO PELO CHOQUE ELÉTRICO**

A fibrilação ventricular é o estado de tremulação irregular das fibras musculares das paredes dos ventrículos presentes no coração, fazendo com que o sangue não seja bombeado corretamente pelo corpo.

O sistema de aterramento é projetado de modo a gerar uma distribuição nos perfis de potenciais, durante o curto-circuito com a terra, de modo que as tensões de toque e passo fiquem abaixo dos limites que provocam a fibrilação ventricular do coração.

Muitas pessoas não entendem a importância de se ter um sistema de aterramento elétrico em sua residência por exemplo, sendo que este sistema evita diversos problemas tanto residuais como pessoais, perda de equipamento como até mesmo a morte.

A fim de elucidar alguns dos prejuízos que uma falha na isolação pode causar, devido à falta de conhecimento, ou alguma aplicação equivocada de um sistema de aterramento, é importante falar sobre o choque elétrico, que afeta diretamente pessoas e animais, nas quais causam perdas imensuráveis (PINHEIRO, 2013).

### **5.1 Choque Elétrico**

O choque elétrico é um conjunto de perturbações da natureza e efeitos diversos que se manifestam no organismo humano ou animal, quando este é percorrido por uma corrente elétrica.

Os efeitos das perturbações variam e dependem:

- Do percurso que a corrente elétrica fará pelo corpo humano;
- Da intensidade da corrente elétrica;
- Do tempo de duração do choque elétrico;
- Da Tensão elétrica;
- Da espécie da corrente elétrica;
- Do estado de umidade da pele;
- Da frequência da corrente elétrica;
- E das condições orgânicas do indivíduo.

As perturbações do choque elétrico no indivíduo, se manifestam pela:

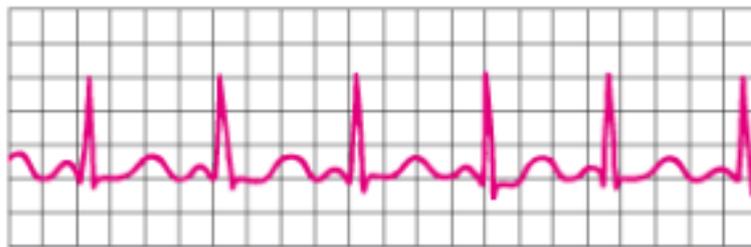
- Parada respiratória, que decorre da inibição dos centros nervosos, inclusive dos que comandam a respiração;
- Alteração no ritmo cardíaco, podendo produzir Fibrilação ventricular;
- Profundas queimaduras, produzindo a Necrose (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

## 5.2 Fibrilação Ventricular do Coração

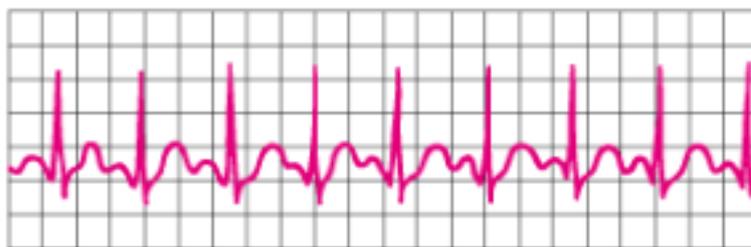
A fibrilação ventricular é uma arritmia cardíaca grave, que se caracteriza por inúmeras contrações ventriculares rápidas e inefetivas, como os ventrículos apenas “tremulam” o sangue não é bombeado corretamente, acarretando posteriormente em uma parada cardíaca fatal se não tratado imediatamente (MANUAL MSD, 2018).

Na Figura 34, podemos observar a diferenças entre batimentos cardíacos normais, acelerados, lentos e irregulares.

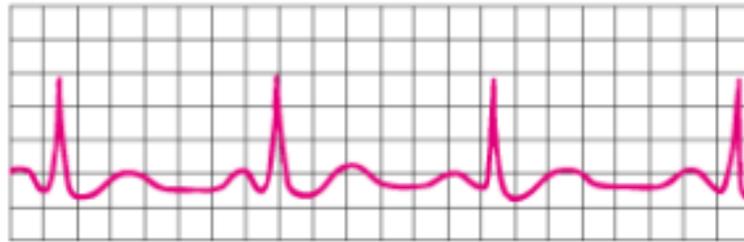
**Figura 34** - ((a) Batimento cardíaco normal; (b) Batimento cardíaco acelerado; (c) Batimento cardíaco lento; (d) Batimento cardíaco irregular)



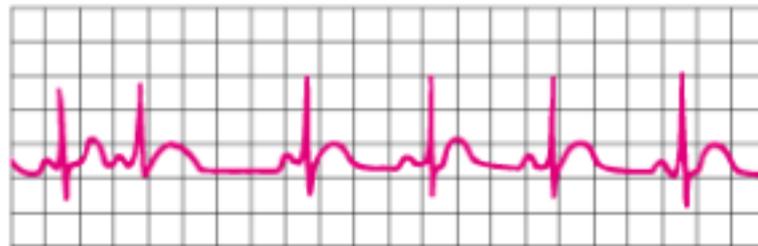
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: MITCHELL, L. Brent. Fibrilação Ventricular. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/distúrbios-do-coração-e-dos-vasos-sanguíneos/arritmias-cardíacas/fibrilação-ventricular>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

Como nosso coração é um órgão muito complexo, as paredes do ventrículo são formadas por tecidos diferentes superpostos de maneira estratificada.

**Figura 35 - Parede do coração**



Fonte: KINDERMANN; CAMPAGNOLO (1995)

Isto significa que cada camada possui uma espessura e densidade diferentes, além disso cada camada tem sua própria frequência mecânica natural de ressonância.

Quando a corrente elétrica percorre estas camadas, produz vibrações distintas, quebrando a eficiência da repolarização. Isto gera uma despolarização caótica nas fibras

musculares que compõem as paredes do ventrículo. Como consequência essas fibras não obedecem e não respondem mais com sincronia aos sinais emitidos pelo NSA (Nódulo Sino Atrial). Como o sangue não circula mais pelo corpo, a fibrilação é irreversível espontaneamente, caso nenhuma providência seja a pessoa em poucos minutos poderá vir a óbito (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

### 5.3 Influência do Valor da Corrente Elétrica

A Tabela 8 exemplifica os efeitos das correntes elétricas alternadas entre 50 e 60Hz no corpo humano, sem levar em conta o tempo de duração do choque elétrico.

**Tabela 8 - Efeitos da corrente elétrica no corpo humano**

I(mA)		Reação Fisiológica	Consequência	Salvamento
CA	CC			
Até 25	Até 80	1mA (CA): limiar de sensação; (formigamento)	Se a corrente for próxima de 25mA (CA), poderá haver problemas respiratórios e consequentemente a morte aparente	Respiração artificial
		5 - 15 mA (CA): contração muscular		
		15 - 25 mA (CA): - Contrações violentas, impossibilidade de soltar o fio energizado, - Problemas respiratórios		
25-80	80-300	- Sensação insuportável - Contrações violentas - Asfixia	Morte aparente	Respiração artificial
>80	>300	- Asfixia imediata - Fibrilação ventricular	Morte aparente	Respiração artificial

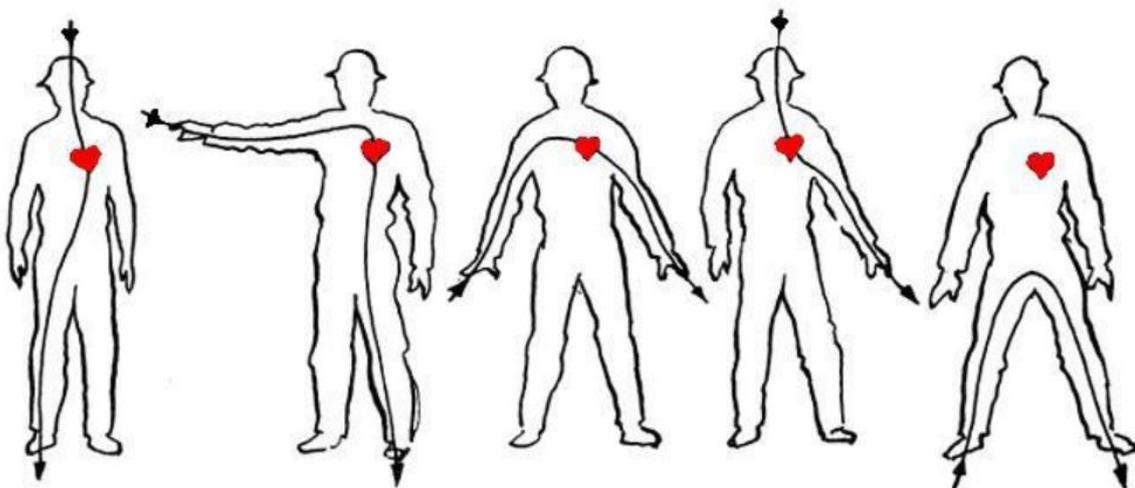
		-Alterações musculares (químicas) - Queimaduras		Massagem cardíaca
Ordem de ampères		- Queimaduras - Necrose do tecido - Fibrilação ventricular - Asfixia imediata - Danos posteriores provenientes da eletrólise	Morte aparente  Dependendo da extensão das queimaduras, sequelas ou morte	Respiração artificial  Massagem cardíaca  Tratamento hospitalar

Fonte: PINHEIRO (2013).

#### 5.4 Corrente tolerável pelo Ser Humano

A corrente elétrica através do corpo humano tem seus efeitos relacionados com o tempo de duração, a frequência e a magnitude adjuntos a esta corrente. Os caminhos que incluem o coração em caso de um choque elétrico podem ser fatais, nesse caso a corrente máxima admissível pelo ser humano é aquela que não provoque o início de uma fibrilação ventricular ou de uma parada cardíaca (TELLÓ et al., 2007).

**Figura 36 -** Possíveis percursos da corrente elétrica no corpo humano



Fonte: PINHEIRO (2013).

Avaliando o efeito das correntes elétricas, especificamente nas frequências entre 50 e 60 Hz, sabemos que o Ser Humano é vulnerável. De acordo com estudos realizados por Dalziel (1972), 99,5% das pessoas conseguem tolerar a passagem da corrente elétrica, sem ter fibrilação ventricular, para correntes elétricas com magnitude e duração dadas pela expressão:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

(Equação 30)

onde:

$I_b$  = Valor eficaz da corrente elétrica através do corpo humano;

$T_s$  = Tempo de passagem da corrente elétrica através do corpo humano, em segundos, sendo que  $t_s \leq 3,0s$ ;

$k$  = Constante empírica, relacionada a massa do ser humano tal que:

$$k = 0,116 [As^{\frac{1}{2}}] \text{ para pessoas com massa de } 50 \text{ kg}$$

$$k = 0,157 [As^{\frac{1}{2}}] \text{ para pessoas com massa de } 70 \text{ kg}$$

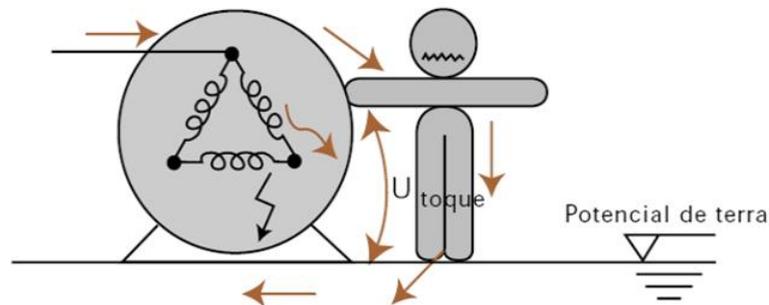
A expressão (30) fornece valores de corrente elétrica aceitável pela maioria dos seres humanos de 116 mA para 1 segundo, 367 mA para 0,1 segundos. É importante citar ainda que a expressão (30) não é decorrente de descargas atmosféricas (TELLÓ et al., 2007).

Para pessoas com problemas cardíacos os valores de correntes suportáveis encontrados na equação 30) podem ser inferiores.

## 5.5 Potencial de Toque

É a diferença de potencial entre o ponto da estrutura metálica, situado ao alcance da mão de uma pessoa, e um ponto no chão situado a 1 metro da base da estrutura.

**Figura 37 - Potencial de Toque**



**Fonte:** RICARDO PANTOJA. **Riscos em Instalações e Serviços com Eletricidade / Norma**

**Regulamentadora NR-10 / LOTO.** 2010. Disponível em:

<<http://www.pantojaindustrial.com/exibir.php?id=87>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

O potencial de toque máximo gerado por um aterramento durante o período de defeito, não deve produzir uma corrente de choque superior a limitada por Dalziel, para não acontecer a fibrilação ventricular (SILVA, 2012), apresentada na fórmula a seguir:

$$V_{\text{máximo}} = (1000 + 1,5\rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{ts}}$$

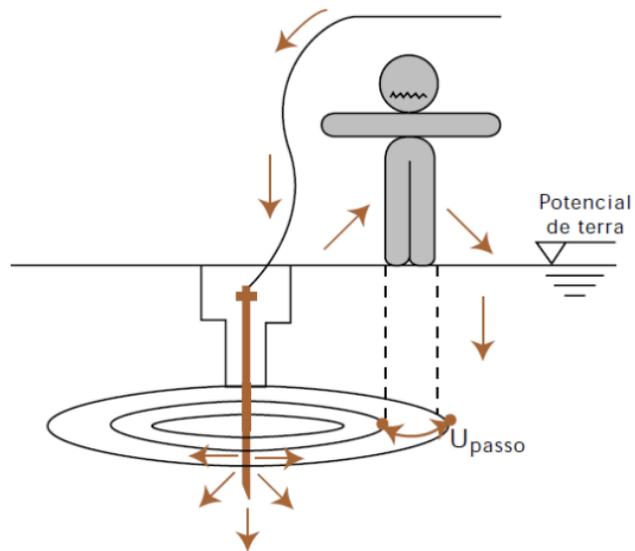
(Equação 31)

Sendo:  $\rho_s$  → resistividade superficial do solo, ou da primeira camada do solo.

## 5.6 Potencial de Passo

Potencial de passo é a diferença de potencial entre os dois pés.

As tensões de passo ocorrem devido, as diferenças de potenciais que aparecem entre membros de apoio (pés). Isso ocorre quando os pés estão posicionados sobre linhas equipotenciais diferentes. Essas linhas surgem na superfície do solo quando do escoamento da corrente de curto-circuito. Se durante a falha os dois pés estiverem sobre a mesma linha equipotencial ou, se um único pé estiver sendo usado como apoio, não haverá tensão de passo (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

**Figura 38 - Potencial de Passo**

Fonte: Pinheiro (2013)

De acordo com Kindermann; Campagnolo (1995), o potencial de passo máximo tolerável é limitado pela máxima corrente permissível pelo corpo humano que não causa fibrilação ventricular. Tendo assim

$$V_{\text{passo máximo}} = \frac{116 + 0,696\rho s}{\sqrt{ts}}$$

(Equação 32)

## 6 ESTUDO DE CASO

### 6.1 Projeto de um Sistema de Aterramento de uma Residência

Analisando uma casa de aproximadamente 250 m<sup>2</sup>, localizada na cidade de Lages / SC, composta por dois quartos, uma sala, cozinha, banheiro, e também um quintal, onde a energia elétrica fornecida pela concessionária é em corrente alternada, na frequência de 60 Hz (Hertz) com tensão nominal de 220 Volts entre fases.

A casa possui os seguintes aparelhos elétricos e suas respectivas potências aparentes, conforme a Tabela 9.

**Tabela 9** - Potência aparente dos equipamentos elétricos

Aparelho	Quantidade do aparelho	Potência (VA)
Video-game	1	10
Batedeira	1	200
Cafeteira elétrica	1	600
Chuveiro	1	4500
Ferro elétrico	1	1000
Tv de 32 polegadas	2	200
Tv de 42 polegadas	1	100
Ar condicionado (7500BTU/h)	2	4400
Notebook	2	500
Forno micro-ondas	1	1300
Geladeira	1	200
Máquina de lavar roupa	1	1000

Fonte: Autor (2018)

## 6.2 Planejamento Construtivo

Como explicado no capítulo 3, antes de começar qualquer projeto de aterramento elétrico é necessário saber as especificações do solo em que a casa será construída, como exemplo se este solo é úmido, pois solos com estas condições tendem a ser melhores para o aterramento, caso o local tenha um solo com aspecto rochoso e seco, é necessário fazer um estudo desse solo e um tratamento para assim, poder fazer um aterramento residencial. Nesse projeto iremos adotar um solo úmido, bom para o aterramento com uma resistividade aparente  $\rho_a = 50\Omega.m$ .

O sistema de aterramento de uma casa térrea, devido a sua complexidade, geralmente é composto por uma haste cobreada de aço, enterrada no solo, dentro de uma caixa de inspeção. A haste deve ter um comprimento mínimo de dois metros e diâmetro de no mínimo 19,05mm ( $\frac{3}{4}$ ").

A Celesc, concessionária fornecedora de energia elétrica em Lages, especifica em sua norma que o valor máximo admissível da resistência de terra é 25 OHMS ( $\Omega$ ), onde deve ser feito a medição em solo seco, em qualquer época do ano (DPSC, 1997). Deste modo a resistência de aterramento do nosso projeto é dada por:

$$R_{1haste} = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 2} \ln \left( \frac{4 \cdot 2}{19,05 \cdot 10^{-3}} \right)$$

(Equação 33)

$$\mathbf{R_{1haste} = 24,03 \Omega \cdot m}$$

Como verificado após o cálculo da resistência podemos observar que ela está dentro dos limites estabelecidos pela concessionária, então definimos o local onde será enterrada a caixa de inspeção. É viável a colocação da caixa o mais perto possível do local de entrega de energia.

Utilizando a força braçal, à haste é cravada no solo, bem no centro da caixa de inspeção, onde a mesma deve ser fixada até a metade da altura da caixa.

Logo em seguida, é feito a passagem do condutor de aterramento pelo eletroduto até a caixa de inspeção, para ser conectado à haste de aterramento, a conexão é feita a partir de um conector feito de cobre, onde o mesmo é fixo na haste.

**Figura 39 - Conector de aterramento**



**Fonte: PINHEIRO (2013)**

É aconselhável preencher a caixa de inspeção com brita, deixando apenas o conector visível, pois a brita ajuda a manter a umidade do solo junto a haste.

**Figura 40 - Caixa de inspeção**



**Fonte: (SOUZA, 2018)**

Levando em consideração a adoção do esquema de aterramento TN-S, o condutor “terra” é interligado ao condutor neutro na caixa de entrada. Segundo Pinheiro (2013) nesse esquema de aterramento, o condutor de proteção e o neutro, não podem ser interligados nos circuitos após a proteção, de forma que a seletividades das proteções diferenciais atuem de forma correta.

O condutor neutro não pode ser seccionado, pois caso haja um sistema de aterramento a corrente de falta, poderá retornar a carga podendo danificar algum equipamento. Isso só poderá ser feito, sem que haja o risco de danificar algum equipamento, se houver aterramento na carga, onde permita o escoamento da corrente de curto para a terra.

Após os dois condutores terem sido interligados, se deriva um novo condutor, chamado agora de condutor de proteção, que é conectado ao barramento de equipotencialização do quadro de distribuição.

**Figura 41** - Barramento de terra



**Fonte:** PINHEIRO (2013)

Este cabo denominado “fio terra”, deve percorrer toda a instalação interna e ao qual devem ser conectados em todas as partes metálicas não energizadas dos aparelhos existentes na residência, bem como o terceiro pino das tomadas (terra) dos equipamentos elétricos, conforme a NBR 5410.

### 6.3 Dimensionamento dos Materiais Utilizados

Sendo um sistema trifásico a 4 fios com tensão de entrada de 220 Volts entre fases e uma demanda de atendimento de 13.8kVA, a residência se enquadra na categoria de atendimento T3, portanto os equipamentos utilizados são:

- Disjuntor tripolar de 60 A;
- Dispositivo DR de 4 pólos e sensibilidade de 30mA; (mili-ampéres);
- Condutor de cada fase de cobre (PVC 70°C) e seção de 16mm<sup>2</sup>;
- Condutor neutro de cobre (PVC 70°C) e seção de 16mm<sup>2</sup>;
- Condutor de proteção de cobre (PVC 70°C) e seção de 16mm<sup>2</sup>;
- Condutor de interligação do neutro ao aterramento nu de cobre e seção reta de 16 mm<sup>2</sup>;
- Eletroduto rígido de PVC 3/4" para descida do aterramento.

**Figura 42** - Estrutura da entrada de energia



Fonte: PINHEIRO (2013)

Na figura 42 temos como legenda:

- CDJ3 – Caixa para disjuntor tripolar;

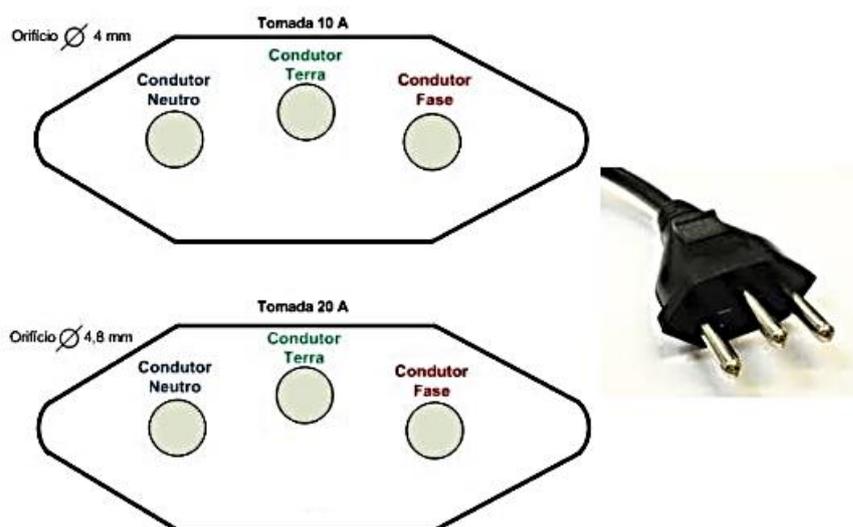
- CTP – Caixa transparente polifásica.

Como a residência é somente de um pavimento, é preciso ser feita a proteção dos equipamentos elétricos contra as descargas atmosféricas que podem surgir da incidência de um raio sobre a rede elétrica. Neste caso é instalado um Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) no circuito de entrada.

#### 6.4 Aterramento dos Equipamentos em Geral

Segundo a norma NBR 1413/2002, o aterramento dos aparelhos como: ar condicionado, liquidificador, tv etc.; é feito pelo próprio plugue do equipamento classe I, ou seja, dois pinos mais o terra (2P+T) conectando o equipamento ao sistema de aterramento da instalação.

**Figura 43 - Plug tomada, classe I**

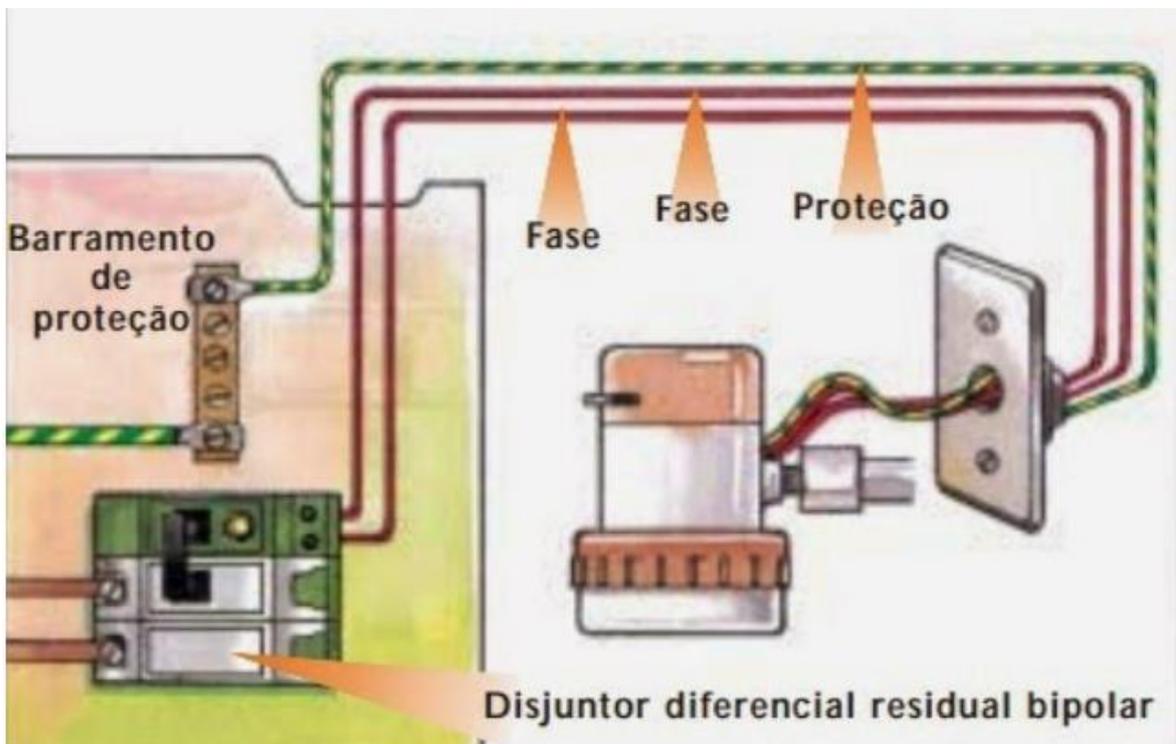


Fonte: PINHEIRO (2013)

#### 6.5 Aterramento do Chuveiro Elétrico

Para garantir a proteção contra possíveis choques elétricos, o condutor terra do chuveiro deve ser aterrado, conforme a norma brasileira NBR 5410.

**Figura 44 - Aterramento adequado chuveiro elétrico**



Fonte: SOUZA (2018)

Em alguns casos é feito o aterramento do fio neutro, porém esse costume deve ser evitado, pois em caso de sobrecarga na rede, ocasionada por um raio, o condutor neutro pode ficar “carregado” e queimar os aparelhos ligados a ele.

A Figura 44 demonstra como deve ser feita a instalação da parte elétrica de um chuveiro, deste modo sem oferecer riscos à segurança pessoal.

Em hipótese deve ser utilizado tomadas de uso geral (TUG) na instalação de um chuveiro elétrico, pois esse tipo de tomada não tem características construtivas para resistir a corrente elétrica que circula nesses equipamentos de alta potência, seu uso indevido pode comprometer a segurança da instalação (PINHEIRO, 2013).

## 7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado, de uma maneira bem explicativa e detalhada, o passo a passo de como se projetar um sistema de aterramento, os tipos de sistema existentes, os equipamentos necessários, conseguindo assim, de acordo com os objetivos deste trabalho, levar ao leitor uma ampla gama de conhecimento a respeito de Aterramento Elétrico, e sua principal função.

Pode-se notar que o aterramento elétrico é um sistema de suma importância, e uma grande complexidade, pois envolve a maioria das técnicas usuais, como hastes, cabos entre outros, em um único sistema, e sem ele, ficam vulneráveis tanto pessoas, como equipamentos, podendo até mesmo levar pessoas a óbito.

Para justificar a necessidade dos sistemas de aterramento, o Capítulo 5 abordou a respeito da fibrilação ventricular, onde o aterramento deve ser projetado de modo que as tensões de toque e passo fiquem abaixo, dos limites que provocam a fibrilação ventricular no coração.

Para que o sistema de aterramento faça seu papel de forma correta, inúmeros passos devem ser seguidos, na execução de um projeto, o Capítulo 3 apresenta de uma forma bem esmiuçada os passos, para se chegar ao aterramento elétrico perfeito, que vão desde escolher o local ideal, certificar-se que o solo apresenta uma boa resistividade, caso contrário devem ser feitos tratamentos químicos no solo, visando a diminuição de sua resistividade, verificou-se também a influência de alguns parâmetros como a umidade, temperatura, os quais alteram a resistividade elétrica do solo, quais as ferramentas e equipamentos necessários para fazer as medições dos parâmetros de um bom aterramento, e os cuidados que temos que tomar na hora de executar tal projeto.

Por fim, de forma bem didática e prática, foi mostrado todo o processo de construção de um aterramento residencial simples.

Sendo assim, foi possível através deste trabalho, orientar para que práticas inadequadas no que tange o tema aterramento elétrico não sejam mais realizadas por falta de conhecimento técnico do assunto.

Um aterramento mal dimensionado, causa danos desnecessários, tendo em vista um breve conhecimento da parte operacional que realiza o aterramento. Por isso devemos nos atentar a detalhes que fazem com que um projeto de aterramento elétrico seja tão importante, na hora de ser executado, como na hora de ser dimensionado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACOPEL. **Acidentes com energia elétrica aumentam no Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://abracopel.org/blog/acidentes-com-energia-eletrica-aumentam-no-brasil/>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt 2004, 2004. 209 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas. Rio de Janeiro, 2005.

ALVES, Erik Guilherme dos Santos; COSTA, Caio Rafael; XAVIER, Cenildo de Souza. **Utilização da técnica para sistema de aterramento**. 2018. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdades Santo Agostinho, Montes Claros, 2018. Disponível em: <[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/trabalho\\_artigo\\_final\\_publicacao.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/trabalho_artigo_final_publicacao.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2018.

CAPELLI, Alexandre. **Aterramento Elétrico**. 2000. Disponível em: <[file:///C:/Users/mathe/Downloads/pdf livros/Aterramento\\_capelli.pdf](file:///C:/Users/mathe/Downloads/pdf%20livros/Aterramento_capelli.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2018.

CEFET (Belo Horizonte - Mg). **Malhas de Aterramento e SPDA em Subestações Elétricas**. Belo Horizonte: Slide, 2012. Color.

CELESC. **NORMA TÉCNICA DPSC/NT – 03**: Fornecimento de Energia Elétrica à Edifícios de Uso Coletivo. Florianópolis: Divisão de Medição, 1997.

CREDER, Hélio (Comp.). **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: Ltc- Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 2007. 423 p.

FERGÜTZ, Marcos. **Proteção Contra Sobretensões**: Joinvile: Slide, 2016. Color.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: SAGRA - D.C. LUZZATO, 1995. 209 p. v. 1.

MINIPA. **MTR-1530**. Disponível em: <[http://www.minipa.com.br/ferramentas-eletricas/terrometros/67-mtr-1530#proposta\\_t\\_eacute\\_cnica](http://www.minipa.com.br/ferramentas-eletricas/terrometros/67-mtr-1530#proposta_t_eacute_cnica)>. Acesso em: 12 nov. 2018.

MENEZES, Felipe dos Santos; FONSECA, Wanderly Gomes da. **Dispositivos de proteção contra descarga atmosférica em estações de Telecomunicações**. 2014. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Projeto de Pesquisa em Engenharia Elétrica Ou Engenharia de Telecomunicações, Instituto de Engenharia e Tecnologia do Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2014.

MITCHELL, L. Brent. **Fibrilação Ventricular**. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/distúrbios-do-coração-e-dos-vasos-sanguíneos/arritmias-cardíacas/fibrilação-ventricular>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

PAULINO, José Osvaldo S. **Conceitos básicos sobre aterramentos**. Porto Alegre: Slide, 2010. Color.

PINHEIRO, Tiago Figueira Leão. **Sistemas de Aterramento em Baixa Tensão**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006066.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

RICARDO PANTOJA. **Riscos em Instalações e Serviços com Eletricidade / Norma Regulamentadora NR-10 / LOTO**. 2010. Disponível em: <<http://www.pantojaindustrial.com/exibir.php?id=87>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

RODRIGUES, Renato; GONÇALVES, José Correia. **Procedimentos de Metodologia Científica**. 8. ed. Lages: Papervest Editora, 2017. 195 p.

SILVA, Arnaldo Fleck e. **Projeto de Diplomação: Análise do aterramento de subestações**. 2012. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/65428/000858053.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SOUZA, Osmar de. **Passo a passo: aterramento elétrico.** Disponível em: <[http://parquessustentaveis.blogspot.com/2012\\_09\\_01\\_archive.html](http://parquessustentaveis.blogspot.com/2012_09_01_archive.html)>. Acesso em: 05 nov. 2018.

SOUZA, João Carlos. **Porque o chuveiro dá choque?** Disponível em: <<http://dicasemeletricidade.blogspot.com/2016/06/porque-o-chuveiro-da-choque.html>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

SOUZA NETO, Antônio José de; AMARAL, Mônica Faria; GOMES, Tiago Fernandes. **Aterramento em Sistemas Elétricos.** 2008. 104 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia de Sistemas Elétricos, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Campos dos Goytacazes, 2008.

TELLÓ, Marcos et al. **Aterramento Elétrico impulsivo, em baixas e altas frequências com apresentação de casos.** Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007. 331 p. v. 1.

VISACRO FILHO, Silvério. **Aterramentos Elétricos.** São Paulo: Artliber Editora, 2002. 159 p.