

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ATERRAMENTO E PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ÁREAS
CLASSIFICADAS**

RICARDO RANDO

ORIENTADORES:

**MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ
ANTÔNIO TADEU LYRIO DE ALMEIDA**

ITAJUBÁ, JULHO DE 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ATERRAMENTO E PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ÁREAS
CLASSIFICADAS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ITAJUBÁ COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
"SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS E
AUTOMAÇÃO".**

RICARDO RANDO

ITAJUBÁ, JULHO DE 2003

Ao senhor **DEUS**
pela vida, inspiração, coragem, ânimo e fé.

Aos meus queridos filhos Ana Paula, Maria Cecília, Lívia Maria, Rubens,
Samuel e a minha Elisete.

AGRADECIMENTOS

- Aos Professores Doutores Martinez e Tadeu, pelos ensinamentos e pela orientação segura e incansável;
- À PETROBRAS que me possibilitou a realizar o mestrado.
- Aos amigos **Dácio** Miranda Jordão, Hélio **Suzuki**, Wilson do Amaral **Zaitune**, Luiz **César** de Almeida e José Sérgio **Homann** da PETROBRAS.
- À minha família, por seu amor e constante incentivo.
- A memória dos meus pais Ziza e Rubens.

RICARDO RANDO

**ATERRAMENTO E PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
EM ÁREAS CLASSIFICADAS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do título de Mestre em Ciências e em Engenharia Elétrica no programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá de Minas Gerais.

Itajubá, julho de 2003

Carlos Augusto Ayres, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Manuel Luiz Barreira Martinez
Orientador

Prof. Dr. Antonio Tadeu Lyrio de Almeida
Co-orientador

Prof. Dr. Cláudio Ferreira

Prof. Dr. João Roberto Cogo

SUMÁRIO

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Siglas	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO	xvii
1 CONCEITOS SOBRE ÁREAS CLASSIFICADAS	19
1.1 ÁREAS CLASSIFICADAS CONFORME NORMAS	20
1.2 O CONCEITO DE ZONA	21
1.3 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS EM ÁREAS CLASSIFICADAS	24
1.4 MÉTODOS DE PREVENÇÃO	24
1.5 TIPOS DE PROTEÇÃO PARA USO EM ÁREAS CLASSIFICADAS	25
1.6 TEMPERATURA MÁXIMA DE SUPERFÍCIE	28
1.7 CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	29
1.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ÁREAS CLASSIFICADAS	29
1.9 CONCEITOS	31
1.9.1 Aterramento ^[17]	32
1.9.2 Baixa Tensão ^[21]	32
1.9.3 Blindagens ^[18]	33
1.9.3.1 Eletrostática	33

1.9.3.2 Magnetostática	34
1.9.3.3 Eletromagnética	35
1.9.4 Curto-Circuito Fase-Terra ^[19]	36
1.9.5 Dispositivo Elétrico	36
1.9.5.1 Dispositivo a Corrente Diferencial-Residual ^[22]	36
1.9.6 Efeito Corona ^[17]	37
1.9.7 Equipamento Elétrico	37
1.9.8 Normas Técnicas	38
1.9.9 Segurança contra Choques Elétricos ^[19]	39
1.9.10 Surtos ^[17]	39
1.9.11 Terra de Plataforma ^[20]	40
1.10 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DA PRÁTICA DO ATERRAMENTO	40
1.10.1 O Solo	40
1.10.2 O Aterramento	41
1.10.3 O Sistema de Aterramento	41
1.10.4 A Segurança pela Proteção DR	42
2 PRÁTICA DOS DIFERENTES ESQUEMAS DE ATERRAMENTO EM BT^[22]	43
2.1 ESQUEMA TN-S	45
2.2 ESQUEMA IT	46
2.3 ATERRAMENTO DE SEGURANÇA	47
2.4 CONSIDERAÇÕES DA PRÁTICA DO ATERRAMENTO	48
3 PLATAFORMA MARÍTIMA^[24]	51
3.1 ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTO ^[20]	52
3.2 EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS	53
3.3 PARTES METÁLICAS EXPOSTAS NÃO CONDUTORAS	54
3.4 ATERRAMENTO POR CONTATO METÁLICO	55
3.5 ATERRAMENTO ATRAVÉS DE CONDUTOR	56
3.6 MALHA DE ATERRAMENTO	59
3.7 ATERRAMENTO DE BLINDAGEM METÁLICA DE CABOS	59

3.8 ATERRAMENTO DA MALHA METÁLICA DE CABOS ELÉTRICOS	62
3.9 EQUIPAMENTOS MÓVEIS EM ÁREAS CLASSIFICADAS	63
3.10 ATERRAMENTO DE SISTEMA ELÉTRICO	63
3.11 ATERRAMENTO DE SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA	63
3.12 ELETRICIDADE ESTÁTICA ^[27]	64
3.12.1 Eletricidade Estática e Correntes de Fuga	64
3.12.2 Acumulação de Eletricidade Estática	65
3.12.3 Estática nos Produtos Escuros Derivado do Petróleo	65
3.12.4 Descargas de Eletricidade Estática	65
3.12.5 Contato Metálico para Descarga de Eletricidade Estática	66
3.12.6 Reabastecimento na Plataforma	66
3.12.7 Cordoalhas de Aterramento	67
3.13 Cuidados Adicionais para as Descargas Atmosféricas ^[20]	69
3.13.1 O Solas ^[IX]	70
3.14 CONSIDERAÇÕES DO ATERRAMENTO NA PLATAFORMA	71
4 TENDÊNCIA DO ATERRAMENTO NA UNIDADE INDUSTRIAL	72
4.1 ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS	72
4.1.2 Sistema de Aterramento de Equipamentos	73
4.1.3 Aterramento de Redes Elétricas Subterrâneas	74
4.1.4 Aplicações Específicas de Aterramento	75
4.1.5 Motores e Geradores	75
4.1.6 Cabos Encapados e a Blindagem Metálica	76
4.1.7 Carcaças Metálicas	77
4.1.8 Carcaças para Equipamentos Elétricos	77
4.1.9 Cercas e Portões	78
4.1.10 Equipamento Elétrico Portátil	78
4.2 RESISTÊNCIA DE TERRA	79
4.2.1 Potenciais de Toque e de Passo ^[19]	79
4.2.2 Tensão de Toque ^[19]	80
4.2.3 Tensão de Passo ^[19]	81
4.3 MALHA DE TERRA	82

4.3.1 Resistência de Aterramento da Malha	84
4.3.2 Medições da Resistência de Terra	85
4.3.3 Unidades de Processo	85
4.3.4 Detalhes para Interligação das Placas	85
4.3.5 Precauções	86
4.4 ATERRAMENTO EM TELECOMUNICAÇÃO	87
4.4.1 Análise dos Circuitos de Aterramento Série e Paralelo	87
4.4.2 Conexões em Série	87
4.4.3 Aterramento em Série	90
4.4.4 Conexões em Paralelo	90
4.4.5 O Aterramento em Telecomunicação	92
4.4.6 Comentários Gerais	93
4.5 ATERRAMENTO DE CIRCUITOS INTRINSECAMENTE SEGURO^[35]	95
4.6 UTILIZAÇÃO DO NEUTRO ATERRADO^[37]	99
4.6.1 Instalações Elétricas em Áreas Classificadas	99
4.6.2 Necessidade do Seccionamento de Emergência	100
4.6.3 Dimensionamento dos Condutores	101
4.6.4 Aterramento do Neutro através de Resistor ^[38]	101
4.6.5 Áreas Não-Classificadas	103
4.6.6 Característica de Equipamento Aterrado com Resistor	103
4.6.7 Benefícios do Aterramento do Neutro	107
4.6.8 A ameaça das Harmônicas	108
4.7 CONSIDERAÇÕES DO ATERRAMENTO INDUSTRIAL^[38]	111
5 PROTEÇÃO CONTRA AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS^[17]	114
5.1 CUIDADOS FUNDAMENTAIS	114
5.2 COMPORTAMENTO IMPULSIVO NO ATERRAMENTO ^[17]	115
5.3 TANQUES DE ARMAZENAMENTO ^[40]	116
5.3.1 Tanques de Teto Fixo	116
5.3.2 Tanques de Teto Flutuante	119
5.3.3 Análise de Risco ^[40]	120
5.3.4 Proteção Contra os Raios ^[17]	127

5.4 CÁLCULO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO ^[41]	127
5.5 AQUECIMENTO DAS BARRAS ^[42]	130
5.5.1 Efeito Pelicular nas Barras de Aço ^[17]	132
5.5.2 Cálculo do Aquecimento dos Vergalhões ^[42]	133
5.5.3 Dados do vergalhão	134
5.5.4 Dados Térmicos	134
5.5.5 Observações	135
5.5.6 O Concreto Protendido ^[17]	136
5.6 EQUALIZAÇÃO DOS POTENCIAIS ^[22]	137
5.6.1 Regra Básica para Equalização	138
5.6.2 Comentários dos Eletrodos de Fundação	140
5.7 EQUIPAMENTO ELETRÔNICO ^[17]	140
5.7.1 PC's em Instalações Comerciais e Industriais ^[17]	142
5.7.2 Proteção pelos Cabos de Força e a Linha de Dados	144
5.7.3 Principais Fontes Geradoras de Surtos	147
5.7.4 Equipamentos Protegidos	147
5.7.4.1 Estruturas de Aço, Tanques, Vasos e Chaminés	148
5.7.4.2 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica	148
5.7.5 Supressores de Surtos ^[17]	149
5.7.6 Proteção de Instrumentos Contra Descargas Atmosféricas	150
5.7.7 Capacitores de Proteção	151
5.7.8 Aterramento Híbrido ^[39]	151
5.7.8.1 Meio Transmissor ou de Acoplamento	152
5.7.8.2 Vantagens do Aterramento Híbrido	153
5.7.8.3 Desvantagens do Aterramento Híbrido	154
5.8 CONSIDERAÇÕES DO ATERRAMENTO	154
CONCLUSÃO	160
ANEXO	161
PARTICULARIDADES SOBRE A DESCARGA ATMOSFÉRICA ^[39]	162
GENERALIDADES	162

IMPEDÂNCIA DOS CONDUTORES DE DESCIDA	163
CÁLCULO DA INDUTÂNCIA DE UM CONDUTOR	167
CÁLCULO DA TENSÃO ATRAVÉS DE UMA INDUTÂNCIA	168
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo de Fogo ^[2]	19
Figura 2 - Classificação de Áreas em Refinarias ^[2]	22
Figura 3 - Classificação de Zonas ^[2]	23
Figura 4 - Tipo de Proteção ^[2]	24
Figura 5 - Segurança Intrínseca ^[2]	25
Figura 6 - À Prova de Explosão ^[2]	28
Figura 7 - Mapa da Classificação do Parque de Esferas ^[2]	30
Figura 8 - Esquema de Aterramento TN-S ^[18]	45
Figura 9 - Esquema de Aterramento TN-C ^[18]	46
Figura 10 - Esquema de Aterramento IT ^[18]	46
Figura 11 - Motor Aterrado Sob uma Impedância Z_{tm} ^[23]	47
Figura 12 - Motor Aterrado Através do Condutor de Proteção ^[23]	48
Figura 13 - Campo de Produção Marítimo	51
Figura 14 – Anel de Aterramento para Embarcações Marítimas ^[25]	55
Figura 15 - Aterramento por Contato Metálico ^[25]	56
Figura 16 - Quadros Elétricos ^[25]	57
Figura 17 - Painéis ^[25]	58
Figura 18 - Equipamentos ^[25]	58
Figura 19 - Aterramento de Cabo com Armadura Metálica ^[25]	59
Figura 20 - Aterramento de armadura metálica de cabo armado	60
Figura 21 – Tipos de entradas em cabos conforme a ormalização IEC ^[V]	61

Figura 22 - Aterramento de Cabo ^[25]	62
Figura 23 - Cordoalha do Aterramento ^[25]	68
Figura 24 - Tensão do Toque ^[19]	80
Figura 25 - Tensão de Passo ^[19]	81
Figura 26 - Malha da Terra ^[33]	83
Figura 27 - Interligação das Ferragens das Placas do Piso ^[33]	85
Figura 28 - Interligação de Hastes de Aterramento à Ferragem ^[33]	86
Figura 29 - Aterramento em Série ^[34]	88
Figura 30 - Correntes e Impedâncias Presumíveis de um Aterramento ^[34]	88
Figura 31 - Aterramento em Paralelo ^[34]	90
Figura 32 – Correntes Presumíveis no Aterramento em Paralelo ^[34]	91
Figura 33 - Esquema de Conexões Paralelas ^[34]	92
Figura 34 - Detalhe do Aterramento para Equipamentos de Telecom ^[34]	94
Figura 35 - Equipamento de Telecom Isolamento do Solo ^[34]	94
Figura 36 - Circuitos Intrinsecamente Seguros ^[35]	96
Figura 37 - Invólucro Metálico ^[35]	97
Figura 38 - Curto-Circuito com Neutro Solidamente Aterrado ^[38]	104
Figura 39 - Princípio do Sistema Elétrico Aterrado Via Resistore ^[38]	106
Figura 40 - Circuito trifásico com cargas não-lineares	110
Figura 41 - Tanque de Teto Fixo ^[40]	119
Figura 42 - Esquema de Tanque com Teto Flutuante ^[40]	120
Figura 43 - Regras para Equalização ^[22]	138
Figura 44 - Circuito de Proteção a Varistores ^[17]	141
Figura 45 - Filtro LC ^[17]	142
Figura 46 - Aterramento em Pontos Múltiplos (Pequenas Distâncias) ^[17]	143
Figura 47 - Aterramento em Pontos Múltiplos (Grandes Distâncias) ^[17]	143
Figura 48 - Área de Exposição a Tensões Causadas pelos Raios ^[17]	144
Figura 49 - Blindagem com Tubos e Redução de Área ^[17]	145
Figura 50 - Protetores em Ambas Extremidades ^[17]	146
Figura 51 - Representação de Campo Magnético ao Redor de Condutor ^[19]	164
Figura 52- Resistência do Cabo ^[12]	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Áreas ^[3]	21
Tabela 2 - Tipos de Proteção Segundo a Norma IEC ^{[V][3]}	26
Tabela 3 – Tipos de Proteção Segundo a Norma IEC ^{[V][3]}	27
Tabela 4 - Temperaturas Máximas de Superfície do Equipamento ^[3]	29
Tabela 5 - Classificação em Grupos ^[3]	29
Tabela 6 - Áreas Isentas de Riscos por Carregamento Eletrostático ^[3]	53
Tabela 7 - Condutor x Cabo ^[18]	75
Tabela 8 - Posicionamento de Captores ^[41]	130
Tabela 9 - Aquecimento de vergalhões ^[44]	135
Tabela 10 - Condutor x Indutância ^[39]	166

LISTA DE SIGLAS

Normalização

- [I] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- [II] API - American Petroleum Institute
- [III] FPSO – Floating Production Storage and Offloading
- [IV] FSO – Floating Storage and Offloading
- [V] IEC - International Electrotechnical Commission
- [VI] ISGOTT - International Safety Guide For Oil Tankers & Terminals
- [VII] NEC - National Electrical Code
- [VIII] NFPA - National Fire Protection Association
- [IX] SOLAS – Safety of Life at Sea

RESUMO

Este trabalho se origina da necessidade de informações, que devido sua escassez e editoração em diversas literaturas, oneram o processo de pesquisa e estudo no tema de Aterramento e Proteção contra Descargas Atmosféricas em Áreas Classificadas.

O objetivo é a compilação concentrada de instruções e parâmetros que servirão como suporte técnico aos profissionais de eletricidade e estudantes que necessitem de informação e contribuirá para a ampliação do conhecimento sobre o tema.

ABSTRACT

This paper has been originated by the information necessity about Grounding and Protection Against Discharges, in classified Areas. That's occurs because the shortage and edition in so many different ways, that makes its process laborious and difficult.

The objective is the concentrate compilation about instructions and parameters, that will technicality support the electricity engineers professionals and students, whose needs information and will contribute for a knowledge amplification about this issue.

INTRODUÇÃO

Quando o assunto é instalação elétrica em áreas classificadas, tais como refinarias de petróleo, plataformas marítimas e terminais de abastecimento, a segurança é requisito mandatório e não há dúvidas sobre a necessidade de cuidados adicionais.

Quem conhece o ambiente destas instalações industriais pode avaliar o clima de tensão em que vivem os profissionais que lá trabalham e por mais que sejam criadas as condições de segurança, trabalhar nestes locais significa estar em estado de alerta permanente.

Os equipamentos elétricos nestes lugares podem funcionar como uma espécie de detonador, liberando energia térmica ou elétrica de forma inadequada e na hora indevida quando em presença de uma substância inflamável.

Um dos procedimentos empregado para contornar esse tipo de problema é o cuidado com o aterramento elétrico que envolve as partes condutoras, que além de contribuir positivamente para a segurança pessoal, também uniformiza potenciais para obtenção de um meio seguro.

A classificação de áreas é usualmente um assunto da especialidade da elétrica, no entanto, enquanto documento, resume informações das especialidades do processo, tais como, ventilação, arranjo, elétrica, instrumentação, operação, segurança e manutenção.

Desta forma, esta dissertação foi elaborada com objetivo de concentrar informações para o uso nas instalações elétricas, com áreas classificadas, discorrendo sobre algumas das técnicas praticadas no aterramento em baixa tensão.

Dividida em capítulos, aborda conceitos sobre as áreas classificadas; prática dos diferentes esquemas de aterramento em baixa tensão; prática do aterramento em plataforma marítima; tendência do aterramento na unidade industrial; harmônicas; proteção contra descargas atmosféricas e a conclusão que no item 5 sugere a continuidade deste estudo através de pesquisas sob a óptica da proteção catódica que assume uma posição de destaque no tratamento das pilhas galvânicas.

Considerando ainda que alguns sinistros são provenientes dos raios, optou-se por inserir neste trabalho um anexo à parte, com particularidades sobre descargas atmosféricas e assim tratar a correlação “aterramento e descargas atmosféricas” de modo que o leitor tenha a sua disponibilidade uma obra de utilidade.

No final de cada capítulo, com a exceção do capítulo 1 que cuida das Áreas Classificadas, tive o cuidado de inserir um ítem intitulado “considerações” que trata de forma resumida a conclusão do conteúdo estudado.

1. CONCEITOS SOBRE ÁREAS CLASSIFICADAS

Conceituada como aquela na qual uma atmosfera explosiva de gás está presente ou é provável a sua ocorrência a ponto de exigir precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamento elétrico.

A classificação de áreas é regida pela norma internacional IEC60079.10^[1]

O objetivo de prover os equipamentos elétricos a serem instalados nestes locais de um tipo específico de proteção é o de eliminar ou isolar a fonte de ignição, evitando a ocorrência simultânea de um dos três componentes (que formam o **triângulo do fogo**), necessários para que ocorra a explosão, ou seja, o combustível, o oxigênio ou a fonte de ignição.



Figura 1 - Triângulo de Fogo^[2]

Conseqüentemente, classificar uma área significa elaborar um mapa de classificação de área que define, entre outras coisas, o volume de risco dentro do qual pode ocorrer a mistura inflamável.

1.1 ÁREAS CLASSIFICADAS CONFORME NORMA BRASILEIRA E INTERNACIONAL

A partir do momento em que o Brasil passou a adotar a normalização internacional, assumimos no ambiente industrial a parte conceitual e de terminologia que é praticada internacionalmente e que difere bastante da americana até então praticada, conforme veremos a seguir.

Em vez de classificar ambientes em classes (conforme a norma americana que se refere às substâncias inflamáveis no local), a norma internacional fala de Grupos (porém referidos aos equipamentos elétricos).

Ou seja:

- a) Grupo I – são equipamentos fabricados para operar em mineração subterrânea;
- b) Grupo II – são equipamentos fabricados para operação em outras indústrias (indústria de superfície), sendo subdividido, conforme as características das substâncias inflamáveis envolvidas, em IIA, IIB e IIC.

As subdivisões em IIA, IIB e IIC seguem o mesmo princípio da normalização americana, isto é, esta ordem também indica uma gradação de periculosidade da substância, do ponto de vista do comportamento durante uma explosão. A diferença está no fato de que a ordem é inversa à do NEC^[VII] além de serem apenas três grupos de substâncias, ao invés de quatro.

As substâncias e os seus respectivos grupos estão definidos assim:

- a) Grupo IIA – Atmosfera contendo as mesmas substâncias do grupo D (propano) do NEC^[VII] art.500, exceto pela inclusão de acetaldeído e monóxido de carbono (estes pertencentes ao Grupo C do NEC^[VII]);

- b) Grupo IIB – Atmosfera contendo as mesmas substâncias do Grupo C (etileno) do NEC^[VII] art.500, exceto pela inclusão de acroleína;
- c) Grupo IIC – Atmosfera contendo as mesmas substâncias dos grupos A (acetileno) e B (hidrogênio) do NEC^[VII] Art. 500.

Tabela 1 – Classificação de Áreas ^[3]

GÁS Representativo do Grupo	ANBT ^[I] / IEC ^[V]	API ^[III] / NEC ^[VII] Art.500
Propano	Grupo II A	Grupo D
Etileno	Grupo II B	Grupo C
Hidrogênio	Grupo II C	Grupo B
Acetileno	Grupo II C	Grupo A

1.2 O CONCEITO DE ZONA

A denominação adotada pela norma brasileira/internacional para designar o grau de risco encontrado no local é ZONA em lugar do termo DIVISÃO prescrito na tecnologia americana.

Assim são definidas três tipos de ZONAS, a saber:

- a) ZONA 0 - local onde a ocorrência de mistura inflamável/explosiva é contínua, ou existe por longos períodos;
- b) ZONA 1 - local onde a ocorrência de mistura inflamável/explosiva é provável de acontecer em condições normais e operação do equipamento de processo;
- c) ZONA 2 - local onde a ocorrência de mistura inflamável explosiva é pouco provável e acontecer e se acontecer é por curtos períodos.

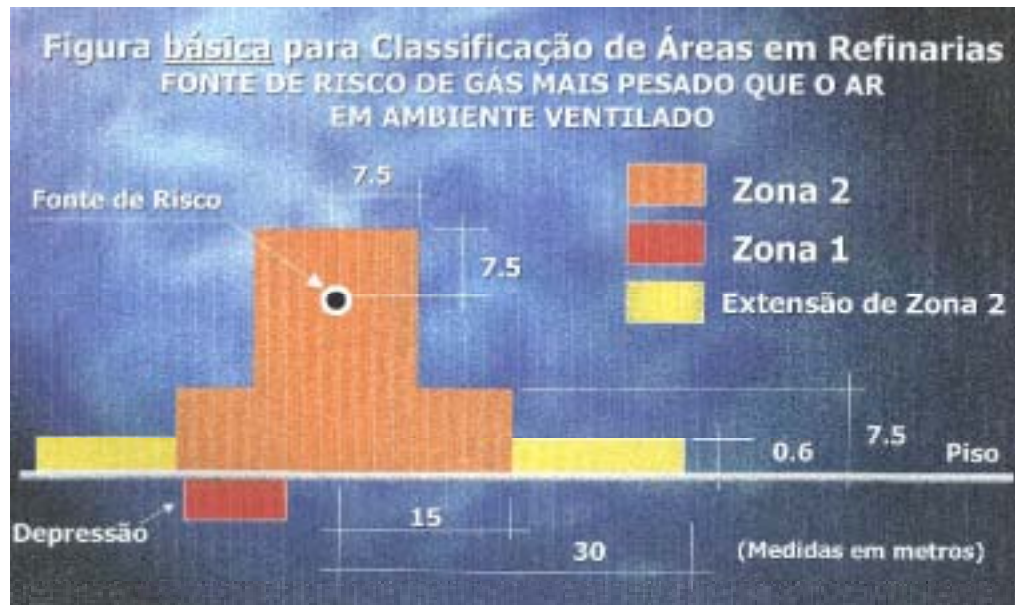


Figura 2 - Classificação de Áreas em Refinarias^[2]

Pelas definições acima temos:

- a) ZONA 1 - correspondendo a Divisão 1;
- b) ZONA 2 - correspondendo a Divisão

O conceito denominado ZONA 0, não tem equivalente na designação americana e é oriundo da normalização europeia, significando os ambientes internos a equipamentos de processo e que tenham comunicação com o meio externo, formando mistura inflamável/explosiva todo o tempo.

Como exemplo, a parte situada acima da superfície do líquido inflamável e interna a um tanque de armazenamento, onde existe uma altíssima probabilidade de formação de mistura inflamável/explosiva durante praticamente todo o tempo.

São áreas restritas a partes internas de equipamentos de processo.

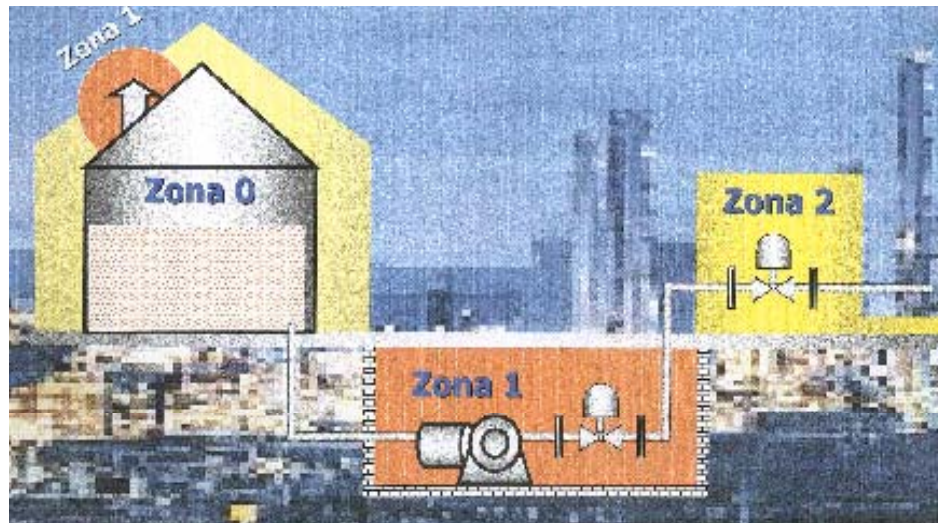


Figura 3 - Classificação de Zonas^[2]

Temos no Brasil um número muito grande de indústrias de processo que ainda adotam a tecnologia americana por força de origem de seus projetos. A internacionalização da economia, e o desenvolvimento de programas de produtividade e qualidade industrial estão trazendo novos desafios, exigindo uma reavaliação dos nossos métodos e técnicas até hoje empregados.

A adoção de uma tecnologia internacional possibilita uma maior aproximação com os países desenvolvidos e o aproveitamento de soluções técnicas muito evoluídas, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista de segurança.

Os métodos de instalação previstos pela normalização internacional IEC60079-14^[4] incluem também a prática americana, uma vez que o objetivo do organismo de normalização internacional é equalizar não restringir a tecnologia que é adotada pelos países membros.

Portanto a norma IEC^[M] oferece várias alternativas para a escolha do usuário.

O documento que define a forma de aplicação dos equipamentos elétricos nas áreas classificadas é o NEC^[VII], que estabelece os requisitos que devem ser obedecidos quando da construção e montagem desses equipamentos.

1.3 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PERMITIDOS EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Equipamentos elétricos ou outros equipamentos que possam constituir-se numa fonte de ignição não devem ser instalados em Áreas Classificadas, a menos que seja estritamente essencial sua instalação neste local, para a operação. Os equipamentos e dispositivos elétricos devem possuir características inerentes que os capacitem a operar em Áreas Classificadas, com o mínimo risco a causarem inflamação do ambiente onde estão instalados.

Para isso são utilizadas diversas técnicas construtivas que são aplicadas de forma a reduzir o risco de explosão ou incêndio provocado pela sua operação. A figura vem ilustrar uma das técnicas utilizada quando se pretende obter uma proteção não centelhante.



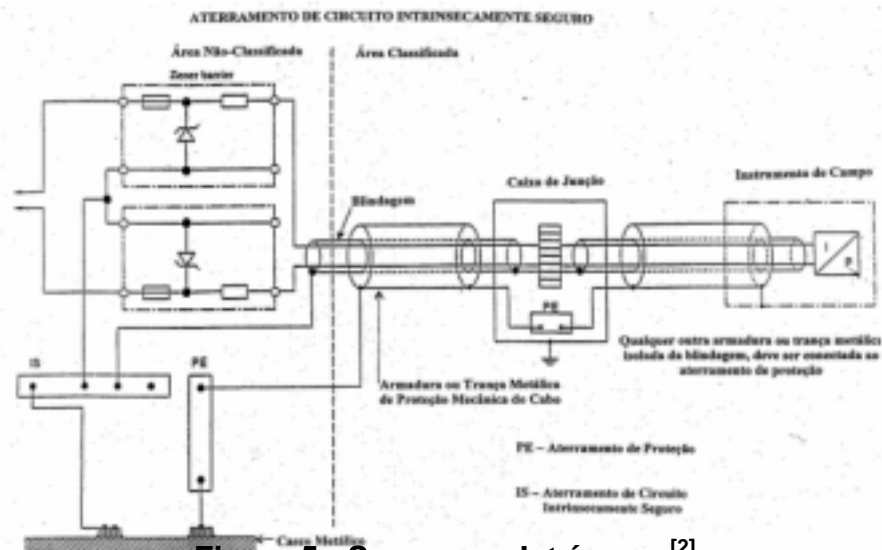
Figura 4 - Tipo de Proteção^[2]

1.4 MÉTODOS DE PREVENÇÃO

Existem vários métodos de prevenção que permitem a instalação de equipamentos elétricos geradores de faíscas elétricas e temperaturas de superfícies capazes de detonar a Atmosfera Potencialmente Explosiva de uma

Área Classificada. Estes métodos de proteção baseiam-se em um dos princípios:

- a) **Confinamento da explosão** (figura 6): Método que evita a detonação da atmosfera explosiva confinando a explosão em um compartimento capaz de resistir a pressão desenvolvida durante uma possível explosão, não permitindo a propagação para as áreas vizinhas (Exemplo: equipamento à prova de explosão);
- b) **Segregação de faísca** (figura 4): Método que visa separar fisicamente a atmosfera potencialmente explosiva da Área Classificada da fonte de ignição. (Exemplo: equipamentos pressurizados, imersos ou encapsulados);
- c) **Prevenção** (figura 5): Método que controla a fonte de ignição de forma a não possuir energia elétrica e térmica suficiente para detonar a atmosfera explosiva da Área Classificada. (Exemplo: equipamentos



1.5 TIPOS DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA USO EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Os tipos de proteção para equipamentos “Ex”, conforme a IEC^[V] e ABNT^[I] a simbologia associada, definição e Normas aplicáveis estão relacionadas na tabela abaixo:

Tabela 2 - Tipos de Proteção Segundo a Norma IEC^{[VI][3]}

Tipo e Proteção	Símbolo IEC / ABNT	Definição	Normas IEC / ABNT
À prova de explosão	Ex-d	Capaz de suportar explosão interna sem permitir que essa explosão se propague para o meio externo	IEC 60079.1^[5] (NBR 5363 ^[6])
Pressurizado	Ex-p	Invólucros com pressão positiva interna, superior à pressão atmosférica, de modo que se não houver presença de mistura inflamável ao redor do equipamento esta não entre em contato com partes que possam causar uma ignição.	IEC 60079.2^[7] (NBR 5420 ^[8])
Imerso em óleo ¹ Imerso em areia ² imerso em resina ²	Ex-o Ex-q Ex-m	As partes que podem causar centelhas ou alta temperatura se situam em um meio Isolante.	IEC 60079.6^[9] (NBR 8601 ^[10]) IEC 60079.5^[11] - IEC 60079.18 ^[12] -

¹ Não é aceito pelas classificadoras em virtude da inflamabilidade do óleo Isolante.

² Não é comumente utilizado - tecnologia antiga

Tabela 3 – Tipos de Proteção Segundo a Norma IEC^[VI3]

Tipo e Proteção	Símbolo IEC / ABNT	Definição	Normas IEC / ABNT
Segurança aumentada	Ex-e	Medidas construtivas adicionais são aplicadas a equipamentos que em condições normais de operação não produzem arcos, centelhas ou altas temperaturas	IEC 60079.7^[13] (NBR 9883 ^[14])
Segurança intrínseca	Ex-ia Ex-ib	Dispositivo ou circuito que em condições normais ou anormais (curto-circuito, etc.) de operação não possui energia suficiente para inflamar a atmosfera explosiva.	IEC 60079.11^[15] (NBR 8447 ^[16])
Especial	Ex-s	Usado para casos ainda não previstos em norma.	

Atenção: Equipamentos “Ex” construídos e certificados para uso em Zona 1, como por exemplo os de tipo à Prova de Explosão (Ex-d), podem ser utilizados em Zona 2, porém ao contrário não é válido, ou seja, equipamentos certificados para Zona 2, como os do tipo não-acendível (Ex-n), não podem ser utilizados em Zona 1, pois são de concepção mais simples (requisitos construtivos menos rigorosos que os adotados para Zona 1).

Nota: Dentro os diversos tipos de proteção existentes, os únicos que dependem do grupo de Gás são os “Ex-d” e o “Ex-i”. Portanto quando se especificar qualquer um destes tipos de proteção deve-se citar também o grupo de gás para o qual eles devem atender e a classe de temperatura.



Figura 6 - À Prova de Explosão^[2]

1.6 TEMPERATURA MÁXIMA DE SUPERFÍCIE

A mais alta temperatura que é atingida (tabela 3) em serviço, sob as mais adversas condições (porém dentro das tolerâncias) por qualquer parte ou superfície de um equipamento elétrico que seja capaz de provocar a ignição de uma atmosfera inflamável dentro da Área Classificada ao redor do equipamento.

Nota: As mais adversas condições incluem sobrecargas ou defeitos previstos na respectiva norma para o tipo de proteção.

Tabela 4 - Temperaturas Máximas de Superfície do Equipamento^[3]

Classes de Temperatura	Máxima Temperatura de Superfície do Equipamento	Temperatura de Ignição do Material Combustível
T1	450 °C	> 450 °C
T2	300 °C	> 300 °C
T3	200 °C	> 200 °C
T4	135 °C	> 135 °C
T5	100 °C	> 100 °C
T6	85 °C	> 85 °C

1.7 CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS

Na classificação agrupa os diversos materiais pelo grau de periculosidade que proporcionam, conforme a normalização IEC^[M]

Tabela 5 - Classificação em Grupos^[3]

Grupos	Descrição
Grupo I	Ocorre em minas onde prevalece o gás da família do metano (grisu) e poeiras de carvão.
Grupo II	Ocorre em indústrias de superfície (químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc.), subdividindo-se em IIA, IIB e IIC
Grupo IIA	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do propano (plataformas de perfuração e produção)
Grupo IIB	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do etileno
Grupo IIC	Ocorre em atmosferas explosivas, onde prevalece os gases da família do hidrogênio (incluindo acetileno)

Nota: O Grupo de maior periculosidade é o Grupo IIC, seguido pelos Grupos IIB e IIA, nesta ordem. Conseqüentemente, se um equipamento é projetado para o grupo IIB, poderá também ser instalado em locais com possibilidade de ocorrência de gases do Grupo IIA, mas nunca em locais com gases do Grupo IIC.

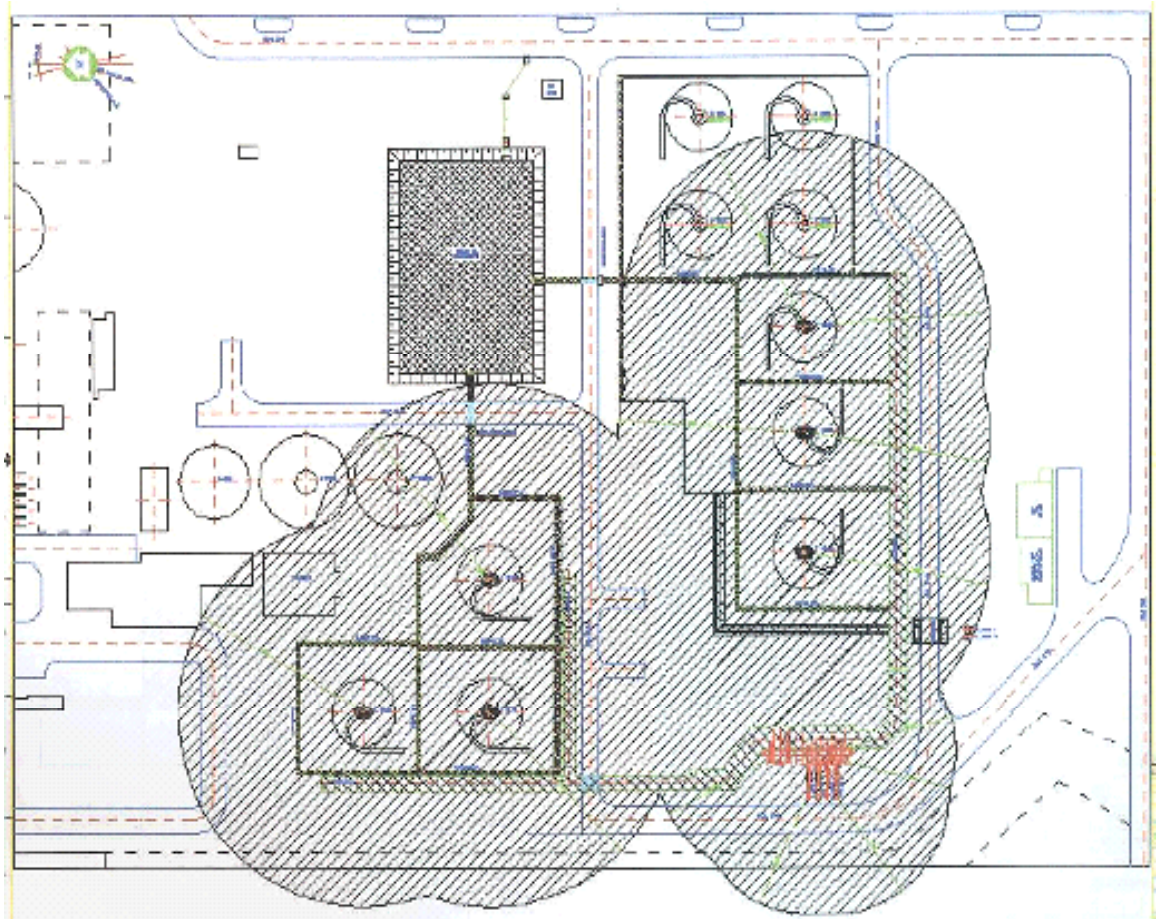


Figura 7 – Mapa da Classificação de Áreas do Parque de Esferas de GLP^[2]

O mapa da figura 7 apresenta o parque das esferas, local onde é armazenado o GLP - Gás Liquefeito de Petróleo. A região com hachura maior representa o espaço físico destas esferas (definido como ZONA 2), trata-se de uma região em céu aberto, possui ventilação natural.

Caso ocorra vazamento, a região com hachura menor, (local das canaletas e/ou piscinas) concentrará volume maior de GLP, classificando a

área como ZONA 1. O GLP, possui peso específico maior do que o ar e como as válvulas nas tubulações de gás não são estanque, toda a região fica classificada como ZONA 1.

1.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ÁREAS CLASSIFICADAS

Os equipamentos elétricos por sua própria natureza podem se constituir em fonte de ignição quando operando em uma atmosfera explosiva (Área Classificada). Essa fonte de ignição pode ser ocasionada pelo centelhamento normal devido a abertura e fechamento de seus contatos, ou por apresentar temperatura elevada, esta podendo ser intencional (para atender a uma função própria do equipamento) ou provocada por correntes de defeito (curto-circuito).

A energia necessária para causar a inflamação de uma atmosfera explosiva é, em geral, muito pequena. A quantidade de energia elétrica usual na indústria para fins de acionamento de máquinas, iluminação, controle, automação, etc. é muitas vezes superior ao mínimo necessário para provocar incêndios ou explosões.

Com isso, a solução é prover meios para que a instalação elétrica (indispensável na indústria) possa cumprir com o seu papel sem se constituir num risco elevado para a segurança. Foi necessário então, o desenvolvimento de técnicas de proteção de modo que a fabricação dos equipamentos elétricos, sua montagem e manutenção fossem feitos segundo critérios bem definidos (normas técnicas) que garantam um nível de segurança aceitável para as instalações.

Foram também estabelecidas regras que permitem ao usuário elaborar um desenho, chamado de mapa da “Classificação de Áreas” que representa uma avaliação do grau de risco de presença de substância inflamável da sua unidade industrial.

Assim uma instalação elétrica em indústrias que processam, manuseiam e/ou armazenam produtos inflamáveis somente será considerada com nível de segurança adequado se forem atendidos os requisitos que estão expressos em normas técnicas específicas (tabela2). Lembrando que as medidas construtivas que são aplicadas aos equipamentos elétricos para que os mesmos possam operar em atmosfera potencialmente explosiva, a sua maioria, são baseadas na quebra do ciclo da explosão (figura1).

1.9 CONCEITOS

É importante fixarmos os conceitos de certos termos.

São eles:

1.9.1 Aterramento^[17]

Aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Sua função principal é sempre associada à proteção das pessoas e dos equipamentos e constitui-se basicamente de três componentes:

- a) As conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos;
- b) Eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo);
- c) Terra que envolve os eletrodos.

Nas instalações elétricas, são considerados dois tipos de aterramento^[25]:

- a) O aterramento funcional que consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema, geralmente o neutro, e está relacionado com o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação;

b) O aterramento de proteção que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores, estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos.

1.9.2 Baixa Tensão^[21]

Trata-se de todas as instalações elétricas alimentadas sob uma tensão nominal igual ou inferior a 1.000 Volts em corrente alternada com frequências inferiores a 400 Hz ou 1.500 Volts em corrente contínua.

1.9.3 Blindagens^[18]

A blindagem é um recurso utilizado para minimizar interferências, necessitando de aterramento para estabelecer um potencial em torno de zero na blindagem ou para proporcionar um caminho externo para as correntes induzidas.

Sua principal finalidade é confinar o campo elétrico ou magnético através de uma camada de material semicondutor ou condutor.

1.9.3.1 Eletrostática

Este tipo de blindagem visa anular ou diminuir a intensidade de campos elétricos estáticos ou quase estáticos (provocados por cargas elétricas existentes em zonas do outro lado da blindagem) em um determinado espaço a ser blindado.

Uma blindagem eletrostática estabelece uma barreira condutora suficientemente contínua onde são induzidas as cargas elétricas resultantes

dos campos elétricos circundantes, que sem a blindagem seriam induzidas nos elementos que pretendemos proteger.

A blindagem eletrostática está aterrada e tem por finalidade física anular ou diminuir a capacitância entre os elementos condutores existentes de um outro lado da blindagem, (substituindo essa capacitância mútua por capacitâncias à terra, considerada como referência estável de tensão).

As capacitâncias da blindagem relativamente aos elementos circundantes, são exclusivamente função das disposições respectivas. desde que a tensão da blindagem permaneça invariante, (por aterramento e dimensionamento adequado) a variações de campo elétrico de um lado não interferem nos elementos do outro lado.

Como as cargas induzidas na blindagem são função da capacitância relativamente aos condutores vizinhos e das tensões envolvidas, as correntes a escoar à terra pela blindagem são em geral muito limitadas e em conseqüência as blindagens eletrostáticas podem ser tão delgadas quanto praticável.

A freqüência das oscilações de campo elétrico deve permanecer no domínio quase estacionário.

1.9.3.2 Magnetostática

A blindagem magnetostática visa diminuir a indução magnética, (devida a fluxos magnéticos do outro lado da blindagem) em um determinado espaço a ser blindado.

Ela estabelece uma barreira de permeabilidade elevada onde se concentram preferencialmente as linhas de força de indução magnética devidas ao campo magnético existente no espaço do outro lado da blindagem.

Assim o valor da indução magnética no espaço a blindar resulta inferior ao que seria sem a blindagem.

A eficácia da blindagem magnetostática depende da geometria, da permeabilidade e da espessura da blindagem.

1.9.3.3 Eletromagnética

Este tipo de blindagem visa anular ou diminuir a energia de campos magnéticos (causados por ondas eletromagnéticas e ou fenômenos transitórios de muito curta duração), que atinjam o espaço a ser blindado.

Ela estabelece uma barreira onde se dissipa progressivamente a energia de uma onda eletromagnética que a atinge, protegendo os elementos do outro lado, dos efeitos dessa radiação de energia.

Interessa salientar que a blindagem eletromagnética pode servir também como blindagem eletrostática, poderá servir (segundo a permeabilidade) como blindagem magnetostática.

Cabe ressaltar que uma blindagem para umas ondas de elevada frequência poderá ser construída de material não formalmente condutor, (com perdas para a frequência em causa), como solo, água do mar etc.

A eficácia de uma blindagem eletromagnética depende da profundidade de penetração do fenômeno eletromagnético no material da blindagem, da geometria e permeabilidade da blindagem e também da duração do fenômeno perturbador, se trata de pulsos (transitórios extremamente rápidos).

1.9.4 Curto-Circuito Fase-Terra^[19]

Este tipo de curto-circuito, também conhecido como “curto franco”, em redes elétricas provoca o desbalanceamento do sistema trifásico, sobrecarga nos equipamentos e cabos de rede, comprometendo a segurança da rede elétrica e das pessoas. Para que seja desenergizado o trecho da rede afetada é necessário que a corrente que circula pelo curto-circuito seja superior ao valor de operação dos disjuntores e fusíveis de proteção.

O aterramento do neutro dos transformadores e massas metálicas fornece um caminho de baixa impedância para esta corrente de curto possibilitando a operação da proteção.

1.9.5 Dispositivo Elétrico

Equipamento ou componente que dá passagem à corrente elétrica, praticamente sem utilizar a energia elétrica que por ele transita. É o caso, por exemplo, de chaves, fusíveis, interruptores.

1.9.5.1 Dispositivo a Corrente Diferencial-Residual^[22]

Os dispositivos à corrente-diferencial, abreviadamente dispositivos DR, constituem-se no meio mais eficaz de proteção de pessoas (e de animais domésticos) contra choques elétricos, sendo largamente utilizados hoje em quase todos os países do mundo.

É o único meio ativo de proteção contra contatos diretos e, na grande maioria dos casos, o meio mais adequado para proteção contra contatos indiretos.

Por outro lado podem exercer a proteção contra incêndios e também constituir-se em vigilantes da qualidade da instalação.

1.9.6 Efeito Corona^[17]

Quando o gradiente na superfície do condutor supera a rigidez dielétrica do ar em torno de 30 kV/cm origina-se descarga saindo do condutor e perfurando os primeiros centímetros da camada de ar.

Esse fenômeno representa a perda de energia nas linhas de transmissão e as descargas dão origem a um ruído característico em uma faixa ampla de frequências desde as mais baixas - ruído característico até as mais altas - interferência nas comunicações de rádio, televisão, radar.

Estas conseqüências que são muito importantes para as linhas de transmissão não apresentam problemas para sistemas de proteção aqui tratados. No entanto é possível que a energia liberada nessas descargas venha a causar inflamação nas áreas classificadas.

Por esta razão, os condutores de descida dos SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas não devem atravessar Áreas Classificadas. As exceções só deverão ser admitidas após um dimensionamento dos condutores que evitem a formação dessas descargas.

Este assunto precisa ainda ser mais pesquisado para haver uma base científica para se conseguir mais segurança.

1.9.7 Equipamento Elétrico

Cada uma das partes constituintes com que se realiza materialmente o esquema de uma instalação elétrica, distintas entre si e essenciais ao funcionamento da instalação.

Nesse termo não são incluídas as estruturas de suporte, os isoladores e os condutores de ligação.

1.9.8 Normas Técnicas

As normas técnicas podem ser colocadas em ordem de nível de abrangência, observe que não se trata de nível de importância. A norma técnica de menor abrangência é a de nível de empresa pelo fato de só cuidar das atividades fim da empresa.

Já em um nível maior são as normas técnicas nacional, válida para o país e só é considerada, quando é emitida por um organismo reconhecido, no caso do Brasil é a – ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

As normas técnicas estrangeiras (norma técnica nacional, porém de outro país Ex: NEC – (*National Electrical Code*) possuem nível de abrangência maior do que as brasileiras.

Com abrangência ainda maior são as normas técnicas regionais, elaborada para atender determinados grupos de países como o Mercosul. Isso evita que haja barreiras técnicas entre os países que fazem parte do mesmo grupo econômico.

O nível de topo entre as normas são as internacionais, possuem maior nível de abrangência. Elaborada com a finalidade e harmonizar a tecnologia do mundo, representam a linguagem universal.

Todas as normas são orientadas para se basear nas normas técnicas internacionais. Os assuntos específicos de eletricidade e eletrônica são tratados pela IEC – (*International Electrotechnical Commission*).

1.9.9 Segurança contra Choques Elétricos^[19]

Instalações elétricas em geral apresentam materiais metálicos não energizados como meio de evitar contato das pessoas com partes energizadas, tais como barramentos de quadros elétricos, interior de equipamentos.

Contudo se houver uma falha no isolamento destes sistemas os usuários estarão sujeitos a choques elétricos com o conseqüente risco para as pessoas.

O aterramento é utilizado para assegurar que o potencial das partes metálicas aterradas fique sempre abaixo do nível dos potenciais perigosos, garantindo assim a proteção das pessoas.

1.9.10 Surtos^[17]

Trata-se de uma perturbação anormal da corrente ou tensão normalmente esperada em um sistema. São causadas por manobras na rede, descargas atmosféricas, interferências eletromagnéticas e outros. O controle dos surtos dentro de um sistema elétrico é obtido através de filtros protetores contra sobretensões, tais como pára-raios de linha, supressores, capacitores.

Os modernos equipamentos eletrônicos possuem linhas de comunicação de dados com outros equipamentos sujeitos a surtos.

O aterramento é essencial para a correta operação dos protetores contra sobretensões instalados em redes de alta e baixa tensão, pois estes dispositivos drenam as correntes dos surtos para a terra, funcionando como uma válvula de escape para as correntes geradas pelas sobretensões.

1.9.11 Terra de Plataforma ^[20]

Para efeito geral, é a massa de casco metálico da embarcação ou estrutura metálica de qualquer plataforma fixa.

A estrutura contínua de módulo que são montados e soldados, tendo uma conexão permanente à estrutura principal, jaqueta, é considerada “terra”.

Módulos de perfuração e outras partes que não sejam soldadas à estrutura metálica principal, deverá ser provida de ligação à malha de aterramento, para torná-los equipotencial a terra.

1.10 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DA PRÁTICA DO ATERRAMENTO

Condições Específicas são definidas como condições essenciais para que seja dado suporte ao assunto em questão.

O Solo, o Aterramento, o Sistema de Aterramento e a Segurança através da proteção com o uso do Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) serão apresentados em suas condições essenciais.

1.10.1 O Solo

Considerado como um condutor através da qual a corrente elétrica pode fluir, difundindo-se em função da resistividade com resistividade na faixa de 50 à 100 Ω .m (ohm.metro) é considerado como bom condutor (exemplo: solos alagadiços, lodos, húmus, argilas). Acima deste valor um condutor razoável.

Através do tratamento químico podemos fazer com que venha a conservar as características de um bom condutor.

1.10.2 O Aterramento

Definido no sub-ítem 1.10.1.

1.10.3 O Sistema de Aterramento

Conjunto de condutores, cabos, hastes e conectores interligados, circundados por um elemento que dissipe para a terra as correntes que sejam impostas a esse sistema; de tal forma que garanta as condições de segurança pessoal nas proximidades e dentro do local instalado. Além disso o aterramento garante também a proteção dos equipamentos do local. Em termos de segurança, devem ser aterradas todas as partes metálicas que possam eventualmente ter contato com partes energizadas.

Assim, um contato acidental de uma parte energizada com a massa metálica estabelecerá um curto-circuito, provocando a atuação da proteção e interrompendo a ligação do circuito energizado a massa. Existem várias maneiras para aterrar um sistema elétrico, que vão desde uma simples haste, passando por placas de formas e tamanhos diversos, chegando as mais complicadas configurações de cabos enterrados no solo. Os diversos tipos de sistemas de aterramento devem ser realizados de modo a garantir a melhor ligação com a terra. Os tipos principais são:

- a) uma simples haste cravada ao solo;
- b) hastes alinhadas;
- c) hastes em triângulo;
- d) hastes em quadrado;
- e) hastes em círculo;
- f) placas de material condutor enterrado no solo;
- g) fios ou cabos enterrados no solo, formando diversas configurações, tais como estendido em vala comum, em cruz, em estrela, quadriculados formando uma malha de terra.

1.10.4 A Segurança pela Proteção DR

O Dispositivo **Diferencial Residual (DR)**, detecta a soma fasorial das correntes que percorrem os condutores vivos de um circuito, num determinado ponto do circuito, isto é a corrente diferencial-residual (I_{DR}) no ponto considerado, e provoca a interrupção do circuito, quando I_{DR} ultrapassa um valor preestabelecido, chamado de corrente diferencial-residual nominal de atuação ($I_{\Delta N}$). Teoricamente, num circuito normal, a soma fasorial das correntes que percorrem os condutores vivos, mesmo que haja um desequilíbrio de correntes (circuito trifásico desequilibrado) é igual a zero (1ª lei de Kirchhoff), ou seja, a corrente diferencial-residual é nula.

Na prática não existe nenhum circuito absolutamente normal, os equipamentos de utilização e as linhas elétricas sempre apresentam correntes de fuga consideradas normais. São estas correntes e as eventuais correntes de falta fase-massa que o dispositivo **DR** detecta. A norma estabelece que para a proteção de pessoas, o **DR** deve atuar em uma corrente de ≤ 30 mA (miliamperes), que é o tipo mais comum encontrado no mercado. Existem outras capacidades (100 mA e 300 mA), porém não servem para proteção pessoal.

A norma NBR 5410^[21] em sua última versão (1997) não obriga a utilização destes dispositivos nas instalações e equipamentos. Seu uso é uma opção de projeto. Podemos classificar os **DR's** em três aspectos: Tipo de falta detectável; Fonte auxiliar e Curvas de atuação.

- a) Tipo de falta detectável: Esse parâmetro determina o modo de funcionamento do **DR**. Atualmente podemos encontrar três tipos:
 - a.1) Tipo AD: Sensível apenas a corrente alternada, isto é, o disparo é garantido apenas para correntes diferenciais senoidais;
 - a.2) Tipo A: Sensível a corrente alternada e a corrente contínua pulsante;

- a.3) Tipo B: Sensível a corrente alternada, a corrente contínua pulsante e a corrente contínua pura. Esse tipo é o mais moderno do mercado.
- b) Fonte auxiliar: Os **DR's** podem ser construídos de duas formas:
- b.1) Funcionamento direto, ou seja, sem a necessidade de energia auxiliar;
 - b.2) Funcionamento eletrônico, isto é, com a necessidade de energia (fonte de alimentação) auxiliar. A fonte pode ser a própria rede elétrica.
- c) Curvas de atuação: Existem duas curvas possíveis de atuação para os **DR's** a curva "G" e "S". Para o tipo "G", a normalização só especifica limites máximos, isto é, o tempo máximo em que o dispositivo deve efetivar o desligamento do circuito protegido. Já o tipo "S", deve obedecer também a tempos mínimos de não-atuação. Essa característica é a razão do nome desse tipo de **DR** ("S" de seletivo), visto que ele atua após decorrido um certo tempo.

2 PRÁTICA DOS DIFERENTES ESQUEMAS DE ATERRAMENTO EM BAIXA TENSÃO^[22]

O aterramento deve assegurar, de modo eficaz, as necessidades de segurança e de funcionamento de uma instalação elétrica, constituindo-se num dos pontos mais importantes de seu projeto e de sua montagem. O aterramento de proteção consiste na ligação à terra das massas dos elementos condutores estranhos à instalação, tem por objetivo limitar o potencial entre as massas, entre massas e elementos condutores estranhos à instalação e entre ambos e a terra a um valor suficientemente seguro sob condições normais e anormais de funcionamento, além de proporcionar às correntes de falta para a terra um caminho de retorno de baixa impedância.

O aterramento funcional, isto é, a ligação à terra de um dos condutores vivos do sistema (o neutro em geral), proporciona principalmente a definição e estabilização da tensão da instalação em relação à terra durante o funcionamento; limitação de sobretensões devidas as manobras, descargas atmosféricas e a contatos acidentais com linha de tensão mais elevada. Quanto ao aterramento funcional, os sistemas podem ser classificados em diretamente aterrados (**TN**); aterrados através de impedância e os não aterrados (**IT**).

A classificação dos diferentes tipos de aterramento são apresentados na NBR-5410^[21] como: **TN-S**, **TN-C**, **TN-C-S**, **TT** e **IT**.

A Primeira Letra - Especifica a situação da alimentação em relação a terra.

T - A alimentação do lado da fonte tem um ponto solidamente aterrado;

I - Isolação de todas as partes vivas da fonte de alimentação em relação à terra.

A Segunda Letra – Especifica a situação das massas em relação à terra.

T - Massa aterrada com terra próprio independente da fonte;

N - Massa ligada ao ponto aterrado da fonte;

I - Massa isolada, não aterrada.

A Terceira Letra – Forma de ligação do aterramento da massa do equipamento, usando o sistema de aterramento da fonte.

S - Separado, o aterramento da massa e feito por um fio (**PE**), distinto do neutro;

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

“Em locais onde há risco de incêndio e explosão o esquema **TN-C** é proibido e o sistema **TN-S** (Figura 8), é adotado”.

A proteção por Dispositivo **Diferencial Residual (DR)** de sensibilidade 500 miliampéres (mA) na origem do circuito que supre os locais de risco torna-se obrigatório em alguns países.

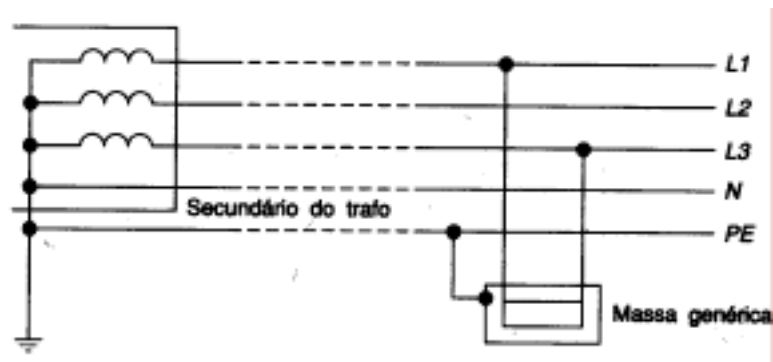


Figura 8 - Esquema de Aterramento **TN-S**^[18]

2.1 ESQUEMA TN-S

Os condutores de proteção e neutro são separados. Em sistemas com cabo enterrado onde exista uma capa de proteção de chumbo, o condutor de proteção é geralmente a capa de chumbo. O uso de condutores separados **PE** (proteção) e **N** (neutro) é obrigatório para circuitos de seção inferior a 10 mm² para cobre e 16 mm² para alumínio e em equipamentos móveis. Os esquemas **TN-C** e **TN-S** podem ser usados na mesma instalação (**TN-C-S**).

Neste esquema **TN-C-S**, o esquema **TN-C** não deve ser usado à jusante do sistema **TN-S**.

O ponto em que o condutor **PE** se separa do condutor **PEN** é geralmente na origem da instalação.

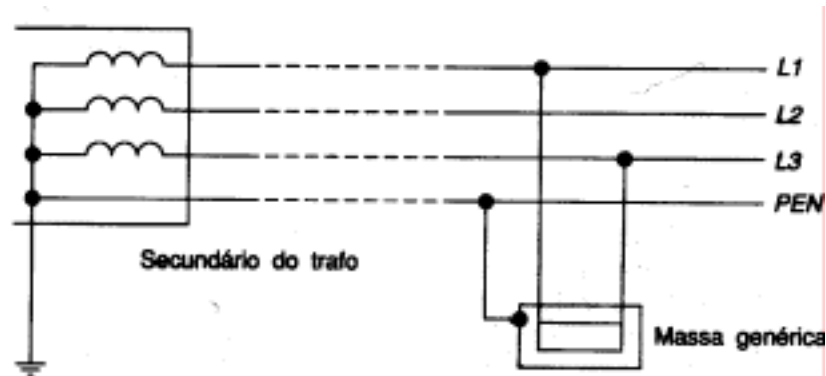


Figura 9 - Esquema de Aterramento TN-C^[18]

2.2 ESQUEMA IT

Caso seja utilizado um sistema elétrico com a característica do tipo **IT**, ou seja, com neutro isolado do terra ou aterrado através de impedância, deve ser utilizado um dispositivo supervisor de isolamento, para indicar a primeira falta à terra. Uma instalação em ZONA 1, deve ser desligada instantaneamente, no caso de uma primeira falta à terra, ou pelo dispositivo de supervisão da isolação ou então pelo dispositivo de proteção às correntes residuais.

Outra importante diretriz é que, quando for utilizado cabo armado e a armação servir como condutor de proteção, seu dimensionamento deve estar de acordo com a NBR 5410^[21].

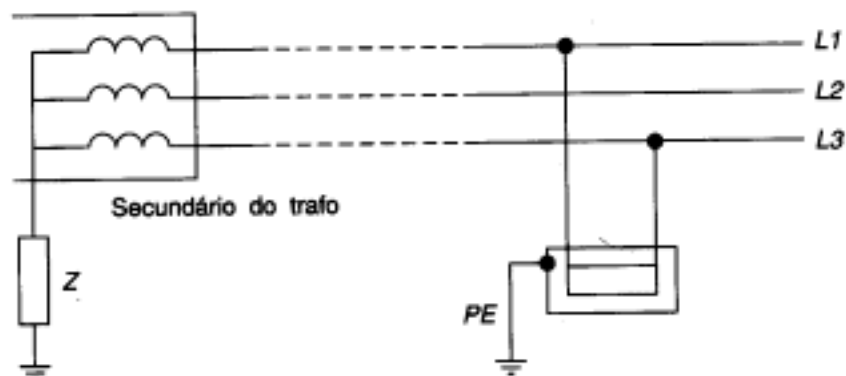


Figura 10 - Esquema de Aterramento IT^[18]

2.3 ATERRAMENTO DE SEGURANÇA

A norma NBR 5410^[21] estabelece que toda a parte não condutora de uma instalação deve ser aterrada individualmente sistema **TT** ou através de um condutor de proteção aterrado (se o condutor de proteção utilizado for o neutro (**PEN**), o sistema é dito **TN-C** se o condutor de proteção for separado do neutro mas aterrado no mesmo ponto (**PE**) o sistema é dito **TN-S**.

Quando o indivíduo toca uma massa não aterrada ou aterrada sob uma impedância elevada, como no caso do motor da figura apresentada fica submetido a uma tensão de toque e a uma corrente de choque cujos valores são muitas vezes capazes de levá-lo à morte.

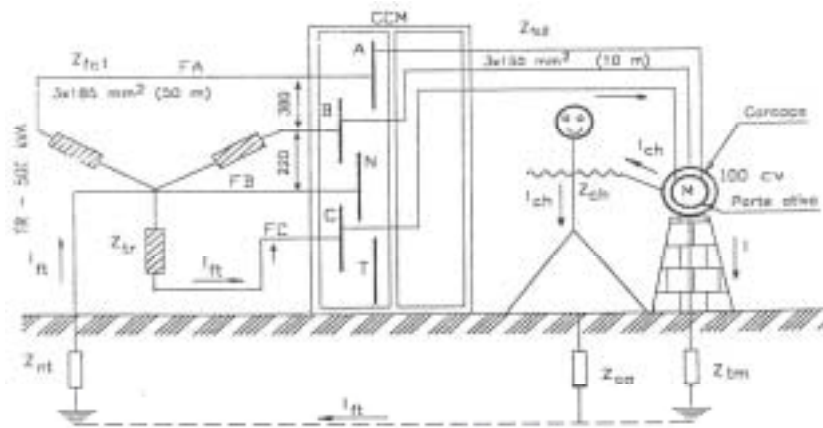


Figura 11 - Motor Aterrado Sob uma Impedância Z_{tm} ^[23]

Esta prática de aterramento refere-se ao esquema **TT**. Podemos observar que quando um indivíduo toca uma massa não aterrada ou aterrada sob uma impedância elevada, como no caso do motor da figura 11, fica submetido a uma tensão de toque e a uma corrente de choque cujos valores são muitas vezes capazes de levá-lo à morte.

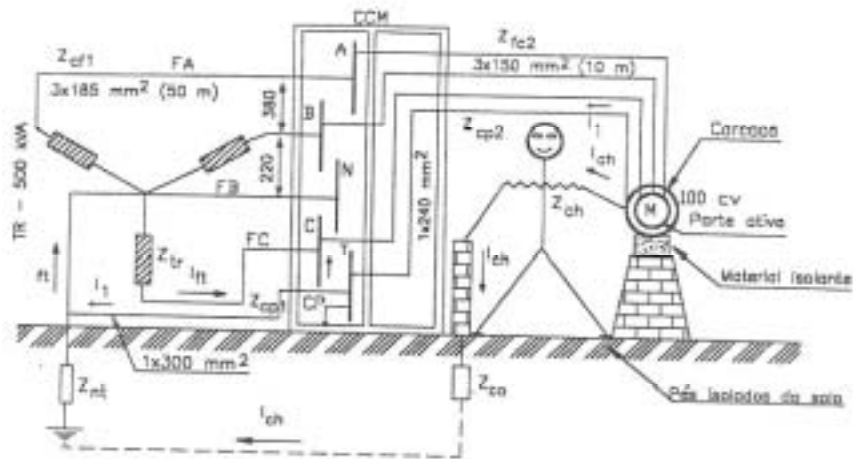


Figura 12 - Motor Aterrado Através do Condutor de Proteção^[23]

Esta prática de aterramento refere-se ao esquema **TN-S**. Podemos observar (figura 12) de que o CCM e o motor estão aterrados através de um condutor de proteção (**PE**). Caso ocorra uma falta fase-massa a corrente irá preferir o caminho de menor impedância, nesta condição a preferência será o condutor **PE**.

2.4 CONSIDERAÇÕES DA PRÁTICA DO ATERRAMENTO

Quando a corrente de falta á terra é restrita devido a uma impedância inevitavelmente alta, de modo que a proteção de sobrecorrente não pode ser baseada no disparo do disjuntor do circuito dentro do tempo prescrito, as seguintes possibilidades devem ser consideradas:

a) Sugestão 1

Instalar disjuntor que tenha um disparo magnético instantâneo com um nível de operação menor que o ajuste usual. Isto proporciona proteção para pessoas em circuitos que são normalmente longos. Precisa ser verificado se altas correntes transitórias tais como as de partida de motores não irão causar desligamentos indesejados.

b) Sugestão 2

Instalar Dispositivo **Diferencial Residual (DR)** no circuito. O dispositivo não precisa ser de alta sensibilidade (HS). Quando são envolvidas tomadas os circuitos precisam ser protegidos por **DR** de alta sensibilidade (HS) (≤ 30 mA); geralmente utiliza-se um para cada tomada em um circuito comum.

c) Sugestão 3

Aumentar a bitola dos condutores **PE** ou **PEN** ou condutores de fase, para reduzir a impedância do laço.

d) Sugestão 4

Adicionar condutores equipotenciais suplementares. Isto terá um efeito similar ao da sugestão 3, uma redução na resistência do laço de falta à terra, enquanto que ao mesmo tempo melhora as medidas existentes de proteção contra tensões de toque.

A eficiência desta melhoria pode ser verificada pelo teste da resistência entre cada parte condutora exposta e o condutor de proteção principal. Dos esquemas de aterramento apresentado o praticado em Áreas Classificadas são o **TN-S**, onde os condutores neutro (**N**) e de proteção(**PE**) são separados e o esquema **IT** que possui somente as massas aterradas (ambos objeto deste estudo). Cada um deverá ser analisado e suas particularidades conhecidas para optar por aquele que melhor o atenda. O esquema **TN-S** pode ser utilizado em instalações com condutores de qualquer tipo de seção, além de admitir o uso de Dispositivos a Corrente **Diferencial Residual (DR)**, quer como proteção contra contatos indiretos, quer como proteção complementar contra contatos diretos.

No esquema **IT** não existe o aterramento direto de qualquer ponto da alimentação estando as massas aterradas em um ou mais eletrodos de aterramento (independentes em geral do eletrodo de aterramento eventualmente existente para a alimentação).

Nele quando da ocorrência de uma primeira falta fase-massa, a corrente resultante é limitada de tal maneira que nenhuma tensão de contato perigosa possa aparecer em qualquer massa da instalação. Essa condição permite evitar o seccionamento automático decorrente de uma primeira falta, permitindo que o setor atingido continue funcionando.

No entanto é importante que a falta seja rapidamente localizada e eliminada, do contrário a instalação irá comportar-se como se o esquema fosse **TN** ou **TT** caso ocorra uma segunda falta.

3 PLATAFORMAS MARÍTIMAS^[24]



Figura 13 - Campo de Produção Marítimo

Plataformas Marítimas são unidades de exploração, perfuração e produção do petróleo subtraído das profundezas do oceano. A API^[11] não permite a simultaneidade das atividades em uma única plataforma, ou seja, a plataforma deverá ser de exploração, perfuração ou produção.

Em sua estrutura feita de aço, estão montados vários equipamentos elétricos e eletrônicos que em conjunto realizam a função de mantê-la operando. O uso do critério para a prática da eletricidade é feito através de procedimentos elaborados a partir das normas técnicas aplicadas nos ambientes com Áreas Classificadas.

Os profissionais são altamente qualificados e a segurança é uma exigência da Classificadora. A Classificadora é uma sociedade, através de um consórcio integrado por vários países como (Inglaterra, Japão, Estados Unidos,

Alemanha) que estabelecem regras com objetivo de promover a segurança e o seguro patrimonial. O uso das normas internacionais é compulsório.

A prática do aterramento, objeto do nosso estudo, nestes ambientes, exige algumas particularidades que serão apresentadas no decorrer deste capítulo, assim como o tratamento da energia eletrostática e das descargas atmosféricas conforme relacionado abaixo:

- a) Aterramento de Equipamentos;
- b) Aterramento de Sistemas Elétricos;
- c) Eletricidade Estática;
- d) Descargas Atmosféricas.

3.1 ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTO^[20]

O aterramento deve limitar a tensão que pode estar presente entre a carcaça metálica de um equipamento com falha de isolamento e a estrutura da plataforma.

A corrente deve ser drenada pelo cabo de aterramento ao invés de circular pelo corpo de uma pessoa que possa estar em contato com o equipamento. O aterramento deve fornecer um caminho de baixa resistência ou baixa impedância para as correntes de falta (curto-circuito) para a terra.

As cargas estáticas acumuladas em vasos, tubulações que manuseiam líquidos inflamáveis devem ser escoadas para a estrutura da plataforma quando for o caso, eliminando possíveis fontes de ignição.

Em superfícies não condutoras, sujeitas a carregamento eletrostático por atrito, não haverá risco de ignição por eletricidade estática se uma das seguintes condições forem atendidas:

- a) Sua resistência superficial for superior a $1M\Omega$ (mega ohm);
- b) Sua área for menor do que o valor indicado na tabela

Tabela 6 - Áreas Máximas de Superfícies não Condutoras Isentas de Riscos de Ignição por Carregamento Eletrostático ^[3]

Zonas	GRUPOS		
	IIA	IIB	IIC
0	50 cm ²	25 cm ²	4 cm ²
1	100 cm ²	100 cm ²	20 cm ²
2	sem limite	sem limite	sem limite

3.2 EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS

Segundo o SOLAS^[IX] (definido em 3.13.1), item 2.14, não é permitida a circulação de altas correntes de defeito pelo casco da embarcação, que podem provocar centelhas com erosão da estrutura podendo culminar em explosão, em caso de arco em suporte metálico na base das bombas, tanque/vaso com óleo/gás.

Assim todos os circuitos de geração e distribuição, circuitos de força e iluminação em navios para transporte de inflamáveis, são isolados de terra (item 2.2).

Nas primeiras plataformas flutuantes adotou-se de modo geral o sistema de neutro isolado de terra, sistemas isolados, partindo das mesmas regras então adotadas pelo SOLAS^[IX] para navios que manipulam substâncias inflamáveis e também pelas Classificadoras. Sistema com o neutro aterrado por alta resistência (IT) vem sendo adotado recentemente, com correntes de defeito à terra de até 5 Ampères em baixa tensão, e de 10 a 20 Ampères, em média tensão, tipicamente.

3.3 PARTES METÁLICAS EXPOSTAS NÃO CONDUTORAS

As partes metálicas não destinadas a conduzir correntes elétricas, tais como, invólucros e carcaças de motores, de luminárias fixas ou portáteis, painéis, oleodutos, bandejas (calhas) de cabos e outros, deverão estar aterradas através de um contato metálico com a malha de aterramento e o casco da plataforma.

Deve haver garantia de uma conexão elétrica efetiva e permanente para evitar o aquecimento, arcos ou centelhas causados por acoplamentos não eficazes ao aterramento, quando da ocorrência de correntes de defeito. Um efetivo aterramento significa ligar diretamente (galvanicamente) a carcaça dos equipamentos ao casco metálico da plataforma, eliminando o risco de centelhamento e de choque elétrico.

Quando for assegurado um contato metálico adequado entre as carcaças, e tais equipamentos e a estrutura do casco, seja através de solda, fixação por parafuso ou rebite, com raspagem da pintura, ou com o uso da arruela dentada fica dispensado o uso de cabo de aterramento dedicado para o equipamento.

A medição da resistência de contato entre carcaça de um equipamento e a estrutura, medindo de superfícies metálicas sem pintura, deve fornecer leitura de “0,0” (zero) para qualquer megohmetro 100/250 volts e menor do que 5 ohms (*) com qualquer multímetro na escala ôhmica.

Aterramento de circuitos intrinsecamente seguro e respectivas blindagens de cabos, deve ser menor que um ohm. [Prática Recomendada]

(*) A resistência de aterramento deve ser tão menor quanto maior seja a corrente de curto-circuito para terra.

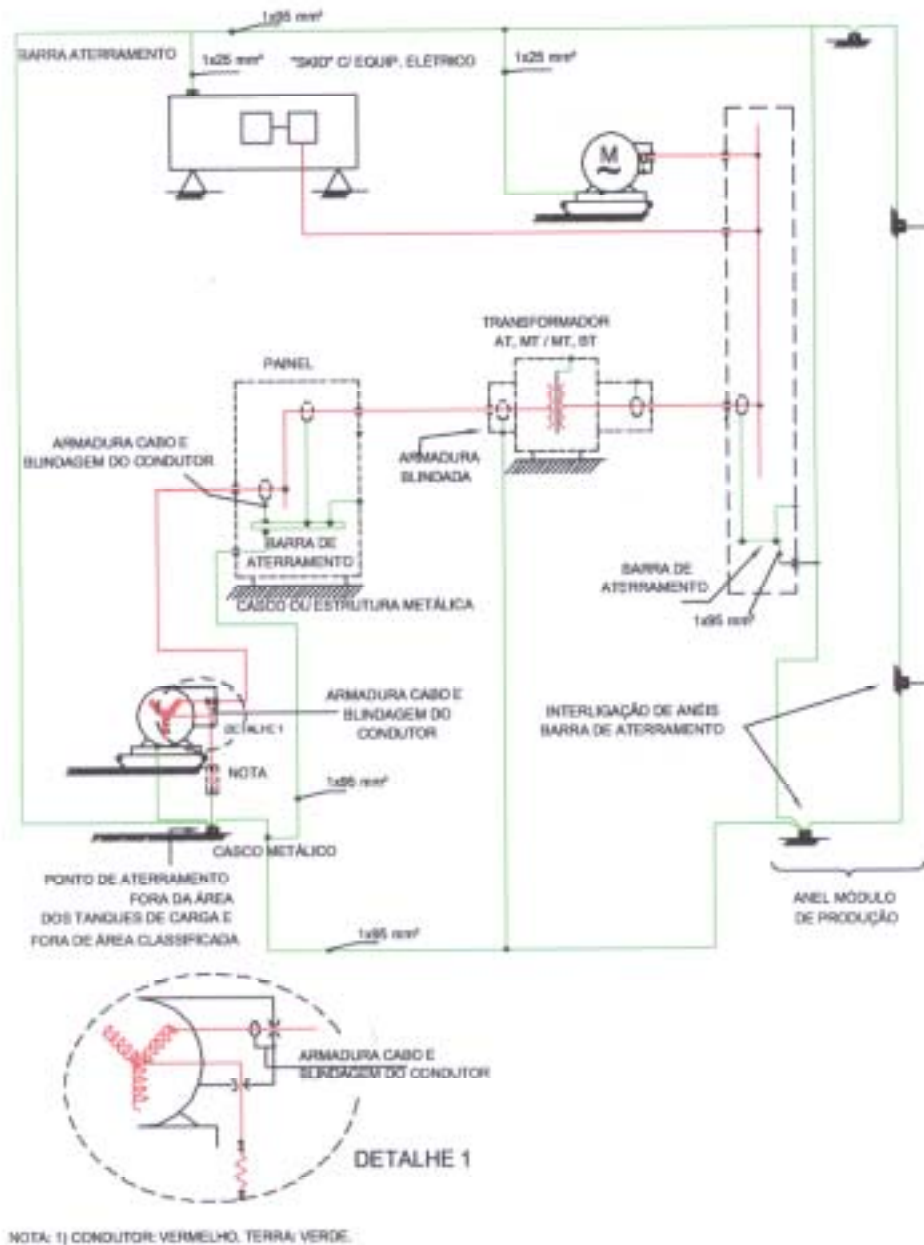


Figura 14 – Anel de Aterramento para Embarcações Marítimas^[25]

3.4 ATERRAMENTO POR CONTATO METÁLICO

Utilizado, por exemplo, em motores e painéis elétricos montados diretamente em pisos ou em anteparas de aço, como ilustrado abaixo.

A utilização de arruela dentada torna mais efetivo o contato físico, obtido quando o equipamento é aparafusado diretamente na estrutura.

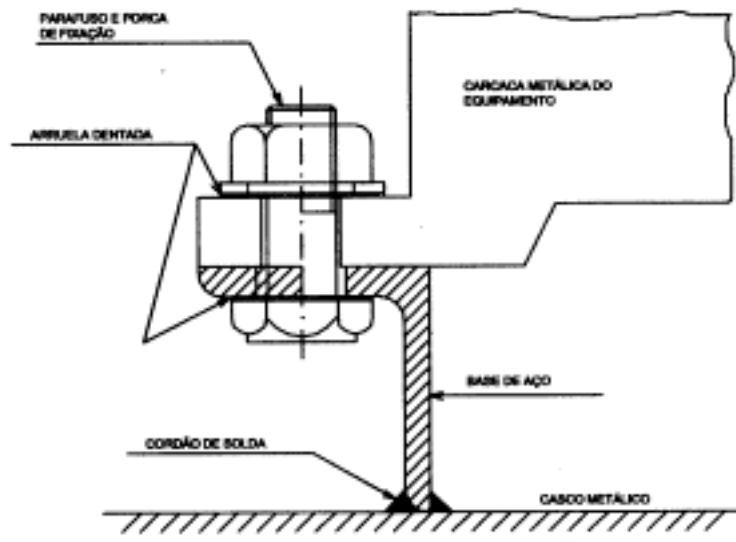


Figura 15 - Aterramento por Contato Metálico^[25]

3.5 ATERRAMENTO ATRAVÉS DE CONDUTOR

Utilizado em:

- a) quadros elétricos de distribuição;
- b) painéis montados em anteparas não metálicas;
- c) equipamentos montados em amortecedor de vibração de borracha.

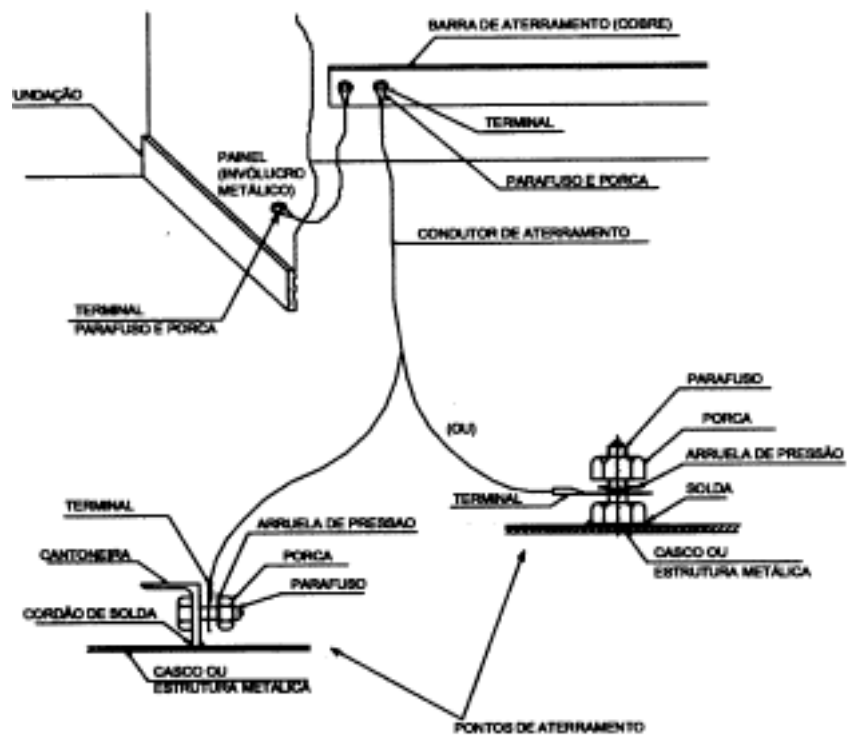


Figura 16 - Quadros Elétricos^[25]

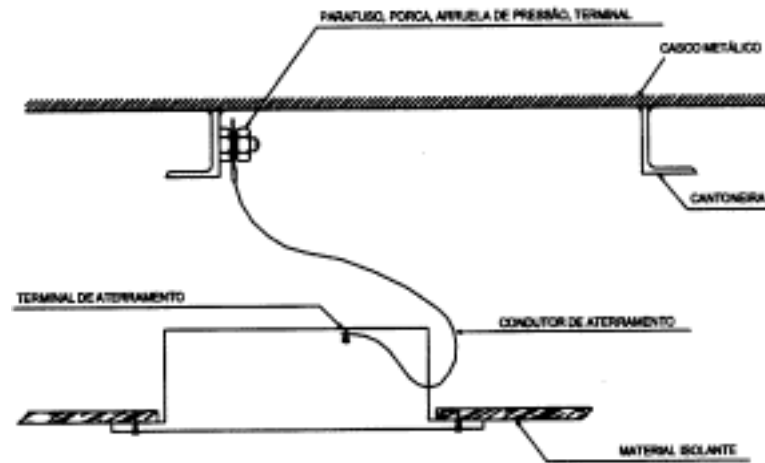


Figura 17 - Painéis^[25]

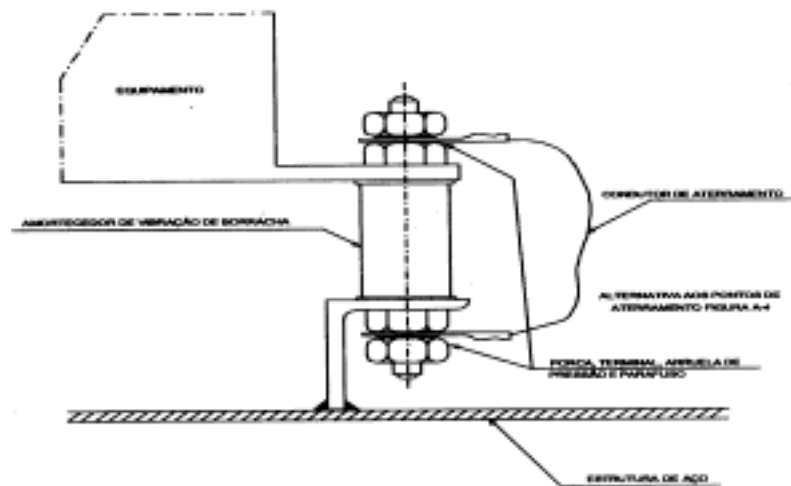


Figura 18 - Equipamentos^[25]

3.6 MALHA DE ATERRAMENTO

Uma malha de aterramento visível, com cabo de cobre, isolado em PVC verde, e protegida contra danos mecânicos, interligando todas as principais estruturas metálicas, deverá ser instalada em plataformas que tenham Sistemas Solidamente Aterrados (TN), ou Aterrados através de Baixa Resistência (IT), conforme Norma Petrobras N-2222^[25].

3.7 ATERRAMENTO DE BLINDAGEM E ARMADURA METÁLICA DE CABOS

Cabos em Áreas Classificadas devem ser do tipo armado. Onde estes cabos passam através das fronteiras de tais locais, eles devem ser instalados com dispositivos do tipo estanque a gás. Nenhuma emenda é permitida em Áreas Classificada; exceto para circuitos intrinsecamente seguros.

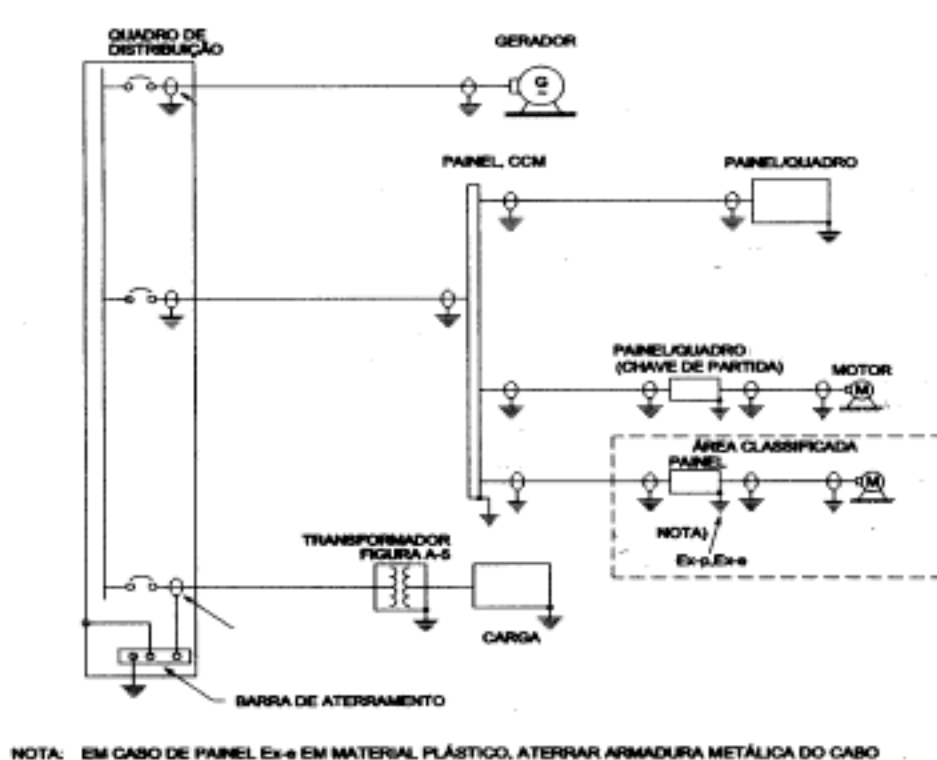


Figura 19 - Aterramento de Cabo com Armadura Metálica^[25]

A figura 19 apresenta o aterramento praticado no conjunto quadro de distribuição, painel, chave de partida, motor e carga, embora não representados, são necessários. Todas as terminações de cabos armados com blindagem, armadura ou trança metálica, em Áreas Classificadas, devem ser efetivamente aterrados.

Essa armadura, blindagem ou trança deve ser aterrada em ambas as extremidades do cabo, exceto nos ramais de alimentação de carga terminados em áreas não classificadas, onde poderá ser aterrada na extremidade de suprimento de energia.

A blindagem do cabo de circuitos intrinsecamente seguros também deve ser efetuada em um único ponto. A continuidade elétrica da armadura em toda a extensão do cabo, particularmente nas conexões e derivações, deve ser assegurada. Quando do emprego do equipamento com invólucros de alumínio, do tipo à prova de explosão (Ex-d), utiliza-se prensa-cabo à prova de explosão, com anéis cônicos para aterrar a armadura metálica do cabo.

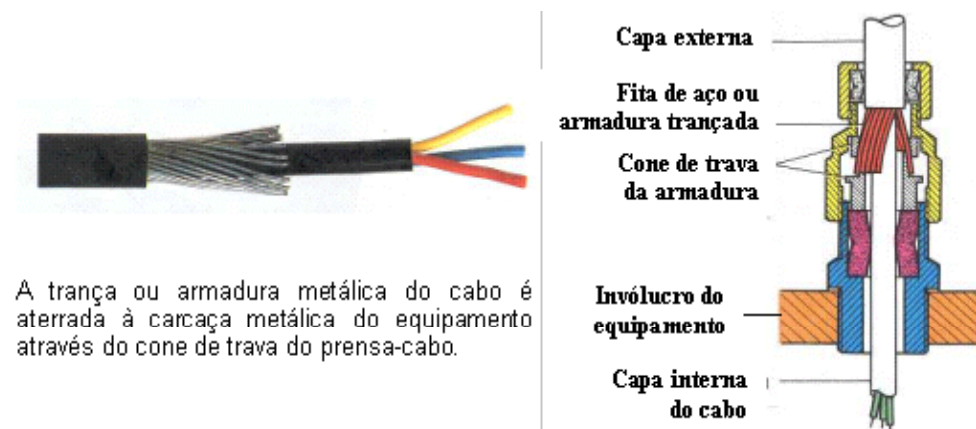
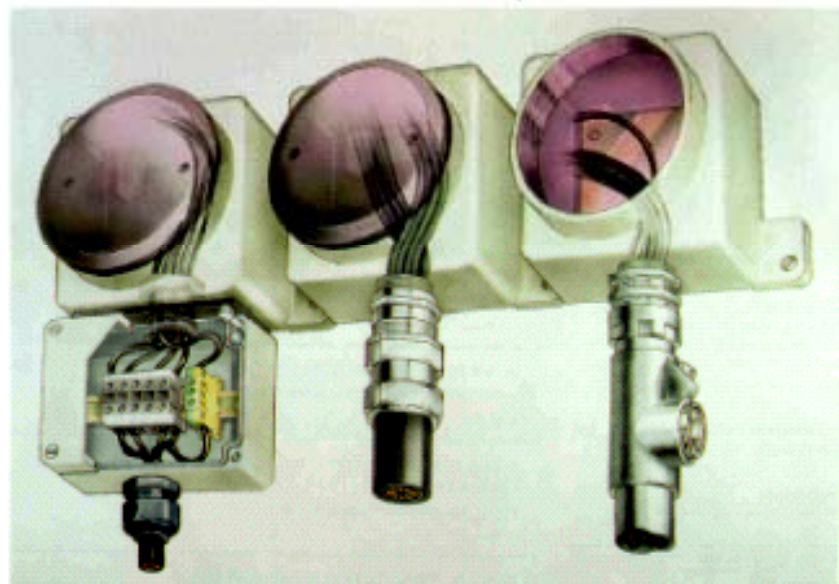
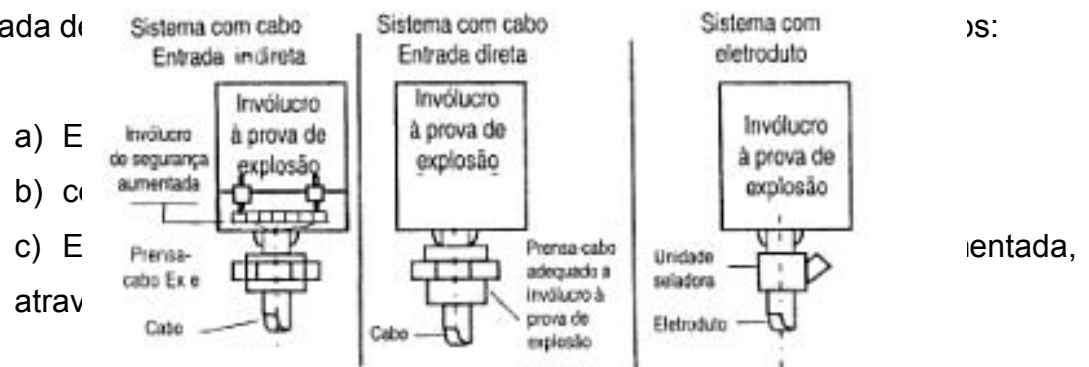


Figura 20 - Aterramento de armadura metálica de cabo armado.
Reproduzido de ^[20]

Aterramento de armadura metálica de cabo armado, em caixa metálica a prova de explosão (Ex-d) através de prensa-cabo (Ex-d), com anéis de trava /aterramento. Com o uso cada vez mais freqüente de invólucros e caixas plásticas, com proteção do tipo segurança aumentada (Ex-e), utilizando prensa cabos em plástico, o aterramento da armadura metálica do cabo passa a ser feito pelo método indireto, dentro da caixa que venha com um terminal de aterramento interno específico para interligar partes metálicas, ou caso, não haja tal terminal, com presilha/braçadeira ou terminal de aterramento externo, conforme figura 21 abaixo. A normalização IEC^M, admite os seguintes tipos de entrada de



(a) Entrada indireta em caixa de segurança aumentada

(b) Entrada direta em caixa à prova de explosão

(c) Cabo em eletroduto em caixa à prova de explosão

Figura 21 – Tipos de entradas em cabos em invólucros conforme a normalização IEC^M

3.8 ATERRAMENTO DA MALHA METÁLICA DE CABOS ELÉTRICOS

Quando um cabo armado, com armadura trança metálica chega a uma caixa plástica do tipo segurança aumentada, o aterramento da trança metálica do cabo pode ser feito conforme um dos métodos indicados.

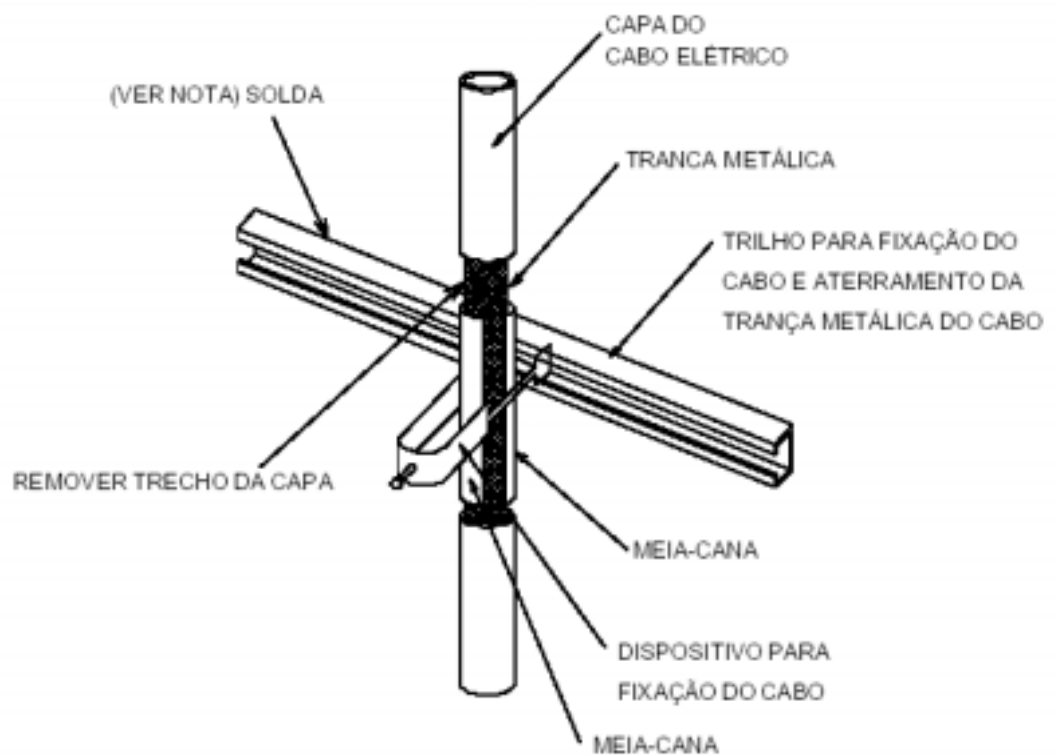


Figura 22 - Aterramento de Cabo^[25]

Nota: O trilho é aterrado a estrutura metálica

3.9 EQUIPAMENTOS MÓVEIS EM ÁREAS CLASSIFICADAS

Para equipamentos montados sobre estruturas não metálicas ou equipamentos móveis ou deslizantes sobre trilhos, como por exemplo, pórtico-rolante este deverá ter um cabo de aterramento dedicado, que acompanhe os movimentos do equipamento instalado em paralelo ao cabo de energia ou ter o quarto condutor adicional que siga dentro do mesmo cabo de alimentação ou ter cabo com capa com armadura metálica, ligando o equipamento ao casco.

3.10 ATERRAMENTO DE SISTEMA ELÉTRICO

As diretrizes para o projeto orientam que o sistema com neutro isolado (IT) deverá ser utilizado preferencialmente em FPSO^[III] (navios de produção) e FSO^[IV] (navios de armazenamento), visando evitar circulação de corrente pelo casco, durante faltas á terra (carça), na região dos tanques de petróleo (exigência das Sociedades Classificadoras).

O aterramento por alta resistência deverá ser também utilizado preferencialmente nas demais unidades marítimas de produção, que não armazenem petróleo.

Para ambos os sistemas, neutro isolado ou aterrado por alta resistência (IT), deverá ser garantida uma rápida e eficiente detecção e sinalização de faltas a terra.

3.11 ATERRAMENTO DE SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA

Os circuitos de bateria, de carregadores de bateria e painéis de distribuição de corrente contínua , deverão ser isolados de terra, ou seja, nem o

terminal positivo, nem o terminal negativo poderão ser aterrados ou ligados a estrutura metálica da plataforma.

Usualmente, os retificadores de maior porte, têm um circuito de alarme visual/ sonoro de falta à terra, identificando o polo (positivo ou negativo) de curto-circuito para a terra. O circuito defeituoso deve ser identificado e rapidamente eliminado o defeito, para evitar o progresso para curto-circuito direto entre os dois pólos.

Sistemas de partida (motor de arranque) de motores diesel, também não devem ser aterrados. Exceção é feita para o circuito de proteção catódica de corrente impressa, onde é necessário a ligação ou aterramento do negativo do retificador ao casco a ser protegido; o positivo do retificador é ligado aos ânodos.

3.12 ELETRICIDADE ESTÁTICA^[27]

Nas plantas petrolíferas a geração de eletricidade estática é preocupante uma vez que pode ser a responsável pela ignição da atmosfera explosiva situada na Área Classificada. Por isso cuidados adicionais são requeridos. A seguir alguns comentários pertinentes sobre esta forma de energia.

3.12.1 Eletricidade Estática e Correntes de Fuga

Estes importantes assuntos também estão discutidos na API Recommended Practice 2003. A eletricidade estática constitui um risco de incêndio e explosão durante o manuseio de petróleo (óleos crus e derivados líquidos).

Algumas operações podem dar lugar à acumulação de cargas elétricas, as quais podem ser repentinamente liberadas em descargas eletrostáticas,

com energia suficiente para inflamar uma mistura inflamável de gás de hidrocarbonetos com ar.

3.12.2 Acumulação de Eletricidade Estática

No caso do petróleo, os produtos são em geral, considerados como acumuladores de eletricidade estática. Os acumuladores estáticos incluem os produtos como: querosene de aviação, óleo diesel claro, óleo lubrificante, gasolina naturais, querosenes, solventes, gasolina automotiva e de aviação; naftas e gasóleos pesados.

As trenas de metal ou outros dispositivos de medição/amostragem que podem atuar como condutor elétrico, através de todo seu comprimento, deve ser efetivamente aterrada ou conectada antes da introdução no interior do tanque, até após a sua retirada. Não devem ser utilizados trenas ou cabos de material sintético. Para maiores detalhes, consultar o ISGOTT^[VI].

3.12.3 Estática nos Produtos Escuros Derivado do Petróleo

Estes produtos não são classificados como acumuladores estáticos pelo fato de terem suficiente condutividade elétrica que redistribui rapidamente as cargas elétricas separadas durante o manuseio, impedindo a acumulação de eletricidade estática, exemplo: óleo cru e óleo combustível.

3.12.4 Descargas de Eletricidade Estática

As descargas eletrostáticas podem ocorrer como consequência do acúmulo de cargas em:

- a) líquidos ou sólidos não condutores como, por exemplo, um óleo acumulador estático (tal como o querosene) bombeado para o interior de um tanque, ou um cabo de polipropileno;
- b) condutores líquidos ou sólidos eletricamente isolados como, por exemplo, neblinas, borrifos ou partículas em suspensão no ar ou uma barra de metal pendurada na extremidade de um cabo de fibra sintética.

A preocupação a ser tomada para evitar um risco de descarga eletrostática é manter todos os objetos metálicos interligados. A interligação elimina o risco de descargas entre objetos de metal que podem estar muito energizados e serem perigosos.

3.12.5 Contato Metálico para Descarga de Eletricidade Estática

O perigo de uma descarga devido ao acúmulo de eletricidade estática resultante do fluxo (atrito) de líquidos/gases/vapores pode ser evitado se a resistência entre tanques de armazenamento/plantas de processo/sistemas de tubulações e a estrutura da unidade ou instalações for menor que 1 M Ω (megaohm).

Assim, caso o contato entre os vasos de armazenamento/planta e processo/tubulação associada seja feito diretamente através de contato metálico das bases ou através de seus suportes, ou ainda por meio de solda ou fixação por parafusos à estrutura da plataforma, de modo a assegurar resistência menor que 1M Ω (megaohm), fica afastado o risco de acúmulo de carga estática.

3.12.6 Reabastecimento na Plataforma

Esta preocupação existe, por ser o helicóptero um dos meios de transporte mais utilizado para embarque ou desembarque de pessoal.

Qualquer ignição perigosa devido a uma diferença de potencial elétrico existente para o terra, no caso a estrutura metálica da plataforma, deve ser efetivamente controlada. Isto pode requerer o uso de correias condutoras, aterramento de equipamento de carga e descarga de fluido combustível e da mangueira e o aterramento do helicóptero, antes do abastecimento.

Todas as preocupações contra ignição devida á descarga de eletricidade estática devem estar de acordo com o NFPA-77 ^[28]. Assim um cabo de aterramento deverá ser ligado ao helicóptero para descarga de energia estática, distante da boca de abastecimento, antes de conectar a mangueira de abastecimento.

O mesmo procedimento deverá ser adotado para aterrar tanques de transferência móveis antes de qualquer conexão de mangueira para transferência.

3.12.7 Cordoalhas de Aterramento

Todos os equipamentos tais como tanques, máquinas e tubulações onde uma mistura explosiva pode estar presente devem estar aterrados.

Tubulações instaladas em Áreas Classificadas devem ser adequadamente aterradas por soldas ou por meio de parafuso e cinta metálica, fixando a tubulação ou seus suportes diretamente ao casco da plataforma, ou ainda através da utilização de cordoalhas de aterramento. Seções eletricamente isoladas, de tubulações metálicas ou de equipamentos devem ser interligados a outras partes do sistema ou aterrados individualmente. O

aterramento elimina o risco de descargas de eletricidade estática entre objetos metálicos.

Cordoalhas de aterramento devem ser instaladas onde for necessário garantir a continuidade elétrica e a capacidade de conduzir seguramente qualquer possível corrente de falta. Onde as cordoalhas de aterramento forem utilizadas, elas deverão ser claramente visíveis, protegidas contra danos mecânicos e do tipo que não seja afetada por produtos corrosivos e pintura.

Cordoalhas de aterramento são requeridas para tanques e vasos, plantas de processo e tubulações associadas, que não estejam diretamente conectados à estrutura metálica da plataforma. A cordoalha de aterramento pode ser dispensada quando tais equipamentos forem diretamente soldados ou aparafusados à estrutura ou indiretamente, através de suportes metálicos, conforme mostram as figuras abaixo.

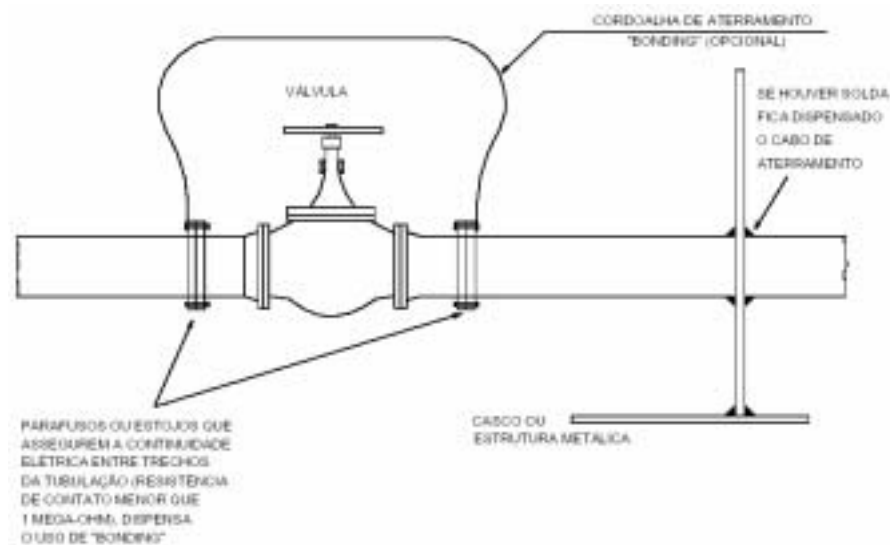


Figura 23 - Cordoalha do Aterramento^[25]

Nota: Para sistemas com neutro solidamente aterrado, a carcaça dos equipamentos elétricos tem que ser ligados a malha de aterramento através e cabo de aterramento dedicado.

3.13 Cuidados Adicionais para as Descargas Atmosféricas^[20]

Havendo um contato elétrico entre casco metálico da plataforma e o mastro ou outra estrutura metálica de altura adequada nenhuma outra proteção adicional contra os efeitos de descargas atmosféricas será necessária.

Descargas atmosféricas quando atingem a Plataforma são drenadas para o mar através de sua estrutura metálica. Dessa forma, a Plataforma e o pessoal nela embarcado estão inerentemente protegidos, conforme o NFPA 780^[29], itens D-6 e D-10:

Item D-6 da NFPA:

“Navios com Casco Metálico - Se existir um contato elétrico entre o casco metálico e o mastro metálico ou outra superestrutura metálica de adequada altura que atenda as recomendações da seção D-2, nenhuma outra proteção contra raio é necessária. Barcos com objetos não aterrados ou não condutores projetados acima do mastro metálico ou superestrutura devem ter estes objetos aterrados ou protegidos com condutor de aterramento, respectivamente, de maneira a protegê-los.”

Nota: A seção D-2 do NPFA 780^[29] dispõe sobre as recomendações para instalação de mastros para proteção contra descargas atmosféricas.

Item D-10.1 da NFPA:

“Navios quase invariavelmente são construídos com mastros, estruturas treliçadas, superestruturas, casco, chaminés e antenas de rádios usualmente fornece a Zona de Proteção recomendada na seção D-1.2. Então, navios e o pessoal embarcado estão usualmente inerentemente protegidos contra os efeitos dos raios.

Nos casos onde houver falta de adequada ZONA de proteção, eles devem ser corrigidos de acordo com a seção D-1.2.”

3.13.1 O Solas^[IX]

O SOLAS é uma entidade criada pela International Maritime Organization – IMO, (normativa), que pertence a ONU (Organização das Nações Unidas) que desde o naufrágio do navio Titanic dita as regras para segurança das embarcações marítimas e dos passageiros.

(site: www.imo.org)

O Capítulo II-I da publicação do SOLAS^[IX] especifica:

- a) No item 3.1: Sistema de distribuição com retorno pelo casco não deve ser usado para qualquer finalidade em petroleiro, seja para força, aquecimento ou iluminação em qualquer navio;
- b) No item 3.2: O requisito do parágrafo 3.1 não impede, sob condições provadas pela Classificadora o uso de Sistema Limitado e Aterrado Localmente:
 - b.1) nos sistemas de proteção catódica por corrente impressa;
 - b.2) nos sistemas aterrados localmente e limitados a uma região;
 - b.3) nos dispositivos de monitoração do nível de isolamento, desde que a corrente de circulação não exceda a 30 mA sob a condição mais desfavorável.

Sistema de distribuição aterrado não deve ser usado em petroleiro. A Classificadora (administração) pode excepcionalmente permitir o aterramento do neutro para Sistemas de Potência desde que as correntes resultantes não percorram qualquer espaço perigoso. Em unidades marítimas temos poucos casos de aterramento localizado, a saber:

- a) Proteção catódica;

- b) Transformadores de Controle, de Potencial (TP) e de Corrente (TC) no interior dos painéis elétricos, visando segurança pessoal;
- c) Ponto de retorno de máquina de solda, local;
- d) Instrumentação, Aterramento de circuitos intrinsecamente seguros;
- e) Aterramento de terra de ignitor de piloto para queimador.

3.14 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ATERRAMENTO NA PLATAFORMA MARÍTIMA

Nenhum equipamento elétrico instalado em áreas classificadas poderá ter partes vivas expostas. A alta salinidade presente em instalações elétricas em atmosfera marinha contribui para a falha no isolamento dos equipamentos elétricos, com possibilidade de curto-circuito e fuga de corrente para a carcaça metálica dos equipamentos.

Tais falhas podem gerar centelhas elétricas que podem constituir-se em fonte de ignição na presença de gases e também, risco de choque elétrico para as pessoas em contato com a carcaça dos equipamentos. A dispensa da malha de aterramento, e do cabo dedicado é válido apenas para sistemas de geração e/ou distribuição com neutro isolado ou aterrado por alta resistência com pequenas correntes de fuga à terra.

Para sistema aterrado através de baixa resistência (correntes de falha da ordem de 200 a 4000 Ampères) ou sistema com neutro solidamente aterrado (corrente de falha na ordem de até 50.000 Ampères) deve-se assegurar um caminho de baixa resistência para retorno ao ponto neutro do sistema, para que as correntes de curto-circuito não abram arcos por contato e nem escoem por elementos estruturais do casco ou tubulação de processo.

Em sistemas com neutro completamente isolado da terra ou ligado à terra através de impedância, uma falta provoca uma elevação de tensão das fases não afetadas podendo chegar a assumir um valor superior àquele de regime

normal. A isolação dos cabos fica, portanto, submetida a uma tensão muito superior àquela de regime normal, por um período que é função do tempo de operação dos dispositivos de proteção.

É previsto que a espessura da isolação dos cabos utilizados neste sistema seja maior do que aquela utilizada para cabos em sistema com o neutro diretamente ligado à terra.

4 TENDÊNCIA DO ATERRAMENTO NA UNIDADE INDUSTRIAL

Refinaria de petróleo é definida como uma unidade de negócio (UN).

Com objetivo de processar a matéria prima (petróleo), bombeada pelos terminais (marítimos ou terrestres) através dos oleodutos (tubulações enterradas), para transformar em seus derivados (gasolina, naftas, querosene, óleos etc) e assim poder comercializá-los. Como os recipientes que os contém (produtos e sub-produtos do petróleo) não são estanques, os locais de armazenamento são considerados como áreas classificadas.

Neste capítulo faremos comentários das diferentes formas de aterramento praticado: nos equipamentos; redes elétricas subterrâneas; motores / geradores; alimentadores; malha de terra; telecomunicação e circuitos intrínsecos e a questão dos potenciais de toque e de passo. E encerrando alguns pareceres da utilização do neutro aterrado com resistor.

4.1 ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS

O aterramento dos equipamentos objetiva o seguinte:

a)Assegurar que todas as partes de uma estrutura ou de uma carcaça de equipamento não esteja com um potencial acima da terra que possam ser perigosos para o pessoal;

b)Conexões e dispositivos de aterramento deve ser adequado para garantir que condições anormais, tais como fugas de terra ou descargas, não elevarão o potencial da estrutura ou carcaça para um nível perigoso;

c)Propiciar um caminho efetivo sobre o qual as correntes de fuga envolvendo a terra possam escoar sem centelhamento ou superaquecimento para evitar a ignição de materiais ou atmosferas combustíveis.

A estrutura metálica dos edifícios e as estruturas de abrigo ou de suporte de equipamentos elétricos e todas as partes metálicas não condutoras de corrente dos equipamentos e dos dispositivos elétricos devem ser aterradas por conexão a um sistema de aterramento. Em geral os condutores de aterramento dos equipamentos devem ser conectados diretamente quando possível à terra do sistema elétrico.

Colocando os condutores de aterramento tão próximos quanto possível dos condutores de alimentação a queda de tensão será minimizada nas condições de falha.

4.1.2 Sistema de Aterramento de Equipamentos

O principal requisito de um sistema de aterramento de equipamentos é manter a resistência à terra das estruturas e carcaças dos equipamentos no nível mais baixo possível. Com um sistema adequado, o potencial á terra durante as condições de falha não será perigoso para o pessoal e nem para o equipamento e os dispositivos de proteção operarão corretamente. As conexões de aterramento do sistema podem ser feitas de várias maneiras.

O sistema de aterramento para uma planta grande ou complexa pode envolver uma extensiva rede de malhas de aterramento das carcaças e estruturas do equipamento interconectada por cabos para fornecer um sistema de aterramento global da planta.

Os requisitos específicos para os sistemas de aterramento são informações detalhadas que estão incluídas no IEEE Standard 142 ^[30]. Além das conexões de aterramento da estrutura e carcaça dos equipamentos, são necessárias conexões do terra do sistema elétrico para o sistema de aterramento da planta. Esta conexão deve ser independente de qualquer outra conexão de aterramento.

4.1.3 Aterramento de Redes Elétricas Subterrâneas

As redes elétricas subterrâneas devem ser acompanhadas por um cabo de cobre nu, enterrado, encordado, seção nominal de 70 mm², integrante do sistema de aterramento e ao qual são interligados todos os elementos a serem aterrados. Todos os elementos metálicos existentes no interior de caixas de passagem subterrâneas devem ser interligados através de um cabo de cobre nu, encordado.

Eletrodutos metálicos que chegam a caixas de passagem de concreto e/ou alvenaria devem ter suas extremidades interligadas ao cabo de que trata o item anterior através buchas de acabamento dotadas de olhal para aterramento.

Em redes construídas com eletrodutos não metálicos (PVC, PVC corrugado e outros), para sistemas elétricos com neutro aterrado e onde os condutores fase não possuem blindagem ou capa metálica, os eletrodutos devem ser percorridos internamente, em toda sua extensão, por um cabo de

aterramento de cobre nu, encordoado. Este cabo de aterramento, nas caixas de passagem, deve ser interligado ao condutor de aterramento.

O seu dimensionamento deve ser conforme indicado:

Tabela 7 - Condutor x Cabo^[18]

Seção do Condutor Fase (mm ²)	Seção do Cabo de Aterramento (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Nos afloramentos dos eletrodutos metálicos devem ser interligados por um cabo de cobre nu, de seção nominal 25 mm², o qual deve ser conectado ao sistema de aterramento.

4.1.4 Aplicações Específicas de Aterramento

As estruturas de aço dos prédios, as estruturas dos painéis e instalações similares devem ser aterradas em vários pontos (ao menos dois por estrutura) com conexões fortes para a malha de aterramento do sistema. Os tanques, vasos, torres e equipamentos similares, não suportados ou ligados a uma estrutura de suporte aterrada, deverão ser aterrados usando no mínimo duas conexões á malha do sistema de aterramento.

4.1.5 Motores e Geradores

As carcaças de motores e geradores devem ser conectadas ao sistema de aterramento global da planta. Esta conexão é efetivada com um condutor de aterramento do equipamento, mecânica e eletricamente contínuo, posto em rota com os condutores e fase da máquina.

Pode ser um condutor que corra com os condutores de fase dentro de um conduíte, um sistema de conduíte rígido sinuoso contínuo, um sistema de bandeja de cabos ou outro método aprovado da NFPA 70B^[31].

Em qualquer caso, a conexão de aterramento deve propiciar um circuito de baixa impedância da carcaça da máquina para o terra do sistema elétrico. Onde for usado conduíte ou bandeja as juntas devem ser estanques, as pontes de ligação devem ser instaladas em juntas de expansão e locais similares.

Freqüentemente, é propiciada uma proteção suplementar de aterramento com a ligação com um condutor de aterramento adicional de cada máquina para malha do sistema aterrado local. O objetivo desta conexão é equalizar potenciais na vizinhança imediata de cada máquina.

4.1.6 Cabos Encapados e a Blindagem Metálica

A capa e a blindagem metálica (se aplicável) de qualquer cabo de energia devem ser completamente contínuas e aterradas em cada extremidade de mesmo potencial (caso de pequenos sinais). O aterramento da blindagem em ambas as extremidades pode requerer que o cabo tenha reduzido sua capacidade normal devido as correntes circulantes.

O aterramento em uma extremidade é permissível se não for excedido um gradiente de 25 Volts (conforme IEC Standard 422^[32] para métodos de avaliação das tensões de blindagem). Se os cabos com capa ou blindagem metálica forem emendados, deve-se ter o cuidado de obter continuidade, bem

como uma conexão física efetiva com a capa ou com a blindagem metálica na emenda.

Quando sobre a capa metálica for usada uma armadura metálica, a capa e a armadura devem ser interligadas e conectadas ao sistema de terra em cada extremidade do cabo em quaisquer emendas acessíveis.

A capa metálica em um cabo de metal pode, também ser usada como um condutor de aterramento do equipamento se a capa for um tubo corrugado contínuo, entretanto, é recomendado um condutor de aterramento separado, instalado nos interstícios do cabo durante a fabricação.

4.1.7 Carcaças Metálicas

A NFPA70B^[31] tem como requisito que carcaças metálicas expostas, não transportadoras de corrente, de dispositivos elétricos, sejam aterradas. Isto inclui os condutores, rotas de fios e materiais de instalação elétrica similares.

Onde a continuidade da carcaça estiver assegurada pela sua construção, será adequada uma conexão de aterramento nos seus pontos terminais. Se a continuidade não estiver assegurada pela construção, deve-se ter o cuidado para propiciar conexões adequadas de todas as seções com a malha do sistema de aterramento.

4.1.8 Carcaças para Equipamentos Elétricos

Painéis, centros de controle e equipamentos elétricos similares devem incluir um barramento de terra.

Onde o equipamento consistir de um alinhamento de duas ou mais seções, são recomendadas duas conexões e aterramento com a malha do sistema de aterramento, uma em cada extremidade do barramento de terra.

4.1.9 Cercas e Portões

Cercas e portões metálicos envolvendo equipamentos ou subestações elétricas devem ser vinculados à malha do sistema de aterramento.

Neste caso alguns fatores estão envolvidos, incluindo a resistência de terra dos sistemas de aterramento da subestação, a distância da cerca aos eletrodos de aterramento e os gradientes de potencial no solo. (Para informações adicionais, IEEE 80 2000-01-30 Guide for Safety in AC Substation Grounding e o IEEE Standard 142^[30]).

4.1.10 Equipamento Elétrico Portátil

Este parágrafo está limitado a considerações sobre equipamentos elétricos portáteis que operam em tensões menores ou iguais a 600 Volts. Equipamentos portáteis que operam em tensões mais altas tem aplicações menos freqüentes e requerem considerações especiais. O IEEE Standard 142^[30] fornece informações sobre equipamentos elétricos portáteis que operam em tensões mais elevadas.

Os equipamentos elétricos portáteis apresentam um dos maiores riscos potenciais para pessoal, de sorte que é obrigatório que as carcaças de equipamentos portáteis de qualquer tipo sejam mantidas no potencial de terra ou sejam protegidas por um sistema aprovado de isolamento duplo.

O equipamento elétrico portátil sem isolamento e operando em tensões acima de 50 Volts deve ser fornecido com um cabo contendo um condutor de

aterramento separado que tem na terminação um plugue tipo aterramento que é usado com uma tomada de adaptação.

O contato e aterramento da tomada devem ser corretamente vinculados a um sistema de aterramento. Para segurança do pessoal, algumas empresas utilizam equipamentos elétricos portáteis que podem ser conectados a uma fonte subterrânea de baixa tensão (não superior a 50 volts) ou aos interruptores do circuito de fuga de terra em circuito de 120 volts.

4.2 RESISTÊNCIA DE TERRA

Idealmente, uma conexão de terra teria resistência zero, mas isso é impossível, a resistência de uma conexão de terra é uma função da resistividade do solo e da geometria do sistema de aterramento. Em solos de alta resistividade pode ser necessária extensa configuração para obter aceitáveis resistências de terra.

A resistência admissível varia inversamente com a corrente de fuga para terra: “quanto maior a corrente de fuga menor a resistência de terra”. Para grandes subestações e estações geradoras, a resistência da grade de aterramento do sistema não deve ser maior do que 1 Ohm.

Para subestações menores e para plantas industriais deve ser obtida uma resistência menor do que 5 Ohms, se possível. A NFPA 70B^[31] aprova o uso de um único eletrodo se sua resistência não for maior que 25 Ohms. Este por ele mesmo, não seria uma conexão adequada para aterrar correntes de fuga maiores que dois Ampères.

4.2.1 Potenciais de Toque e de Passo^[19]

No solo, são criados gradientes de potencial onde fluem as correntes drenadas por eletrodos de terra.

A configuração do aterramento deve ser tal que os gradientes de potencial não gerem um risco para as pessoas que estejam em pé ou andando no solo nas vizinhanças de um eletrodo de aterramento ou tocando uma estrutura aterrada que transporta corrente para a terra.

Essas referências estão indicadas no IEEE Standard 80^[33].

4.2.2 Tensão de Toque^[19]

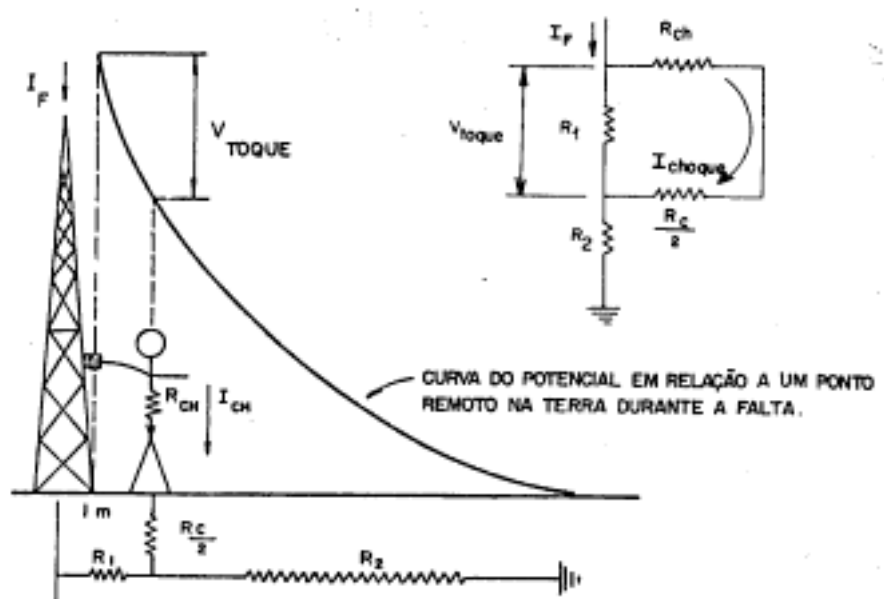


Figura 24 - Tensão do Toque^[19]

A resistência do corpo humano para corrente alternada de 50 ou 60 Hertz (HZ), pele suada, para tensão de toque maior que 250 Volts (V) fica saturada em 1000 Ohms. Cada pé de contato com o solo terá uma resistência de contato representado por $R_{contato}$. A tensão de toque poderá ser expressa por:

$$V_{\text{toque}} = (R_{\text{corpo humano}} + R_{\text{contato}} / 2) \cdot I_{\text{choque}}$$

Segundo recomendações da IEEE-80^[33] podemos considerar que:

$$R_{\text{contato}} = 3 \rho_s$$

Onde: ρ_s = resistividade superficial da primeira camada da estratificação do solo. Deste modo a expressão fica:

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

$$V_{\text{toque}} = (1000 + 1,5\rho_s) \cdot I_{\text{choque}}$$

4.2.3 Tensão de Passo^[19]

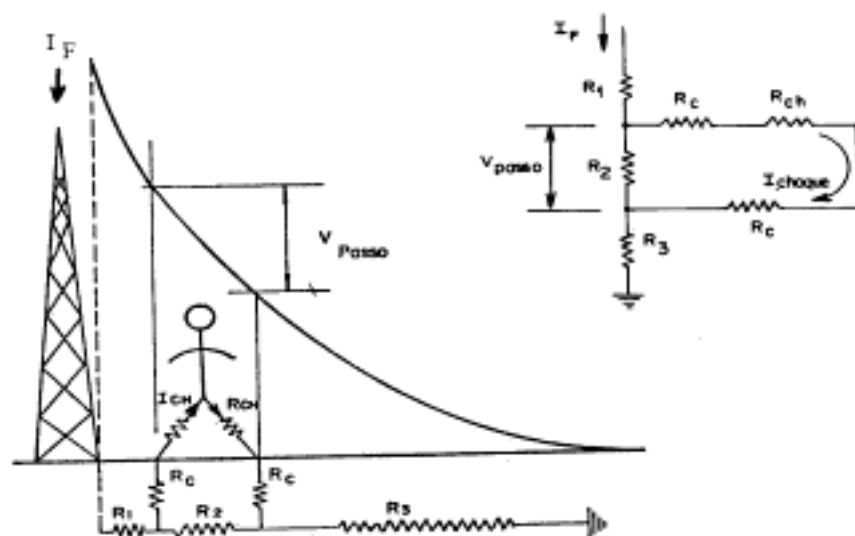


Figura 25 - Tensão de Passo^[19]

Em projetos de aterramento de acordo com a Norma podemos considerar a distância entre os dois pés de 1m.

$$V_{\text{passo}} = (R_{\text{corpo humano}} + 2R_{\text{contato}}) \cdot I_{\text{choque}}$$

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

$$V_{\text{passo}} = (1000 + 6\rho_s) \cdot I_{\text{choque}}$$

O aterramento só estará bom se a pior tensão de passo for menor do que o limite de tensão de passo para não causar danos ao ser humano – fibrilação. A fibrilação ventricular é irreversível se não forem tomadas providências em tempo hábil. Ela ocorre no coração devido à superposição de correntes, prevalecendo aquela de maior intensidade, no caso, da fonte de energia.

O desfibrilador é um aparelho destinado a recuperar o ritmo cardíaco. Compõe-se de capacitores, cuja capacitância varia entre 10 a 50 μ F que armazena a tensão na ordem de 2 a 9kV. A corrente de descarga no tórax humano é na ordem de 1 a 30 Ampères no tempo de 10 milisegundos. Conclui-se que a tensão de passo é menos perigosa do que a de toque pelo fato de não estar o coração no percurso da corrente de choque.

A tensão de passo e de toque é uma preocupação que se deve ter na elaboração do projeto de aterramento, com relação aos seus potenciais máximos. Estes potenciais são utilizados como limites dos potenciais que surgem na superfície do solo sobre a malha, quando da ocorrência do maior defeito fase-terra.

A malha só pode ser aceita se os potenciais estiverem abaixo dos limites calculados pelas equações apresentadas no cálculo de V_{toque} e V_{passo} .

4.3 MALHA DE TERRA

Dimensionar uma malha de terra é um processo iterativo, que parte de um projeto inicial da malha. É preciso verificar se os potenciais que surgem na superfície do solo são inferiores aos limites pré-estabelecido no início do projeto V_{toque} e V_{passo} . e se a resistência de aterramento da malha é compatível com a sensibilidade da proteção.

As dimensões da malha são pré-definidas, assim estabelecer um projeto inicial de malha é especificar um espaçamento entre os condutores e definir, se serão utilizadas junto com a malha hastes de aterramento. Um espaçamento inicial típico adotado está entre 5% e 10% do comprimento dos respectivos lados da malha.

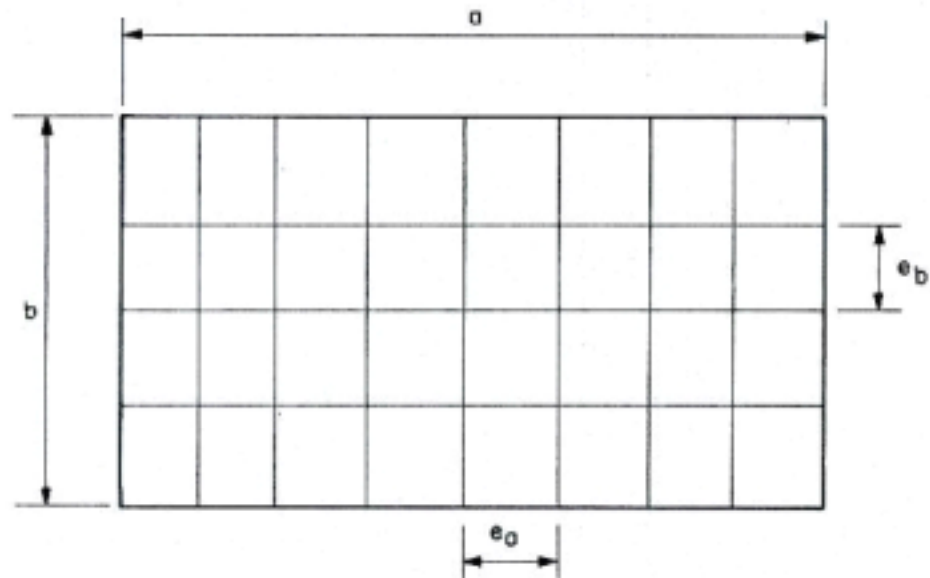


Figura 26 - Malha da Terra^[33]

Todas as fórmulas a serem usadas no cálculo de dimensionamento da malha de terra, foram deduzidas considerando as submalhas quadradas, isto é, $e_a \cong e_b$. Tendo as dimensões da malha determina-se o número de condutores paralelos, ao longo dos lados da malha:

$$N_a = (a / e_a) + 1$$

$$N_b = (b / e_b) + 1$$

Escolhe-se o número inteiro, adequado ao resultado do cálculo acima. O comprimento total dos condutores que formam a malha é dado pela expressão:

$$L_{\text{cabo}} = a N_b + b N_a$$

Se durante o dimensionamento forem introduzidas hastes na malha, o comprimento correspondente às hastes deverá aparecer na determinação do comprimento total de condutores da malha conforme:

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

Onde:

L_{cabo} = comprimento total dos condutores da malha.

L_{hastes} = comprimento total das hastes cravadas na malha

4.3.1 Resistência de Aterramento da Malha^[19]

A resistência de aterramento da malha pode ser calculada aproximadamente pela fórmula de **Severak** abaixo que é uma correção feita da fórmula de **Laurent**^[18].

Esta fórmula leva em conta a profundidade (h) em que a malha é construída.

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

Onde:

$A_{\text{malha}} = (a \cdot b)_{\text{Figura 26}}$ - Área ocupada pela malha [m²]

h = Profundidade da malha [m], com $0,25\text{m} \leq h \leq 2,5\text{m}$

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

Esta resistência da malha (R_{malha}), representa a resistência elétrica da malha, até o infinito. Seu valor deverá ser menor do que a máxima resistência limite da sensibilidade do relé de neutro. Este valor geralmente é verificado devido ao baixo ajuste do relé de neutro.

4.3.2 Medições da Resistência de Terra

Em muitas instalações é necessário medir a resistência à terra do sistema de aterramento para determinar se o valor real dessa resistência está dentro dos limites de projeto.

Os métodos para a medição da resistência da rede de terra são discutidos resumidamente no IEEE Standard 142 e com mais detalhes em ^[30].

4.3.3 Unidades de Processo

Para segurança de pessoal com relação aos riscos decorrentes das tensões de “transferência, de Passo e de Toque” existentes por ocasião de curto-circuito monofásico, deve-se fazer a interligação das placas de piso, em concreto armado, conforme as especificações seguintes.

4.3.4 Detalhes para Interligação das Placas

As placas de piso devem ser interligadas através de varas inteiras de "ferro de construção" com diâmetro de $\frac{1}{2}$ “.

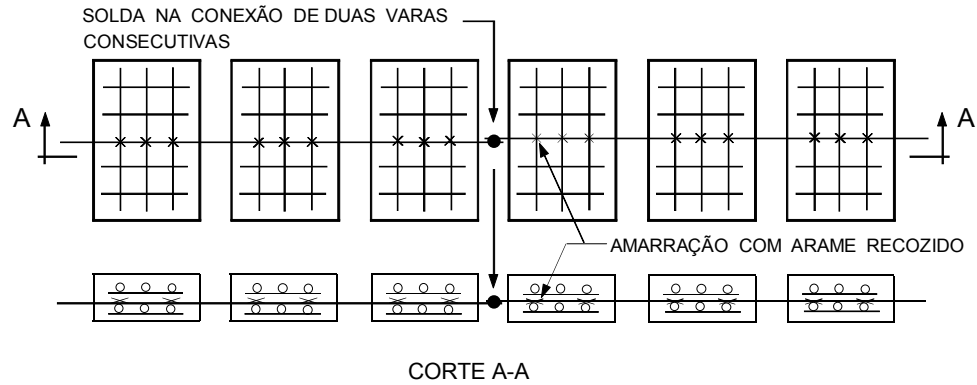


Figura 27 - Interligação das Ferragens das Placas do Piso^[33]

Nota: A vara inteira deverá ser amarrada às ferragens das placas para proporcionar continuidade elétrica. Quando houver uma haste de aterramento próxima a uma ou mais placas, esta(s) deverá(ão) ser interligada(s).

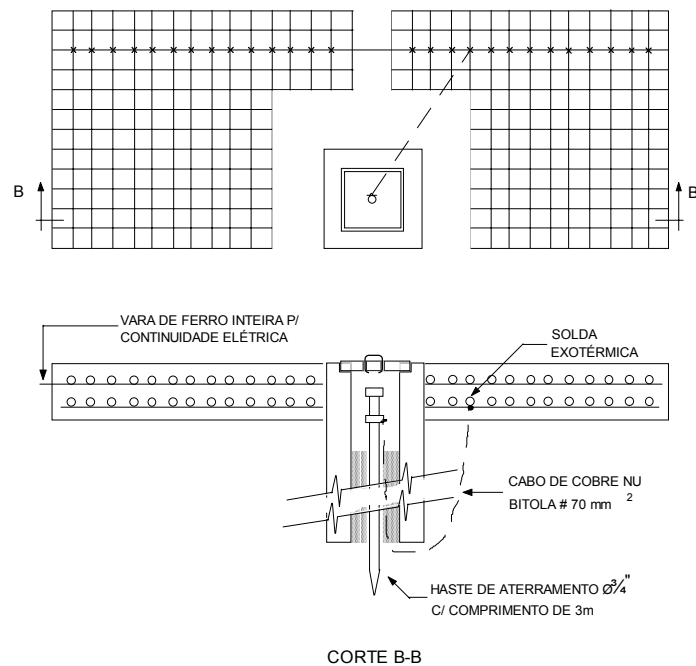


Figura 28 - Interligação de Haste de Aterramento à Ferragem do Piso^[33]

Nota: Nos limites de bateria da unidade de processo ferragens das placas de piso devem ser interligadas as hastes de terra próximas utilizando o mesmo critério mostrado na figura acima ilustrada.

4.3.5 Precauções

Em áreas classificadas como ZONA 1 não devem existir poços de inspeção. Todas as conexões nestas áreas entre condutores e hastes verticais devem ser completamente enterradas e executadas com solda exotérmica. As conexões feitas entre os condutores de aterramento entre e as peças a serem aterradas devem ser executadas com solda exotérmica quando as referidas conexões se encontrarem em área classificada como ZONA 1.

Em áreas classificadas como ZONA 2 pode, se necessário, haver poços de inspeção das hastes de aterramento. As conexões feitas nestes poços, entre hastes e condutores e/ou eletrodos horizontais, são sempre feitas com conectores mecânicos de alta pressão. As conexões feitas entre os condutores de aterramento e os equipamentos a serem aterrados podem ser executados com conectores mecânicos de alta pressão se situadas em área classificada como ZONA 2.

4.4 ATERRAMENTO EM TELECOMUNICAÇÃO

Algumas das técnicas do aterramento praticado em telecomunicação, será visto a título de informações adicionais.

4.4.1 Análise dos Circuitos de Aterramento Série e Paralelo

Os equipamentos de telecomunicações e de processamento de dados, pela susceptibilidade à interferência eletromagnética e eletrostática devem receber um tratamento diferenciado, no tocante a conexão a terra. Enfocaremos os dois tipos de conexões mais utilizados onde foram detectadas correntes (alternadas) indesejáveis nos cabos de aterramento.

4.4.2 Conexões em Série

O esquema abaixo representa um conjunto de equipamentos com seus cabos de aterramento conectados em série até chegar-se ao ponto de aterramento efetivo.

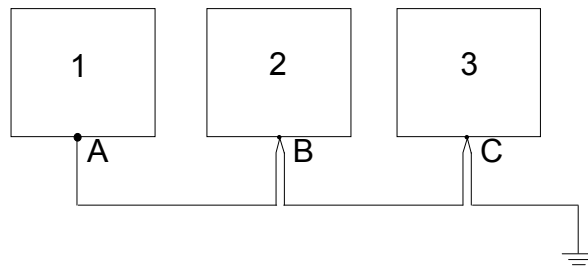


Figura 29 - Aterramento em Série^[34]

Do ponto de vista de susceptibilidade a ruídos, que é o enfoque mais relevante, este tipo de conexão é desaconselhável.

Representando-se a situação real, considerando as impedâncias dos cabos, temos:

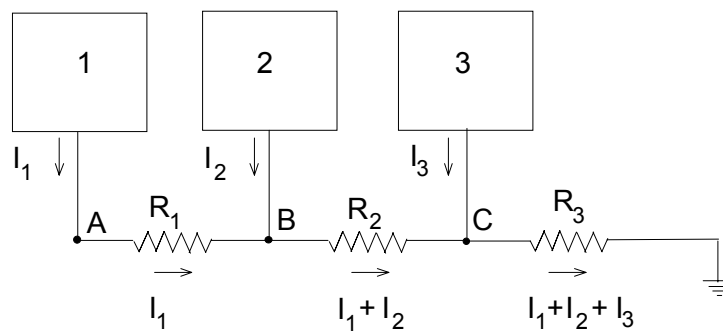


Figura 30 - Correntes e Impedâncias Presumíveis de um Aterramento em Série^[34]

A título de exemplo iremos considerar três valores fictícios de correntes I_1 , I_2 e I_3 conforme apresentado:

$$I_1 = 0,01 \text{ A} \quad I_2 = 3 \text{ A} \quad I_3 = 10 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 1 \Omega$$

O potencial no ponto A é:

$$V_A = I_1 R_1 + (I_1 + I_2) R_2 + (I_1 + I_2 + I_3) R_3$$

$$V_A = (0,01) 1 + (0,01 + 3) 1 + (0,01 + 3 + 10) 1$$

$$V_A = 16 \text{ Volts}$$

O potencial no ponto B é:

$$V_B = (I_1 + I_2) R_2 + (I_1 + I_2 + I_3) R_3$$

$$V_B \cong 16 \text{ Volts}$$

O potencial no ponto C é:

$$V_C = (I_1 + I_2 + I_3) R_3$$

$$V_C \cong 13 \text{ Volts}$$

Sendo as tensões nominais de trabalho dos equipamentos 1, 2 e 3:

$$V_1 = 5 \text{ VCC} \quad V_2 = 50 \text{ VCC} \quad V_3 = 110 \text{ VCC}$$

Verifica-se que o primeiro circuito que trabalha com tensão de 5Volts, está com um acoplamento por impedância comum de 16 Volts.

Numa situação mais desfavorável pode-se imaginar o circuito um trabalhando com 5 Volts, tendo como referência (Terra) uma tensão de 16 Volts, fornecida pelos outros dois circuitos que trabalham com Corrente Alternada.

Embora este nível de Tensão esteja dentro do previsível para segurança humana (choque elétrico) irá gerar um ruído considerável de modo comum interferindo nos pequenos sinais e danificando os dispositivos eletrônicos sensíveis no interior do equipamento cuja referencia de terra é (neste caso) aproximadamente 16 Volts.

4.4.3 Aterramento em Série

Esse tipo de conexão só é aconselhável, nos casos em que os circuitos operam com níveis semelhantes de tensão e correntes.

É desejável que o equipamento 1, por ser o mais sensível, não faça parte do arranjo mostrado.

4.4.4 Conexões em Paralelo

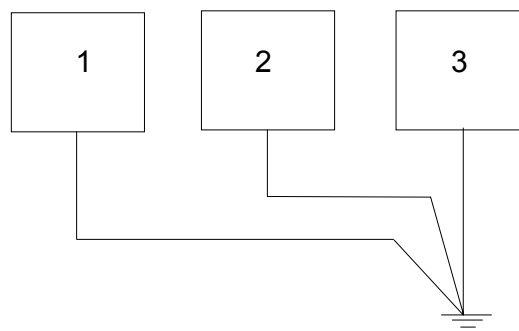


Figura 31 - Aterramento em Paralelo^[34]

Esse tipo de topologia de aterramento apresentado na figura 31 é o mais aconselhável para a maioria dos equipamentos de telecomunicações.

Em contrapartida utiliza-se mais cabos para o aterramento. A seguir representamos o modelo elétrico mais próximo à realidade, ou seja, considerando as impedâncias dos fios e cabos.

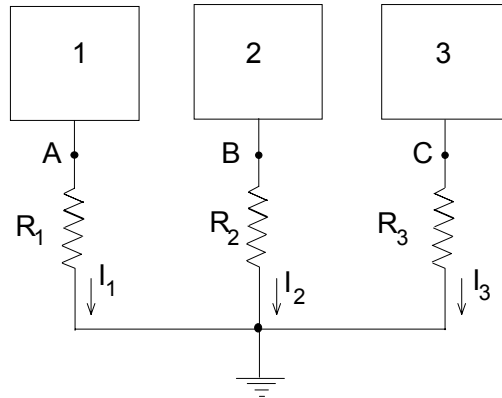


Figura 32 – Correntes Presumíveis no Aterramento em Paralelo^[34]

Os potenciais nos pontos são:

- a) em **A**: $I_1 R_1$;
- b) em **B**: $I_2 R_2$;
- c) em **C**: $I_3 R_3$;

Verifica-se que o potencial de terra de cada circuito é função da corrente do circuito e da impedância comum entre os circuitos, indicando ausência de interferências.

Entretanto, considerando que em altas frequências, os fios ou cabos de terra apresentam um aumento da impedância, devido à reatância indutiva, é de se prever uma forte indução mútua que caracteriza um acoplamento por campo indutivo, haja vista que os fios/cabos devem correr por um mesmo caminho até chegar ao ponto central.

Outro aspecto de algum peso, é que no caso de altas frequências, o componente comprimento dos fios/cabos está intimamente relacionada com o comprimento de onda, refletido em impedâncias, tensões e correntes. Dessa maneira, torna-se conveniente evitar que o comprimento dos fios/cabos não seja coincidente com $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda ou comprimentos inteiros adicionados a $\frac{1}{4}$, pois pode ocorrer o surgimento de uma grande impedância.

Por exemplo, para uma frequência de 30 MHz, o comprimento de onda é 10 metros. Assim 1/4 desse comprimento é 2,5 metros (m), logo 2,5 m, 12,5 m, 22,5 m, 32,5 m e demais, como comprimentos dos fios/cabos não são interessantes. A figura 33 representa um sistema de aterramento típico de equipamentos de telecomunicações.

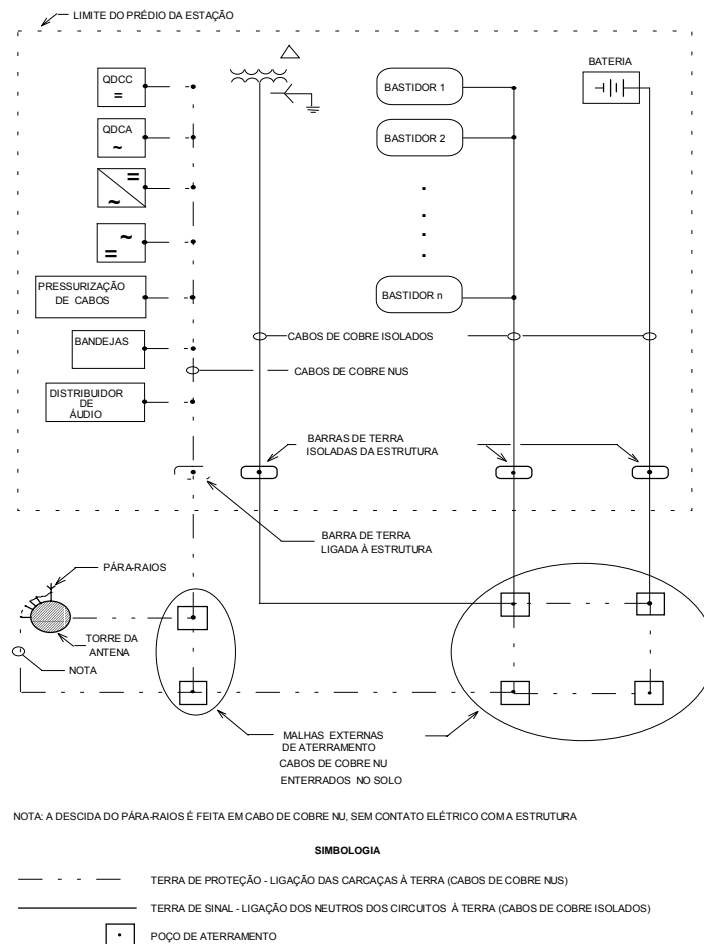


Figura 33 - Esquema de Conexões Paralelas^[34]

4.4.5 O Aterramento em Telecomunicação

Neste tipo de aterramento é recomendável adotar-se a filosofia de terra de sinal e de terra de proteção. Assim, pode-se dizer da existência de 2 terras distintos:

- um cabo de cobre nu, funcionando como terra de proteção;

b) um cabo de cobre, com capa isolante, funcionando como terra de sinal.

Caso a resistividade do solo seja bastante alta, pode-se adotar como referência de terra, a malha de aterramento existente. A figura 33, mostra a situação de um sistema de aterramento próprio para os equipamentos de telecomunicações.

Adotando-se como referência uma malha existente pode-se tomar como referência o terra dessa malha, sendo que o terra de sinal bem como o terra de proteção devem ser conectados, cada um, em somente um ponto dessa malha.

É importante que os bastidores sejam isolados das bandejas e as conexões do terra de sinal sejam realizadas pelo processo de solda exotérmica.

4.4.6 Comentários Gerais

O terra de sinal se caracteriza pelo total isolamento das estruturas, incluindo as barras terminais da estrutura do prédio. Os cabos bem como as barras de cobre intermediárias, que tem a função de terra de sinal, devem estar totalmente isolados de qualquer estrutura (aço ou alvenaria).

Em cada sala, devem ser disponibilizados 2 barras terminais: uma de sinal, isolada e outra de proteção, perfeitamente identificada como tais.

As figuras representam a planta de uma estação de telecomunicações típica, com tais facilidades.

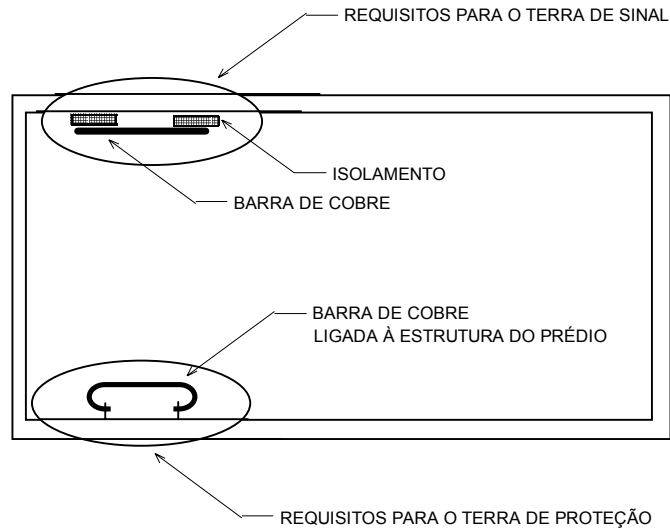


Figura 34 - Detalhe das barras de Aterramento para os Equipamentos de Telecomunicações^[34]

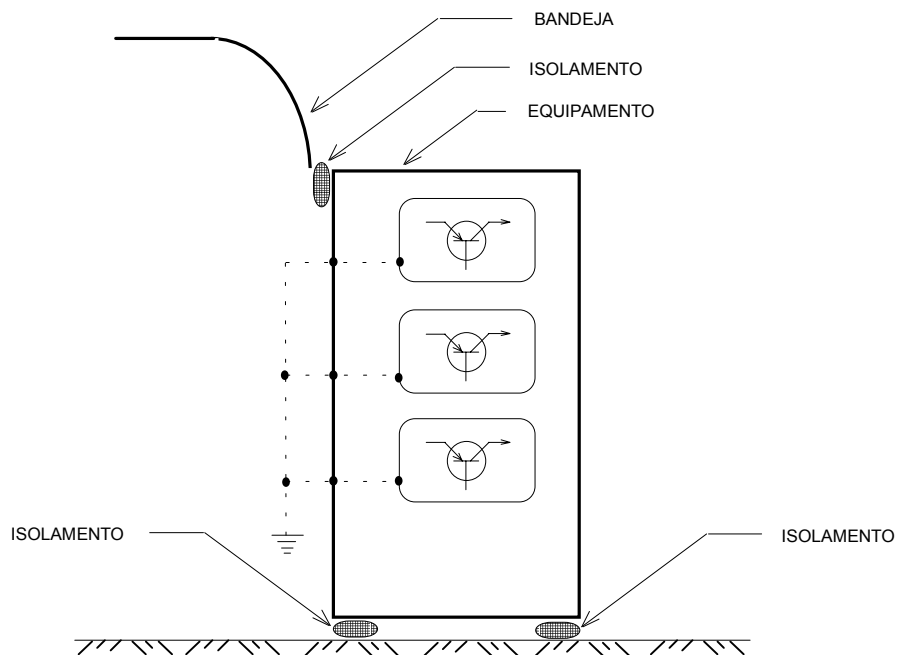


Figura 35 - Equipamento de Telecomunicações Detalhe de Isolamento do Solo de das demais partes Metálicas^[34]

No caso dos bastidores dos equipamentos que eletricamente não possuem desvinculação da carcaça dos circuitos considerar todo o conjunto interligado a terra de sinal.

4.5 ATERRAMENTO DE CIRCUITOS INTRINSECAMENTE SEGURO^[35]

De uma forma geral um sistema intrinsecamente seguro é composto de partes que devem ser aterradas e por outras que não devem. O aterramento tem a função de evitar o surgimento de níveis de tensão considerados inseguros na área de risco. (lugar com probabilidade de concentração de substâncias explosivas).

Dentro deste enfoque é o correto aterramento que garante a efetiva segurança oferecida pelas barreiras de diodos Zener. A barreira tem a função de assegurar níveis de energia seguros na instrumentação empregada em Áreas Classificadas, desviando todo o excesso de energia para a terra, ainda na Área não Classificada.

Já o isolamento de partes do sistema com relação ao terra tem a função de assegurar a inexistência de dois pontos de terra com uma possível diferença de potencial. Desta forma na área classificada evita-se o aterramento do circuito intrinsecamente seguro (a menos que o mesmo seja necessário para fins funcionais, quando se emprega isolação galvânica).

A normalização estabelece uma isolação mínima de 500 Volts.

A figura 36 abaixo apresenta um sistema típico que faz uso de uma barreira linear convencional, onde o instrumento intrinsecamente seguro em campo (área classificada) apresenta a isolação mínima necessária 500 Volts.

O invólucro do equipamento encontra-se conectado ao terra estrutural, como outras estruturas metálicas, eletrodutos e invólucros metálicos. A barreira possui seu terra - responsável pelo caminho de retorno para as correntes excessivas provenientes da falha, isolado do terra estrutural, ligado diretamente ao terra do sistema por um condutor de baixa impedância.

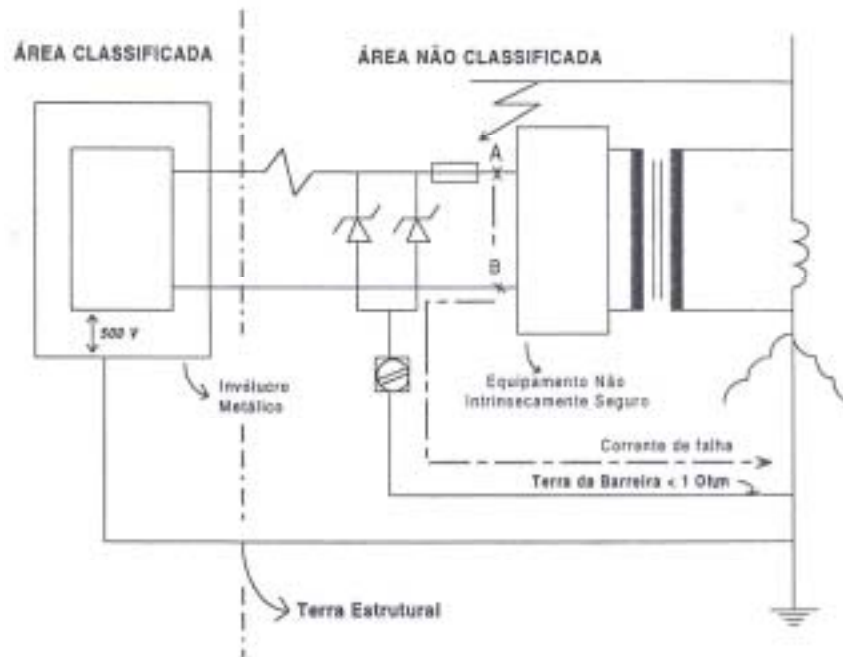


Figura 36 - Circuitos Intrinsecamente Seguros^[35]

Normalmente são várias barreiras montadas sobre um mesmo barramento de terra e a conexão de cada barreira com este barramento deve ser efetiva (de boa qualidade).

A resistência entre o terminal de aterramento do barramento de terra das barreiras e o terra do sistema deve ser inferior a 1 ohm. O barramento de terra deve ser isolado de qualquer outro plano de terra e deve ser conectado à terra do sistema em um único ponto.

Na Alemanha em função da existência de um sistema de equalização de potencial que se estende por toda a área onde estão instalados os circuitos intrinsecamente seguros, é permitido o aterramento na própria área classificada como apresenta a figura 37.

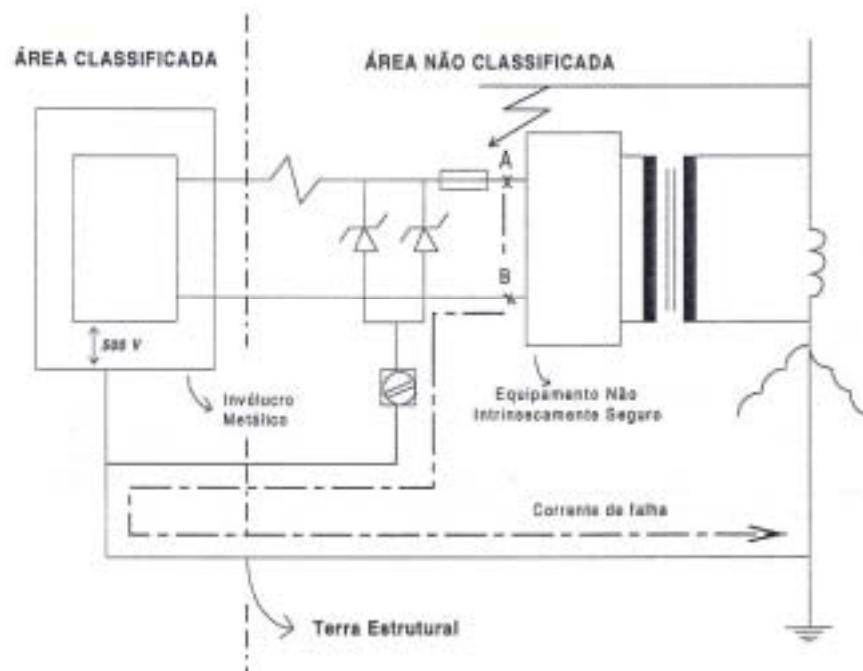


Figura 37 - Invólucro Metálico^[35]

A corrente de falha que circula pela estrutura metálica poderia permitir uma elevação de potencial indevida para a área classificada, porém toda a estrutura metálica neste tipo de sistema é conectada ao condutor de equalização de potencial resultando em um excelente aterramento.

Apesar das diversas práticas de aterramento utilizadas em diversos países, o requisito fundamental para a segurança é a existência de um caminho de baixa impedância para o retorno das correntes de falha e de uma estrutura de aterramento que evite a existência de potenciais distribuídos.

A norma brasileira que regulamenta a instalação de equipamentos elétricos em atmosferas potencialmente explosivas NBR-5418^[36] estabelece que os circuitos intrinsecamente seguros podem ser:

- a) isolados da terra;
- b) conectados a um ponto do condutor de equalização de potencial se este existir em toda a área onde estão instalados todos os circuitos intrinsecamente seguros;
- c) ligados a terra em um único ponto, se o aterramento for necessário para fins funcionais ou de proteção.

O método de instalação deve ser escolhido levando em conta os requisitos funcionais dos circuitos, conforme instruções do fabricante. Mais de uma conexão ao terra é permitida desde que o circuito seja dividido e que cada parte aterrada seja galvânicamente isolada das demais e com somente um ponto de aterramento para cada uma delas.

Se os circuitos forem isolados do terra deve ser dada atenção especial a possíveis riscos causados por cargas eletrostáticas. Circuitos intrinsecamente seguros podem ser aterrados se necessário por razões de segurança como é o caso das barreiras sem isolação galvânica.

Nos circuitos intrinsecamente seguros os terminais de aterramento das barreiras sem isolação galvânica devem ser:

- a) conectados ao condutor de equalização de potencial através da menor distância possível;
- b) somente para sistemas **TN-S** - sistema de potência com neutro aterrado, porém com condutores isolados, conectados a um ponto de terra de alta qualidade de forma que a impedância deste ponto até o ponto de aterramento do sistema de potência seja inferior a 1 ohm.

A seção transversal da conexão a terra deve ser feita por:

- a) no mínimo dois condutores separados, suportando cada um deles a máxima corrente de curto-circuito, possuindo cada um deles uma seção de no mínimo $1,5 \text{ mm}^2$ de cobre, ou
- b) um condutor com seção de no mínimo 4 mm^2 de cobre.

Nota: Aterramento de circuitos intrinsecamente seguro, podem ser combinados com aterramento para instrumentos.

4.6 UTILIZAÇÃO DO NEUTRO ATERRADO^[37]

Em instalações industriais terrestres é comum utilizar-se sistema aterrado, com o quarto condutor neutro solidamente aterrado; a falta de qualquer fase para carcaça aterrada de um equipamento faz circular uma alta corrente de curto-circuito que faz desligar o disjuntor (ou abrir o fusível) do circuito defeituoso para isolar rapidamente o defeito e evitar maiores danos como a queima de cabos elétricos.

Neste tipo de sistema com o neutro diretamente ligado à terra, uma falta não provoca solicitações extras na isolação dos cabos das fases não afetadas.

4.6.1 Instalações Elétricas em Áreas Classificadas

Na proteção dos circuitos os critérios especiais devem ser adotados para a filosofia de proteção, quando se trata de circuitos em Áreas Classificadas.

A NBR 5418^[36] estabelece que os circuitos e equipamentos elétricos instalados nestes locais, com exceção daqueles intrinsecamente seguros (nível de potência insuficiente para causar a ignição de uma Área Classificada), devem ser providos de meios que assegurem sua desenergização o mais rápido possível.

No evento de uma sobrecorrente, causada por um curto-circuito, os sistemas de proteção não devem possibilitar o religamento automático, enquanto persistirem as condições de falta.

Em ZONA 2, os dispositivos de proteção de sobrecorrente podem ter rearme automático. Deve ser instalado um dispositivo de proteção contra operação monofásica de equipamentos trifásicos.

Para equipamentos elétricos, nos quais o desligamento automático ofereça risco maior à segurança do que o surgimento do risco de ignição, admite-se a instalação de um dispositivo de alarme, como uma alternativa ao desligamento automático, desde que o dispositivo seja de visualização imediata, de modo que possa ser tomada pronta ação corretiva.

4.6.2 Necessidade do Seccionamento de Emergência

Em áreas classificadas deve ser previsto um seccionamento de emergência. De acordo com a NBR 5410^[21], mesmo que se trate de uma área não classificada, deve a instalação elétrica ter no mínimo um dispositivo de seccionamento de emergência.

Além disso, de acordo com a NBR 5410^[21] deve ser possível desenergizar os equipamentos elétricos de algum lugar apropriado, se a sua energização contínua determinar algum risco, como sobreaquecimento.

Para este seccionamento de emergência, pode ser usada a unidade de controle operacional. Equipamentos elétricos que devem permanecer energizados, para prevenir riscos adicionais, não devem ser incluídos no circuito de desligamento de emergência, devendo estar em um circuito separado.

Cabe ressaltar então que um dispositivo limitador de corrente, tal como o que será tratado nos itens subseqüentes deste trabalho, poderá representar uma economia na instalação, pois como o sistema elétrico operará praticamente dentro de suas condições nominais, a desenergização remota não se fará necessária.

4.6.3 Dimensionamento dos Condutores

O diâmetro mínimo dos condutores nas áreas classificadas é definido em função da máxima temperatura permitida para os condutores, quando submetidos à máxima corrente possível em condição de falha, ou seja, respeitando-se sua classe de temperatura.

Desta forma, podemos adicionar outra vantagem econômica quando da utilização de um sistema de limitação de corrente de falta à terra (a exemplo também do que se pretende apresentar no presente trabalho) uma vez que, para seu dimensionamento, os cabos condutores não exigem atendimento a condições especiais.

4.6.4 Aterramento do Neutro através de Resistor^[38]

Para aplicação do aterramento do neutro utilizando-se a tecnologia do resistor de alto valor em áreas classificadas, deveremos considerar as recomendações da NBR 5418^[36].

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a seleção e aplicação de equipamentos, projeto e montagem de instalações elétricas em atmosferas explosivas por gás ou vapores inflamáveis.

As instalações elétricas em indústrias, particularmente as químicas e petroquímicas, (onde existe a possibilidade de formação de ambientes com misturas explosivas), devem receber atenção especial.

Estas áreas são as definidas com o código BE 3, na NBR 5410^[21].

O item 4 da NBR 5418 estabelece as condições gerais para instalações elétricas em áreas classificadas e estipula que adicionalmente às recomendações da NBR 5410, as instalações elétricas em atmosferas explosivas devem atender aos seus requisitos.

Além do atendimento à Classificação da Área (que deverá ser executada conforme a IEC 79-10), estão previstas as proteções contra centelhamento, destacando-se:

- a) Centelhamento devido a partes vivas: A fim de se evitar centelhamento capaz de inflamar uma atmosfera explosiva, devem ser prevenidos quaisquer contatos com partes vivas, exceto no caso de circuitos de segurança intrínseca (Ex-i);
- b) Centelhamento devido a partes condutoras estranhas: Seria impraticável cobrir todos os sistemas possíveis na Norma, porém os princípios básicos, dos quais a segurança depende, são:
 - b.1) Limitação das correntes de falta à terra (intensidade e/ou duração) em estruturas ou invólucros;
 - b.2) Prevenção de potenciais elevados em condutores equipotenciais.

Pode-se concluir portanto, que a adoção de um sistema de limitação convencional utilizando-se resistores de alto valor contempla as preocupações da NBR 5418 quanto à segurança da instalação.

4.6.5 Áreas Não-Classificadas

Por sua vez, de acordo com a Norma Brasileira NBR 5410^[21], o aterramento do neutro utilizando-se resistores está contemplado pelas exigências aplicáveis ao “sistema IT”.

Em se tratando das prescrições das normas norte-americanas, pode-se fazer menção ao artigo 250-5 do NEC^[VII] o qual, em sua exceção número 5 prescreve algumas recomendações/observações para aplicação do sistema de aterramento via resistores de alto valor:

- a) As condições de manutenção e supervisão devem assegurar que somente pessoas qualificadas trabalhem nas instalações;
- b) O sistema é adequado para instalações onde a continuidade operacional do sistema elétrico for requerida;
- c) Deverão existir detectores que possam pesquisar faltas à terra;
- d) Não poderão existir cargas ligadas entre fase e neutro no sistema elétrico (naturalmente no nível de tensão em que o sistema de limitação for aplicado).

4.6.6 Característica de Equipamento Aterrado com Resistor

Pode-se deduzir que são sérios os inconvenientes que a presença do arco elétrico traz com ele, mesmo quando se analisa circuitos elétricos em sistemas de baixa tensão.

Neste particular, esta análise pode-se restringir aos níveis de 380/480Volts, que ocupam a maioria quase que absoluta em termos de instalações elétricas industriais.

Historicamente as formas do aterramento do neutro, concentrou-se nos seguintes tipos de sistemas: os isolados (filosofia europeia) e os aterrados

solidamente (filosofia americana e até então com ampla utilização no Brasil). As formas usuais mais empregadas para o aterramento do neutro em sistemas elétricos de Baixa Tensão (particularmente 380/480Volts) até então eram os sistemas isolados (IT) e os sistemas aterrados solidamente (TN).

No primeiro caso, ocorrendo uma falta para a terra, o retorno da corrente se dá via capacitâncias através das outras duas fases sãs e, embora o sistema continue operando normalmente, podem surgir sobretensões transientes conforme verificou-se, da ordem de até sete vezes o valor da tensão nominal do sistema. Além disso, a localização do ponto onde ocorreu a falta é extremamente difícil exigindo, em geral, desligamentos sucessivos.

No segundo caso, como o ponto neutro é conectado diretamente ao potencial de terra, as sobretensões transitórias são eliminadas, porém podem surgir curtos francos de elevado valor ou curtos com arco (de resistência não linear, desenvolvendo, em consequência disto, energia e temperatura elevadíssimas). O sistema deve ser desligado imediatamente após a ocorrência da falta e, ainda assim, é comum ocorrerem acidentes pessoais, podendo gerar a destruição de equipamentos, a exemplo da situação ilustrada.



Figura 38 - Curto-Circuito com Neutro Solidamente Aterrado^[38]

Estudos recentes nas formas de aterramento do neutro em sistemas elétricos de Baixa Tensão (B.T), mostraram que inserindo-se uma impedância

entre o ponto neutro e a terra - impedância essa de valor adequadamente dimensionado para fazer circular uma corrente resistiva (I_R) retornando para o neutro com um valor igual ou um pouco superior ao da corrente capacitiva resultante do sistema ($I_{AG} + I_{BG}$), as sobretensões transitórias são eliminadas.

Adicionalmente, o sistema elétrico continuaria operando normalmente após a ocorrência da falta, isso porque há apenas um deslocamento do neutro, mantendo-se entre as três fases a mesma diferença de potencial.

Além do mais, como o valor da corrente para a terra é bastante reduzido (da ordem de 1 a 5 Ampères), consegue-se operar a instalação elétrica em condições de maior segurança pessoal e para os equipamentos. E mais ainda, através de técnicas simples, rápidas e eficientes, consegue-se detectar nesta forma de aterramento o local onde ocorreu a falta.

A partir dos fundamentos teóricos aqui apresentados existe um sistema o qual elimina os efeitos indesejáveis apresentados tanto na filosofia do neutro isolado como também na filosofia do neutro fortemente aterrado e que incorpora as vantagens de ambas. Esse sistema tem sido utilizado com sucesso há cerca de 10 anos em instalações industriais com áreas não classificadas e ainda em algumas áreas industriais de instalações petroquímicas, a exemplo da própria PETROBRAS.

No entanto, a partir de novos estudos e desenvolvimento do seu aperfeiçoamento espera-se que em um futuro bem próximo, o mesmo poderá desempenhar suas funções também em áreas classificadas com total segurança. O diagrama apresentado na figura 39 ilustra o princípio de funcionamento deste sistema, adequado para aplicação no neutro de transformadores e geradores operando em baixa tensão.

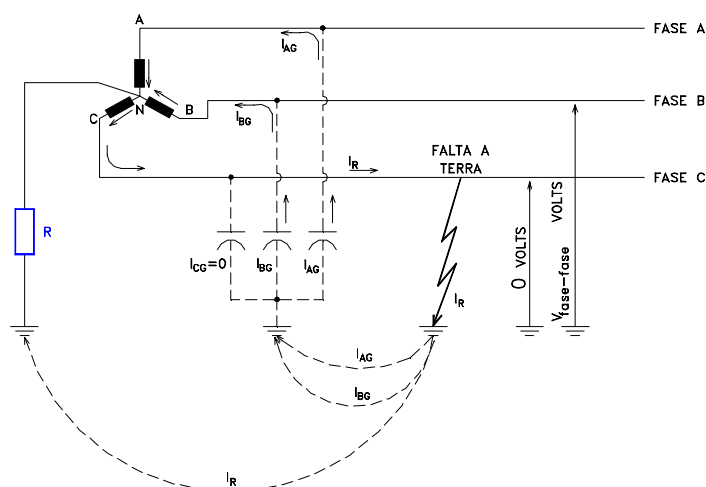


Figura 39 - Princípio do Funcionamento do Sistema Elétrico de BT Aterrado Via Resistore^[38]

Se o sistema acima referido já foi um grande avanço em termos de melhoria na segurança pessoal e das instalações elétricas de baixa tensão, (principalmente sistemas de 480 Volts largamente disseminados no Brasil) é de ressaltar as recentes inovações tecnológicas desenvolvidas e incorporadas ao equipamento, as quais, se forem adequadamente analisadas e testadas conforme mencionado anteriormente, poderão vir a se tornar de grande valia para aplicação mesmo em áreas classificadas, dado às suas características operacionais. Estas inovações geraram uma nova versão do equipamento no qual foi incluído um processador digitalizado, que implementou notavelmente o seu desempenho.

Tecnicamente a idéia é a de se evitar a circulação de corrente no “loop” da corrente de curto à terra, desde o local onde realmente ocorreu a falta na planta passando pelo neutro do transformador (ou gerador) e, para isto, foi projetada uma operação, de “confinamento” do referido curto forçando-o a circular restritamente no “loop” composto de um painel de limitação - malha de aterramento - neutro do transformador (ou gerador).

Tal confinamento consiste, portanto, em se provocar um curto intencional de fase para terra no início do circuito, na mesma fase que o mesmo ocorreu

em qualquer ponto do sistema elétrico. Desta forma, o curto no local onde originalmente ocorreu será extinto, sendo transferido e confinado para circular apenas entre o painel do sistema de limitação e o neutro do transformador (ou gerador) respectivo, embora a falta originalmente ocorrida continue existindo.

Através de sensores (de corrente de seqüência zero e tensão de seqüência zero) o curto à terra é detectado, bem como identificada a fase na qual o mesmo ocorreu, permitindo que se faça ainda a leitura dos valores de corrente e tensão no instante do defeito.

A pesquisa do local onde ocorreu a falta é efetuada após o desconfinamento prévio do curto, podendo ser efetuada de duas formas, ou através de um sensor de fuga a terra (conjunto TC toroidal e sensor de corrente) instalado em cada alimentador ou através de um amperímetro-licate analógico o qual, abraçando simultaneamente as três fases do alimentador, identifica o ramal com defeito através de uma corrente pulsante gerada pelo próprio equipamento de limitação. As medidas de manutenção podem então ser aplicadas com segurança absoluta, sem paralisações desnecessárias do sistema elétrico.

4.6.7 Benefícios do Aterramento do Neutro

Como características operacionais interessantes, pode-se afirmar que os limitadores de corrente via resistores de alto valor operando em sistemas elétricos industriais de baixa tensão trazem consigo, de imediato, dois grandes benefícios que são:

- a) o de limitar a corrente do curto-circuito fase-terra a um valor baixo;
- b) poder supervisionar o sistema elétrico durante a ocorrência do mesmo.

Mas não são apenas esses os benefícios decorrentes. Entre outros, podem ser consideradas as seguintes vantagens quando de sua utilização:

- a) Evita os severos danos causados pelo curto fase-terra;
- b) Impede que os acidentes causados por falhas humanas resultem em risco para a integridade física dos operadores e eletricitistas;
- c) Evita a destruição de painéis e CCM's, principalmente se o curto for com arco;
- d) Impede a danificação do circuito magnético se o curto-circuito for em motores;
- e) Diminui sensivelmente a frequência da substituição de fusíveis;
- f) Aumenta efetivamente a produtividade da planta (uma vez que, mesmo após a ocorrência do defeito, ela continua operando normalmente).

A eliminação da falta pode ser feita a partir de uma manutenção programada. Considerando que o barramento de força de B.T. continua alimentando normalmente as cargas mesmo após ocorrido o curto-circuito fase-terra, também o sistema de controle (que é alimentado a partir do barramento de força de B.T.) fica preservado e, conseqüentemente, todo o controle do processo.

4.6.8 A ameaça das Harmônicas

Muitas instalações tem sido afetadas por fenômenos aparentemente inexplicáveis, como o aquecimento excessivo dos transformadores que alimentam cargas até mesmo inferiores à sua potência nominal, o disparo de disjuntores com correntes bem menores que a corrente nominal, assim como o excessivo aquecimento de condutores neutros de circuitos razoavelmente equilibrados. O problema se deve as harmônicas, cuja existência, até alguns anos atrás, praticamente não afetava o funcionamento normal das instalações.

Elas constituem um subproduto da eletrônica moderna e manifestam-se especialmente onde existe uma quantidade considerável de computadores, acionamentos de velocidade regulável e outras cargas “não-lineares”, cuja

utilização vem se expandindo rapidamente nos últimos anos. As cargas tradicionais das instalações, isto é, motores, iluminação incandescente e equipamentos de aquecimento resistivo são lineares. As correntes nestas cargas é um reflexo da tensão, ou seja, para tensão senoidal teremos corrente senoidal. Nas chamadas cargas “não-lineares”, ao contrário, as correntes não são senoidais e mesmo que a tensão (em vazio) da fonte tenha a forma de uma senóide pura, ela será distorcida e perderá a forma senoidal.

Enquanto as cargas tradicionais (praticamente lineares) dão origem a tensões e correntes com pouquíssima ou nenhuma distorção praticamente sem harmônicas, as cargas “não-lineares” podem introduzir um nível bastante significativo de harmônicas nos circuitos que as alimentam. Via de regra as ondas de forma não-senoidal que aparecem nos sistemas de potência podem ser decompostas em uma onda senoidal fundamental e em número finito de harmônicas de ordem ímpar.

Tomemos um circuito trifásico a quatro condutores que alimenta diversas cargas monofásicas ligadas entre cada fase e o neutro. As correntes circulam em cada condutor fase e retornam pelo neutro comum. As três correntes de linha de 60 Hz estão defasadas de 120° e para cargas lineares equilibradas nas três fases são iguais.

Quando retornam pelo neutro se cancelam e temos então uma corrente nula no condutor neutro. Tomemos agora um circuito trifásico a quatro condutores alimentando cargas não-lineares, ligadas entre cada fase e neutro, equilibradas nas três fases. As correntes fundamentais se anulam no neutro. As correntes de 2º harmônica, iguais e defasadas de 120° , também se cancelam no neutro, como mostra a figura em A. O mesmo ocorre com todas as harmônicas de ordem par.

As correntes de 3º harmônica, no entanto, são iguais e estão em fase, aparecendo superpostas na figura em B. A corrente de 3º harmônica no neutro

é, portanto, a soma das correntes de 3^o harmônica nas linhas, ou seja, é o triplo da corrente em cada linha. O mesmo ocorre com todas as harmônicas de ordem ímpar múltiplas de 3 (9^o, 15^o, 21^o etc.). As demais harmônicas de ordem ímpar (5^o, 7^o, 11^o, etc.) têm seus respectivos valores iguais nas linhas, porém não estão em fase, o que faz com que as respectivas correntes no neutro sejam maiores do que a corrente numa linha e inferiores ao triplo da corrente em cada linha.

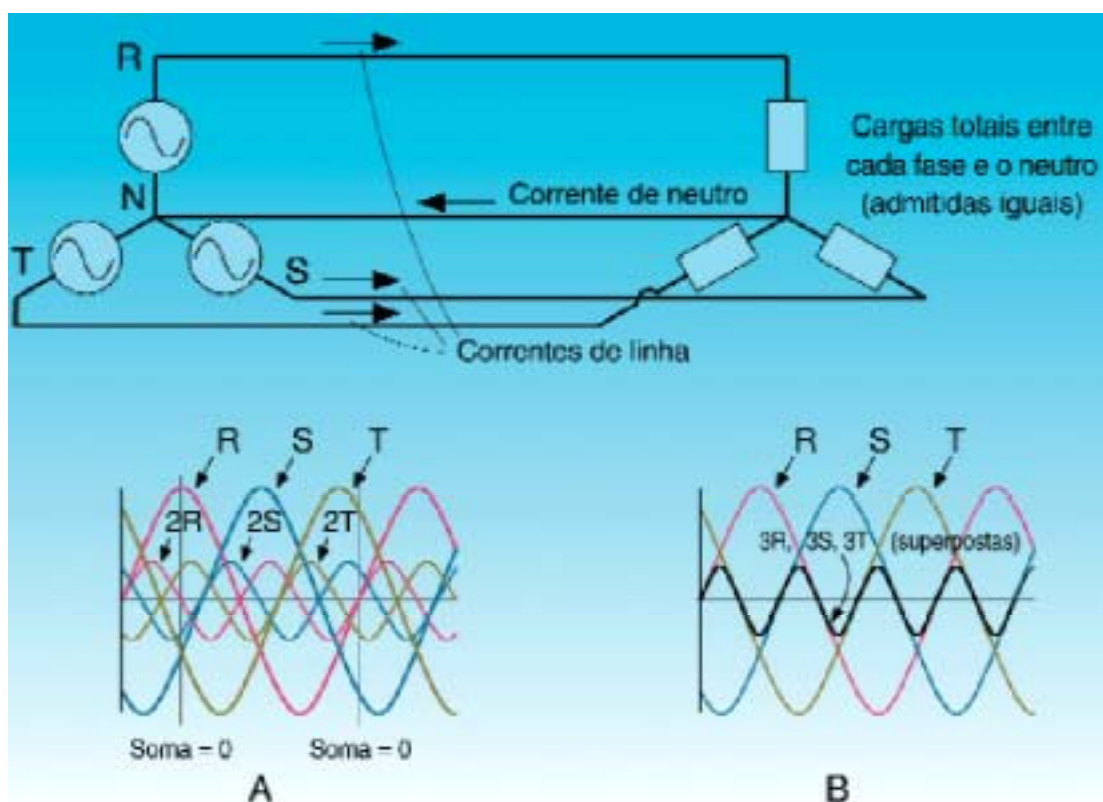


Figura 40 - Circuito trifásico a quatro condutores com cargas não-lineares equilibradas nas três fases: (A) correntes fundamental e de 2^o harmônica; (B) correntes fundamental e de 3^o harmônica.

4.7 CONSIDERAÇÕES DA PRÁTICA DO ATERRAMENTO INDUSTRIAL^[38]

A instalação elétrica em áreas classificadas, é executada com o emprego de equipamentos elétricos especiais (os tipos "Ex", conforme descritos na NBR 5418^[34] utilizando cabos e acessórios. O Sistema Brasileiro de Certificação já opera a certificação compulsória para os equipamentos Ex (equipamentos para uso em áreas classificadas), porém ainda não temos uma diretriz de certificação para a instalação como um todo.

Dentro deste cenário, entendemos que desde o projeto da instalação elétrica para indústrias que processem materiais inflamáveis (indústrias de plásticos, vernizes, tintas, remédios, refinarias de petróleo, entre outras), deve existir a preocupação com relação à segurança e continuidade operacional. A tecnologia de resistor de alto valor vem de encontro a estas necessidades, e desde que implementada de forma conveniente e por profissionais devidamente capacitados, poderá tornar-se no novo padrão de aterramento do neutro nas indústrias que processam inflamáveis.

Do ponto de vista da segurança pessoal o sistema isolado oferece maior segurança aos mantenedores, porquanto, na ocorrência de curto-circuito fase-terra acidental, durante testes/manutenção em gavetas e painéis, não ocorre abertura de violentos arcos/explosões que ocorrem em sistemas solidamente aterrados e que podem ocasionar graves queimaduras. Observar que, mesmo num sistema isolado de terra, como os utilizados em determinadas embarcações, às capacitâncias distribuídas pelos componentes do sistema fazem do casco um neutro virtual onde pode circular corrente elétrica suficiente para eletrocutar pessoas.

Quanto à continuidade operacional, em sistema de baixa tensão com neutro isolado ou isolado por alta resistência, quando uma fase apresentar curto-circuito para a terra não circula corrente elevada, portanto, não atua

nenhum disjuntor ou fusível desligando o circuito, assim o sistema continua operacional, não ocorrendo o desligamento do circuito defeituoso o que poderia resultar em parada/perda de produção. Ocorre que, quando surge este primeiro defeito, as outras duas fases sãs tem a sua tensão fase-terra aumentada porque o neutro virtual do sistema desloca-se para outra fase defeituosa. Assim, as outras fases terão maior suscetibilidade de sofrer um outro curto-circuito para terra, com sobretensões maiores se a falha for intermitente interagindo com as capacitâncias distribuídas no sistema. A falha de uma segunda fase para a terra, fecha um curto-circuito bifásico.

O sistema pode suportar um primeiro defeito, durante horas, dias, semanas, porém o isolamento de cabos e enrolamentos de máquinas sofre um “**stress**” maior durante esse período, podendo encurtar sua vida útil, além daquela maior chance de curto-circuito bifásico, daí a necessidade de se localizar e eliminar o defeito rapidamente. Em sistemas isolados correntes de defeito por alta resistência, ou correntes de carga capacitiva ainda que de baixo valor, são suficientes para provocar centelhas com potencial de ignição em atmosferas explosivas, especialmente se houver falha à terra intermitente.

Com correntes de defeito desta magnitude, o risco de centelhamento por mau contato no ponto de aterramento é bastante reduzido, porém não eliminado, daí a importância de realizar um bom aterramento, em áreas classificadas. Na publicação IEC60079-1^[5], a energia para ignição de uma mistura de classe IIA, pode ocorrer com centelha obtida a partir de uma corrente tão baixa quanto 0,8 Ampères, com tensão de 24 Volts, em um circuito com resistor, ou corrente de descarga capacitiva de 0,25 microfarad com tensão aplicada de 100 Volts.

Qualquer defeito fase-terra deve ser rapidamente investigado e eliminado, para evitar sua evolução para um curto-circuito bifásico, com altíssimas correntes, que pode ocorrer em qualquer circuito, podendo abrir arcos em qualquer local, principalmente numa plataforma marítima.

Em geral dispositivos detectores de falta a terra devem ser instalados em todos os quadros de distribuição geral (600/480/220/110 Volts), normalmente exigidos pelas Classificadoras (no caso das plataformas).

Um sistema de detecção de falta para terra no quadro elétrico deve ser fornecido para cada sistema de distribuição e de potência elétrica que seja isolado da fonte principal de potência, por meio de transformadores ou outros dispositivos.

Para sistemas aterrados por alta impedância, alarmes visual e sonoro devem ser fornecidos em locais normalmente guarnecidos. (Guide for Building and Classing – Facilities on Offshore Installations/1991 – Livro de Regras do ABS – American Bureau of Shipping).

Em circuitos de baixa tensão, trifásicos, o detector mais comum possui três lâmpadas que, em condições normais apresenta brilhos iguais e, quando de algum defeito de uma fase para terra, a lâmpada correspondente a essa fase defeituosa é apagada ou tem um brilho muito menor do que as outras duas. Um botão de teste manual para desconectar o terra, permite comparar brilhos, com situação normal, o operador precisa monitorar porque não existe alarme para esse tipo.

Outro dispositivo comum é um relé detector de terra que monitora a tensão no resistor de aterramento, que tem tensão elevada quando circula corrente de defeito de uma fase à terra. Em média tensão, são previstos relés e proteção que atuam desligando e isolando o circuito elétrico defeituoso rapidamente. A determinação das seções nominais de circuitos trifásicos considerando a presença de harmônicas, está exposto no item 6.2.6.4 da NBR 5410^[21].

5 PROTEÇÃO CONTRA AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS^[17]

Descargas atmosféricas são fenômenos resultantes da elevada diferença de potencial entre dois pontos específicos na atmosfera, normalmente entre nuvens carregadas eletricamente e a superfície da terra, ocasionando o aparecimento de um intenso campo elétrico, o qual em dado instante, consegue romper a rigidez dielétrica do ar ambiente e provocar a abertura de um caminho ionizado para passagem de uma elevada corrente em um reduzido espaço de tempo.

No instante da ocorrência da descarga atmosférica, o campo eletromagnético gerado, a partir do ponto da ocorrência, se desloca radialmente e induz nos cabos elétricos e telefônicos, tensões elétricas de elevado valor, após se propagar sob forma de surto.

Este capítulo tratará dos seguintes assuntos: os cuidados fundamentais frente as descarga atmosférica, o comportamento impulsivo do aterramento, análise de riscos em tanque de armazenamento de petróleo, o procedimento para o cálculo de sistema de proteção, a questão do aquecimento das barras frente a descarga atmosférica, equalização dos potenciais, cuidados com os equipamentos eletrônicos sensíveis, supressores de surtos e a título de agregar valor técnico será apresentado um panorama do aterramento híbrido com suas vantagens e desvantagens.

5.1 CUIDADOS FUNDAMENTAIS

Quando há descarga atmosférica em meio condutor sólido (cabo elétrico), são gerados campos magnéticos intensos que podem gerar faíscas entre peças metálicas a potenciais diferentes.

Além disso, em torno dos condutores de descida aparece o efeito corona, com faíscas que podem gerar explosões ou incêndios.

Para reduzir as possibilidades de incêndio e explosões seguem algumas orientações básicas para ZONAS I e II:

- a) Evitar que o canal do raio atravessasse uma zona em que haja gases ou vapores em condições de inflamação.
- b) O condutor de descida não deve atravessar uma área classificada em condições de inflamação.
- c) Evitar a presença de peças a potenciais flutuantes nas proximidades de outras peças aterradas que possam produzir faíscas dentro da área classificada.
- d) Evitar laços abertos formados por peças metálicas ou por condutores de circuitos que possam produzir faíscas na distância livre que esteja em área classificada.
- e) Considerar que algum componente do circuito, como varistores, pode se aquecer tanto que a resina de sua composição se inflama.

5.2 COMPORTAMENTO IMPULSIVO NO ATERRAMENTO^[17]

As medições e as fórmulas utilizadas até o momento não consideram as altas frequências associadas às descargas atmosféricas, como também as altas correntes que irão ser dissipadas, originando elevados potenciais que por sua vez na maior parte dos casos provocam descargas superficiais e internas ao solo devido à ionização do mesmo.

Apesar do assunto até o presente estar sendo discutido, alguns conceitos básicos deverão ser analisados.

Medições feitas para determinadas considerações indicaram que o gradiente de potencial necessário para que haja o efeito de ionização interna no solo deverá ser de ordem de 10 a 20 kV/cm enquanto para o mesmo efeito ocorrer na superfície do solo este gradiente deverá ser de 1 a 5 kV/cm.

A conclusão dos testes feitos é que a ionização superficial predomina.

Em conseqüência disso o meio de evitar potenciais diferenciados em Áreas Classificadas é promover a equalização do sistema interligando toda parte metálica das instalações no sistema de aterramento, assim podemos garantir a uniformidade dos potenciais e evitar acidentes.

5.3 TANQUES DE ARMAZENAMENTO^[40]

É um equipamento muito utilizado nas refinarias e terminais.

Construídos com chapas de aço carbono, soldados, verticais, cilíndricos, não enterrados, sujeitos a pressão aproximadamente atmosférica (0 a 0,5 psig) e destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados.

O concreto e as ferragens no solo (base do tanque), se comportam como um eletrodo, por reter umidade a resistência do conjunto será baixa. Isto atribuí ao tanque característica de estar bem aterrado.

Os tanques de armazenamento são imprescindíveis ao funcionamento de uma unidade operacional e são classificados como:

5.3.1 Tanques de Teto Fixo

Os tanques de teto fixo que obedecerem às condições seguintes podem ser considerados auto protegidos quando da ocorrência de uma descarga atmosférica, de acordo com a NBR-5419^[41]:

- a) A espessura do teto for superior a 4 mm;
- b) Obter continuidade elétrica em todas as chapas;
- c) Possuir Válvula de Pressão (PV) para compensar sobre ou sub pressão interna; se o tanque não tiver este tipo de válvula deverá ser provido de corta-chamas (É um conjunto de chapas corrugadas que permite quando frias, a passagem de vapor. Caso haja aparecimento de chamas, as chapas se deformam e provocam a obstrução à passagem do vapor).

Nota: as normas não recomendam mais o uso de corta-chamas na saídas das válvulas porque eles podem ficar entupidas e dificultar ou mesmo impedir a saída de gases;

- d) O bom aterramento, que é conseguido naturalmente nos tanques grandes pois se o diâmetro for maior que 6 metros e for apoiado diretamente no solo e ou em base de concreto já terá uma resistência de terra suficientemente baixa;
- e) Continuidade elétrica entre os medidores de nível metálicos e o costado;
- f) Satisfeitas as condições acima nada mais é necessário fazer. Os acidentes que ocorrem nestes tipos de tanques acontecem pelas seguintes falhas – geralmente de manutenção, ou de operação ou ainda de projeto ou por adição de um novo elemento;
- g) O teto é corroído internamente pelos vapores do combustível (isso diminui a espessura de 4 mm) e isso não é notado pela manutenção. O pessoal de manutenção deve ser instruído para verificar periodicamente a espessura dos tetos e condenar aqueles tanques cujos tetos estejam com espessura inferior a 4 mm. Note que esta prescrição se aplica a qualquer parte do teto, o valor 4 mm é um valor mínimo e não um valor médio;

- h) O pessoal de operação abre uma das tampas de medição ou de inspeção e ao fechar não aperta adequadamente todos os parafusos, ou mesmo deixa um só parafuso para ser mais fácil abrir da próxima vez; isto torna o espaço em torno da tampa em uma área classificada aumentando o risco de incêndio e explosão;
- i) Ao se instalar um sistema mais moderno de controle e medição de nível ou de temperatura não se projeta ou não é instalado um conjunto de protetores aterrado no tanque; isto leva para dentro do tanque condutores referidos a um terra longínquo e no caso de queda de raio sobre o tanque, este sofre uma elevação de potencial (por menor que seja a resistência de terra será um valor finito que multiplicado pelo valor de crista da corrente dará alguns kV) que causa faísca do tanque para os condutores e em consequência a explosão;

A válvula de pressão não foi inspecionada e suas molas estão enfraquecidas, isto faz com que saia vapor a baixa velocidade e quando houver queda de um raio, enquanto a válvula estiver operando, as chamas podem entrar no tanque causando a explosão.

Esta possibilidade sugere não executar operações de enchimento ou esvaziamento de tanques durante as trovoadas.



5.3.2 Tanques de Teto Flutuante

Nestes tanques há risco de incêndio quando o teto está baixo e restou na parede uma película de combustível, o que é mais comum quando este é pouco volátil. Ao cair um raio no teto, saltará uma descarga para o costado e o combustível se inflamará.

Quanto mais baixo estiver o teto, maior será a extensão do incêndio; este terá consequência mais grave se o selo de borracha for danificado, ou seja, se as chamas não forem extintas rapidamente pela brigada de incêndio pois nessas circunstâncias o combustível poderá passar para a parte superior e alimentará as chamas.

A solução é estabelecer uma continuidade elétrica entre o teto e o costado do tanque; o contato fornecido pela escada normalmente instalada não é suficiente: são necessárias várias ligações com cabos de cobre nu flexível espaçado de tres metros ao longo do perímetro, segundo recomendação do

API^[11] é necessário que os cabos se mantenham esticados para não se embaraçarem e isto não é muito simples de se conseguir pode-se por exemplo, usar uma roldana para manter o cabo esticado por um peso.

A alternativa de instalar condutores flexíveis sob forma de lâminas fixadas no teto e arranhando o costado não se tem mostrado satisfatória para os combustíveis pesados; após algumas descidas e subidas do teto, a lâmina não consegue mais atingir o costado ficando uma película de combustível entre eles e pode acontecer incêndio no caso de queda de raio sobre o teto.

O contra-peso utilizados em alguns projetos de tanques também não mantém um bom contato elétrico.

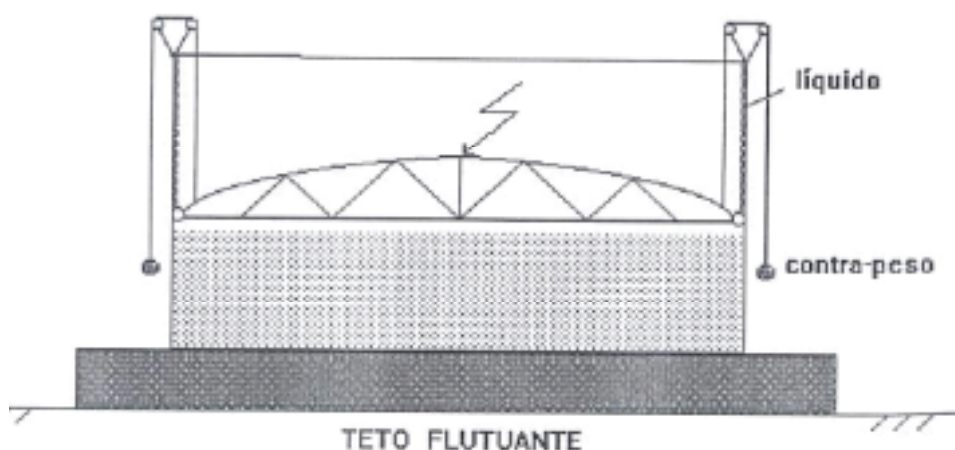
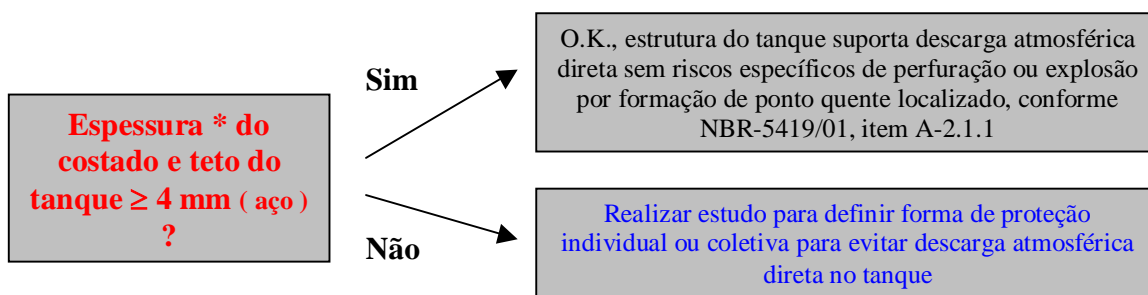


Figura 42 - Esquema de Tanque com Teto Flutuante^[40]

5.3.3 Análise de Risco^[40]

Esta análise foi incluída pelo fato da maior parte da área física de uma refinaria de petróleo ou terminal marítimo ser constituída de tanques de armazenamento e a maioria armazena substâncias inflamáveis expondo o meio ambiente e o homem a riscos incalculáveis.

a) Risco de perfuração do tanque (vazamento ou incêndio) ou de geração de ponto quente localizado (risco de ignição da atmosfera interna) por ocorrência de descargas atmosféricas.

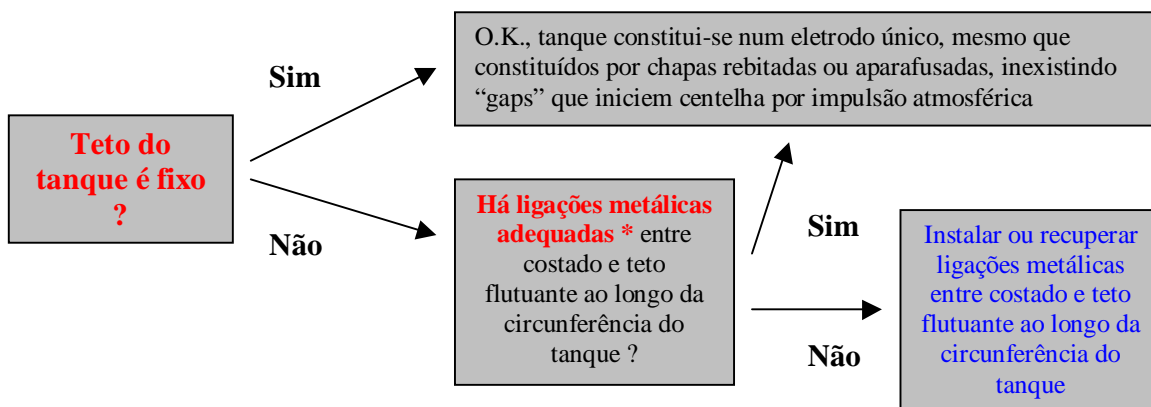


Comentário:

Havendo redução significativa e disseminada de espessura das paredes por corrosão, principalmente no teto do tanque, recomenda-se adotar postura conservadora ou preventiva, utilizando-se portanto o dado de espessura mínima reduzida verificada.

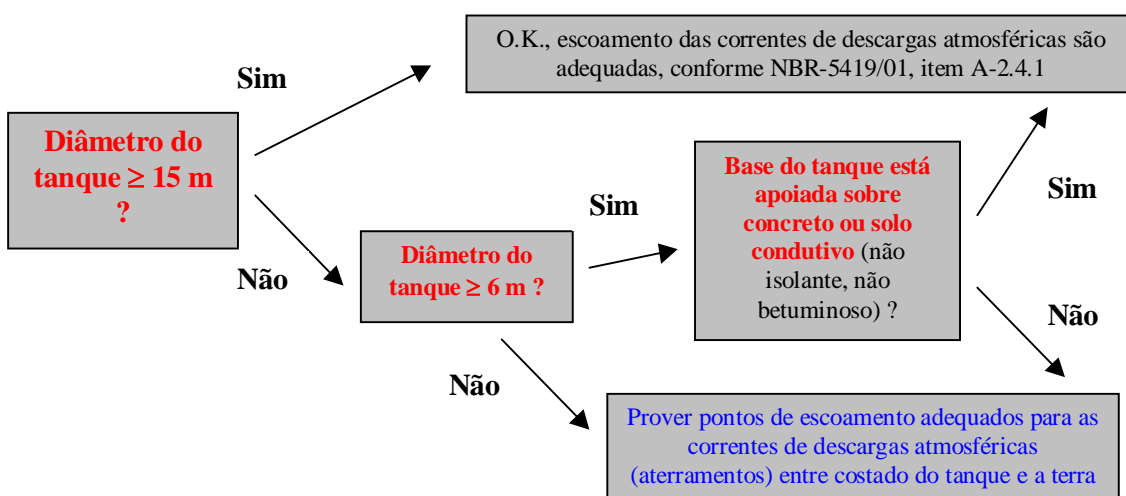
A NBR 5419^[41] recomenda a espessura mínima de chapa.

b) Risco de centelhamento (risco de ignição) proveniente de diferenças de potencial significativas entre teto e costado por ocorrência de descargas atmosféricas.



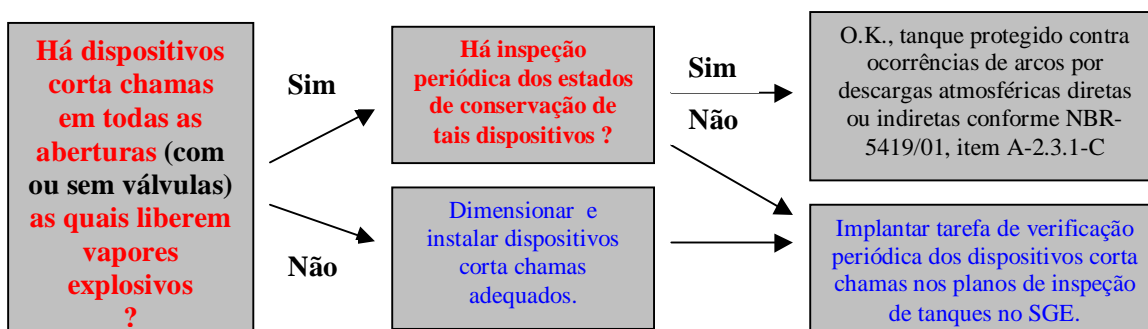
- Notas: 1) Estas ligações metálicas não previnem a ocorrência de centelhamentos envolvendo a atmosfera explosiva acumulada sobre o teto flutuante do tanque. Ver NBR 5419^[41], item A-2.3.2.
- 2) Caso a condição acima não seja aceitável, deve-se instalar proteção individual ou coletiva para prevenir a incidência direta de raios sobre o tanque, ou ao menos evitar a penetração deste na zona com atmosfera explosiva situada acima do teto.

c) Risco de surgimento de potenciais elevados entre tanque e solo por deficiência de escoamento dos surtos atmosféricos para a terra (risco de ignição ou de choque a seres humanos).



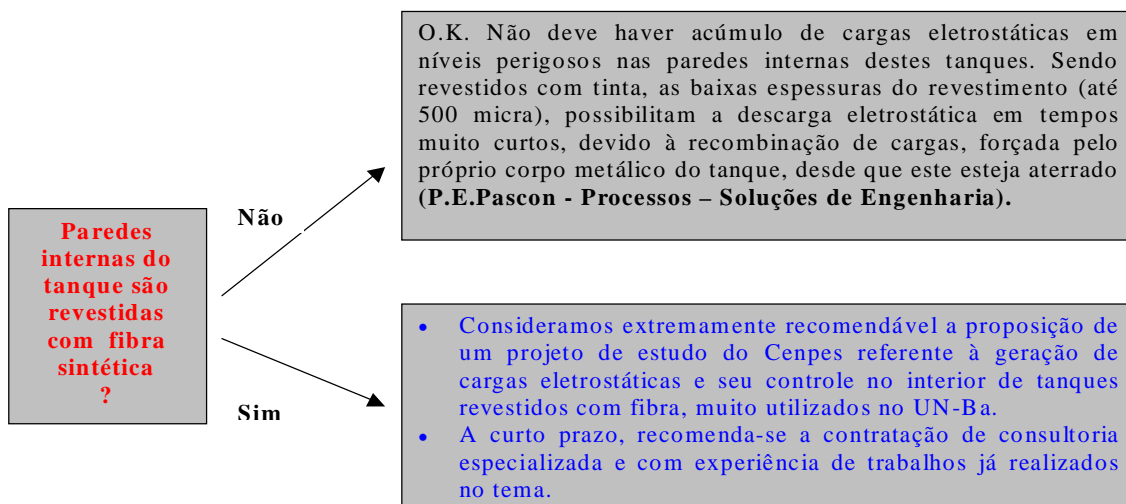
- Notas: 1) O princípio aqui considerado é o do acoplamento capacitivo entre o fundo do tanque e o solo. Neste caso, o surto é considerado transferível ao solo mesmo sem conexão metálica a terra,
- 2) No caso da necessidade de conexões metálicas a terra, estas deve ser múltipla e distribuída uniformemente ao longo da circunferência do costado, devendo haver uma haste para cada ponto,
- 3) Recomenda-se evitar a instalação de proteção anticorrosão por corrente impressa em tanques que não atendam às condições de acoplamento capacitivo citadas acima.

d) Risco de propagação de chama para interior do tanque após incidência de descargas atmosféricas diretas ou indiretas nas proximidades do tanque.



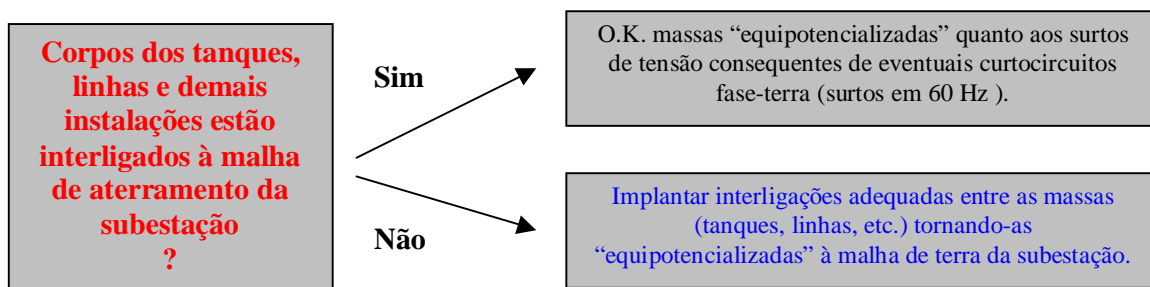
- Notas: 1) Recomenda-se que a tarefa de inspeção dos dispositivos corta-chama instalados seja considerada crítica ou prioritária, dada à frequência de entupimentos das colméias pelo óleo aspergido.
- 2) Caso seja adotada a prática de substituição dos dispositivos corta-chama por componentes em reserva rotativa (sub conjunto), deve-se atentar para o "MESG" especificado originalmente para cada caso quando forem diferentes as substâncias armazenadas no parque de tanques considerado.

e) Risco de centelhamento interno (ignição da atmosfera interna) em tanques revestidos (com fibra) devido à geração de campos eletrostáticos no revestimento interno.



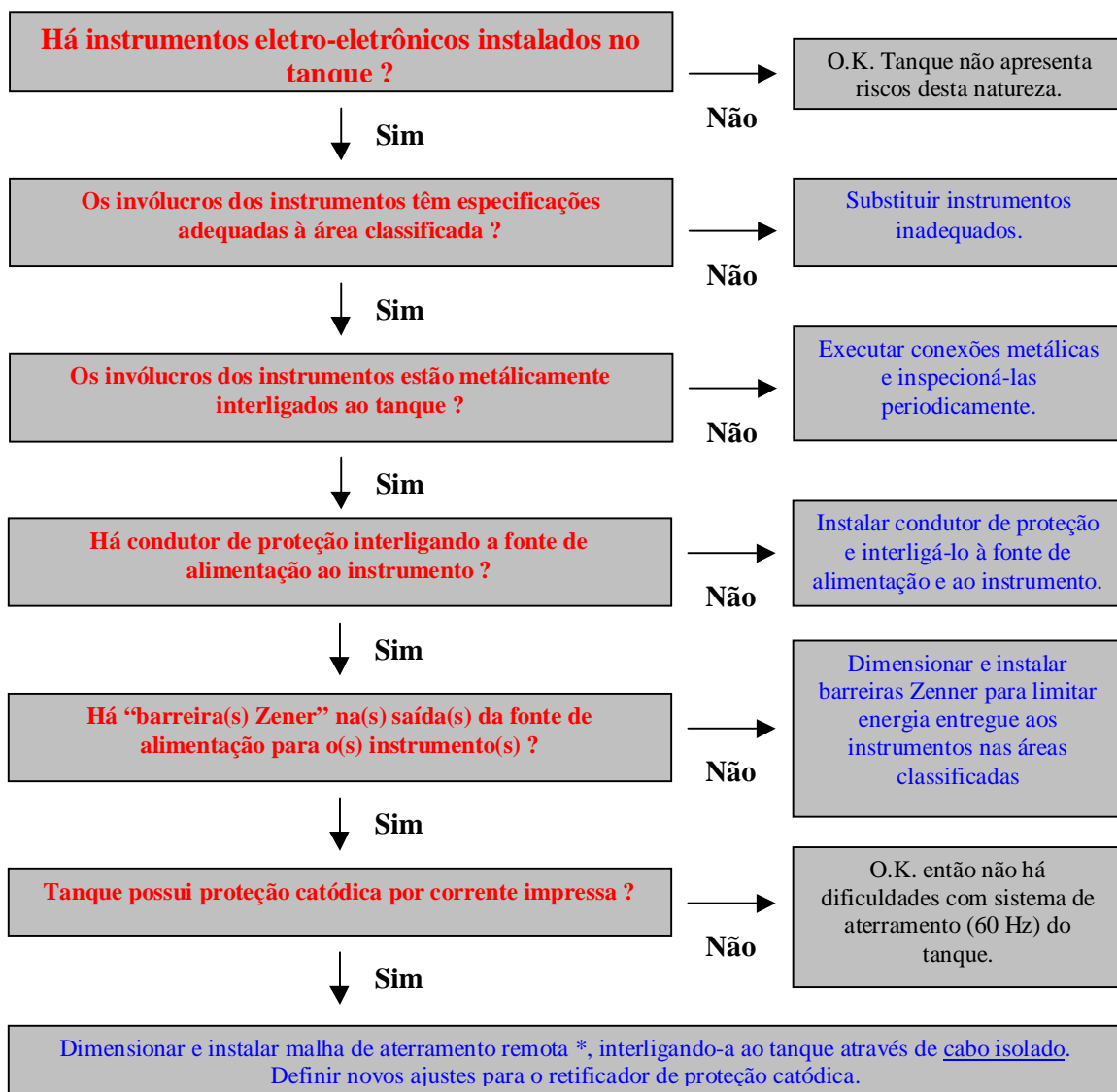
- Notas:
- 1) Verificamos ser este um tema pouco estudado, apesar do encontro do relato de alguns eventos graves de acidentes com incêndios e explosões de tanques na literatura técnica.
 - 2) A publicação do API^[1] 2003, 6ª edição, setembro de 1998, preconiza no seu item 4.5.9.1, referente a tanques de superfície que ... “não é recomendável armazenar líquidos inflamáveis em tanques isolados (por exemplo, plásticos, de fibra)”.
 - 3) Os tanques revestidos, muito utilizados na refinaria/UN-Ba (Unidade de Negócio do estado da Bahia BA – Refinaria Landolfo Alves RLAN - PETROBRAS) não são totalmente isolantes, mas a literatura técnica pesquisada mostra que, dependendo da resistividade superficial do material utilizado no revestimento e da sua espessura, pode-se criar condições para o surgimento de arcos elétricos com energia equivalente suficiente para atingir as condições de inflamabilidade da atmosfera interna do tanque.

f) Riscos de centelhamento em instalações de produção ou de choque elétrico em seres humanos, devido à transferência de diferenças de potenciais desde a malha de aterramento da subestação para as demais instalações da estação.



- Notas: 1) Não é estritamente correto considerar-se o conceito de equipotencialização quando o surto transferido referir-se a impulsos atmosféricos (alta frequência). Nestes casos, pode-se tão somente controlar os potenciais máximos entre reflexões sucessivas, até o atingir a equipotencialização.
- 2) A equipotencialização é bem aplicada quando o surto transferido for resultante de curto circuito envolvendo sistemas a frequência industrial (60 Hz).

g) Riscos de surgimento de pontos quentes ou arcos elétricos de alta energia em instalações de sistemas de medição ou automação do tanque (risco de ignição da atmosfera explosiva).



- Notas:
- 1) O aterramento com impedância elevada destina-se tão somente a equipotencialização para falhas à freqüência industrial, não atuando durante surtos atmosféricos, pois o cabo isolado é visto por este como um guia de onda com comprimento infinito.
 - 2) Torna-se necessário um novo ajuste do retificador de proteção catódica, dado o maior consumo.

5.3.4 Proteção Contra os Raios^[17]

Tanques metálicos, equipamentos e estruturas comumente encontrados na indústria de petróleo, que estejam em contato direto com a terra (sobre uma base de concreto) têm provado estar suficientemente bem aterrados para fornecer a segura propagação para a terra da descarga elétrica dos raios.

O aterramento complementar por meio de hastes de aterramento nem aumenta nem diminui a probabilidade de ser golpeado, nem reduz a possibilidade de ignição do conteúdo.

Aterramento adicional é necessário onde não houver aterramento direto.

5.1 PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO^[41]

Nas estruturas industriais, a proteção contra descargas atmosféricas deverá ser conforme orienta a NBR-5419^[41]

A título de exemplo os passos abaixo, de a) até i) orientam para o entendimento da execução de um projeto para obter a proteção contra descargas atmosféricas.

Lembrando de que não existe proteção 100% em nenhum dos métodos a ser empregado.

a) Nível Cerâmico (Td) : definido como número de dias em que são ouvidas trovoadas durante todo o ano.

Dados obtidos através de consulta ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial INPE ou aeroportos.

- b) Densidade de Descargas para a Terra (N_g): definido com o número de raios para terra por Km^2/Ano .

Calculado pela fórmula abaixo. Tem-se a idéia de quantos raios caem por quilometro quadrado durante o ano.

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25}$$

- c) Área de Exposição Equivalente (A_e): É a área do plano da edificação prolongada em todas as direções de modo a levar em conta sua altura.

Área de captação. Pode ser calculada empregando a fórmula:

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H \quad (\text{m}^2)$$

Onde: W = Largura

L = Comprimento

H = Altura

- d) Frequência Média Anual Previsível (N): É a frequência previsível de Raios sobre a estrutura.

$$N = N_g \cdot A_e \cdot 10^{(-6)} \quad \text{p/Ano}$$

- e) Frequência Admissível (N_C): Dados normalizado que deverão ser utilizados nos cálculos.

- e1) Riscos maiores que $10^{(-3)}$ - considerados inaceitáveis (1 morte em 1000);
 e2) Riscos menores que $10^{(-5)}$ - considerados aceitáveis (Dispensa o SPDA - 1 morte em 100.000);

e3) Intermediário é consenso Projeto/Construtor.

f) Avaliação Geral do Risco (N)

Após determinar (N) que é a Média Anual Previsível, deve-se multiplicar este resultado pelos Fatores de Ponderação, definidos na NBR-5419^[37].

$$N \text{ (Barrado)} = N \times \text{Fator A} \times \dots \times \text{Fator E}$$

g) Verificação da Necessidade da Proteção

g1) Se $N(\text{Barrado}) > 10^{(-3)}$ Requer SPDA;

g2) Se estiver entre $10^{(-5)}$ e $10^{(-3)}$ Conveniência Proprietário / Projetista;

g3) Se for Menor ou Igual $10^{(-5)}$ Dispensa SPDA.

h) Eficiência de um Sistema de Proteção

$$E = 1 - [NC/N(\text{Barrado})] \text{ 98\% Nível I (Risco muito elevado - dados de norma)}$$

h1) 95% Nível II

h2) 90% Nível III

h3) 80% Nível IV

Calculada a eficiência o próximo passo é consultar a tabela abaixo (NBR-5419) e optar pelo modelo de proteção mais adequado.

Nível de proteção	R m	h m	Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
			0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m	
I	20		25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30		35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45		45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60		55°	45°	35°	25°	2)	20

R = raio da esfera rolante

¹⁾ Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

²⁾ Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

2 O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

Tabela 8 - Posicionamento de Captadores^[41]

O modelo que tem demonstrado maior eficiência para a proteção de estrutura é a Gaiola de Faraday. Concluindo o exemplo, aplicando a tabela 8, admitindo nível de proteção I. Através da coluna 1, a linha de menção nível I de proteção leva a coluna de largura do módulo da malha igual a 5m (ver nota 2).

O valor resultante será o adotado na estrutura que se deseja proteger.

5.2 AQUECIMENTO DAS BARRAS

^[42]

No caso das correntes do raio, o aquecimento medido por $R \cdot I^2 \cdot t$ é muito pequeno, já que R é da ordem de miliohms ($m\Omega$), t é da ordem de microsegundos (μs) ou milisegundos (ms) e, mesmo considerando os maiores valores de I (200-250 kA), resultará um valor final para o aquecimento muito baixo em relação ao suportável pelo concreto armado. Se a ferragem for também utilizada para escoar corrente de curto circuito poderia trazer algum risco pois o tempo passaria a ser bem maior e com uma corrente de 10 ou 20 kA passando por um a cinco segundos a elevação da temperatura pode provocar o destacamento da barra em relação ao concreto.

Para que a corrente de curto-circuito possa escoar pela ferragem sem danificar o concreto é necessário que seja feita uma avaliação deste aquecimento e que as conexões sejam bem firmes de preferência com conectores de aperto, rosca ou com solda. Caso se queira utilizar a ferragem de concreto para as duas finalidades deve-se estabelecer um ponto (ou melhor, uma barra) para a ligação do sistema de força, ao qual, deverá estar conectada firmemente várias barras de reforço, com esta divisão de correntes, evitaríamos aquecimentos indesejáveis superiores a 300-400 °C.

Outra maneira bem mais prática é a utilização de disjuntores ou fusíveis limitadores que reduzem o tempo a alguns ms e impedem a corrente de curto circuito e atingir o primeiro valor de crista. Este é o procedimento usual nos circuitos de baixa tensão e mesmo com correntes de curto circuito elevadas o efeito térmico não é crítico. Experiências feitas no Instituto de Engenharia de Eletrotécnica da Universidade de São Paulo, mostraram que as correntes de 5 kA com duração de 3 segundos provocam grande aquecimento da barra de aço $\frac{1}{2}$ " = 12,5 mm e o conseqüente afrouxamento da ligação aço-concreto.

Os arcos elétricos nas junções das barras constituem o maior risco quando se utilizam as rebars para condução de corrente do raio, principalmente nas descidas e, em especial, nos cantos das edificações. De fato, a maior incidência dos raios é mesmo nos cantos dos prédios, e a divisão das correntes é tal que, pela descida correspondente, desce cerca de 50 % da corrente o que corresponde a valores de 50 a 125 kA para os diversos níveis de proteção (usa-se para efeito de cálculo 250 kA para nível I, 150 kA para nível II e 100 kA para os demais níveis segundo projeto de guia IEC ^[M]).

Na prática convencional ao longo das colunas de concreto armado as barras são amarradas entre si pelos estribos através de arame recozido, sem a preocupação da obtenção de um bom contato elétrico e nas emendas das barras não há a necessidade desta amarração.

Para a obtenção da resistência mecânica desejada da coluna de concreto é até conveniente que o cimento entre em contato com toda a secção do aço, ou seja, se a amarração for feita ela não precisa ser firme; a finalidade é apenas manter a ferragem no local durante a fundição do concreto. Quando a corrente do raio passar de uma barra para outra com um mau contato entre elas, surgirá um arco elétrico, que provocará a rápida evaporação da água contida no concreto e a sua conseqüente explosão com possíveis riscos para a integridade da coluna.

Experiências feitas em junções preparadas especialmente, mostraram que as emendas com resistência de contato superior a 5 a 10 ohms não suportam correntes de impulso maiores que 50 kA. Deve-se providenciar uma boa amarração através dos estribos para se ter uma divisão de corrente entre as barras verticais das colunas e também uma amarração firme entre as barras verticais ao longo da coluna, com resistência elétrica inferiores a 10 ohms, para evitar arcos elétricos. Ao longo da coluna teremos vários percursos em paralelo, pois as barras de cada coluna são interligadas pelos estribos a cada 10 a 15 cm e as exigências de continuidade em geral são satisfeitas.

De qualquer forma é preciso prover pontos de verificação da continuidade ao longo das colunas em sua montagem para que sejam avaliadas.

5.5.1 Efeito Pelicular nas Barras de Aço^[17]

Como as correntes dos raios são de altas freqüências com tendência a passar pela periferia do condutor é de se pensar na possibilidade da barra de aço se soltar do concreto, diminuindo a resistência mecânica deste. Experiências feitas fazendo-se passar correntes de impulso de alto valor em barras concretadas mostraram o destacamento de pequenas placas. Para investigar melhor foram feitas experiências no Instituto de Engenharia de Eletrotécnica da Universidade de São Paulo, com barras de ferro embutidas em blocos de concreto e submetidas à passagem de correntes de impulso. Os

resultados mostraram que esse efeito não é de causar preocupação para a integridade das vigas e colunas de concreto armado.

Foram utilizados correntes da forma **4/10 μ s** com valores de crista de até 100 kA. Para verificar a influência da passagem de correntes de curto circuito foram feitos ensaios com correntes de 5 kA e duração de 3 segundos. Neste caso a temperatura da barra atingiu valores de 600 a 700 °C e houve o afrouxamento da ligação aço/corrente. Daí a necessidade da utilização de dispositivos limitadores ou assegurar uma boa distribuição das correntes.

5.5.2 Cálculo do Aquecimento dos Vergalhões Estruturais Provocados por Descargas Atmosféricas^[42]

Este estudo tem como objetivo esclarecer dúvidas quanto à prática de interligar os cabos de descidas dos pára-raios às ferragens dos pilares de concreto das construções industriais.

O Standard Handbook for Electrical Engineers menciona os seguintes:

- a) os valores comuns das correntes das descargas atmosféricas registradas situam-se entre 35 kA e 40 kA (valores de crista);
- b) o tempo total até a extinção das descargas é menor que 160 μ s;
- c) o maior valor de corrente (crista) registrado para uma descarga atmosférica é de 180 kA.

Para o presente estudo foi adotado as seguintes premissas:

- a) para o tempo de duração de uma descarga atmosférica um valor maior que 3 vezes o tempo das descargas comuns - 500 μ s;
- b) para o valor de corrente de uma descarga atmosférica - 180 kA.

Deve ser ainda observado que o menor valor de diâmetro de vergalhão usado na construção de pilares é de 3"/8 (10 mm).

As características dos vergalhões de aço são as seguintes:

δ - densidade do aço (g/cm ³)	7,0
c - calor específico do aço (cal/g. °C)	0,114
T_f - temperatura de fusão do aço (°C)	1 400
ρ - resistividade do aço ($\mu \Omega \cdot \text{cm}$)	15,8

5.5.3 Dados do vergalhão

L - comprimento (cm)	
D - diâmetro (cm)	
S - seção reta (cm ²)	$= \pi \cdot D^2 / 4$
m - massa (g)	$= L \cdot S \cdot \delta$
R - resistência elétrica (Ω)	$= \rho \cdot L / S$

5.5.4 Dados Térmicos

$$Q - \text{energia calorífica gerada (cal)} = 0,24 R \cdot I^2 \cdot t$$

$$= 0,24 (\rho \cdot L / S) I^2 \cdot t$$

$$\Delta T - \text{elevação de temperatura (°C)} = Q / m \cdot c$$

$$= (0,24 \frac{\rho L}{S} I^2 t) \div L \cdot S \cdot \delta \cdot c = \frac{0,24 \times 15,8 \times 10^{-6} \times 1,8^2 \times 10^{10} \times 500 \times 10^{-6}}{S^2 \times 7,9 \times 0,114}$$

$$\Delta T = 68,21 \frac{1}{S^2} \text{ °C } \text{ ou}$$

$$\Delta T = 68,21 \frac{4}{\pi \cdot D^2} \text{ °C } \therefore \Delta T = 86,85 \frac{1}{D^2} \text{ °C}$$

Para simplificarmos os cálculos, errando para o lado da segurança, podemos adotar para a elevação de temperatura os seguintes valores práticos:

$$\Delta T = 70 \frac{1}{S^2} \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ou} \quad \Delta T = 90 \frac{1}{D^2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nota: Utilizar os valores dos diâmetros dos vergalhões em centímetros.

5.5.5 Observações

Para os vergalhões de diâmetro comercial temos a seguinte tabela de aquecimento:

Tabela 9 - Aquecimento de vergalhões^[44]

Diâmetro do Vergalhão (mm)	Elevação de Temperatura (°C)
5	347
6,3	219
8	136
10	87
12,5	56
16	34
20	22
25	14

As seguintes conclusões são obtidas:

- a) o aquecimento do vergalhão independe do seu comprimento;

- b) o aquecimento do vergalhão depende somente da área da sua seção reta;
- c) nenhum dos vergalhões de diâmetro indicado na Tabela 9 tem suas características metalográficas alteradas pelo aquecimento produzido;
- d) a partir do diâmetro nominal de 10 mm, o aquecimento produzido não provoca a evaporação da água que por ventura esteja contida no pilar.

Os sistemas de proteção contra raios usam captos aéreos (hastes, terminais ou cabos) para receptor as descargas e direcionar a corrente para a terra através de circuitos de baixa impedância elétrica.

5.5.6 O Concreto Protendido^[17]

No caso do concreto protendido a grande maioria das normas não permite o uso da ferragem como parte do sistema de proteção por várias razões. A responsabilidade do aço tensionado é muito maior, e a ruptura de um cabo poderá levar ao colapso de toda a peça, a qual poderá ser uma viga, uma coluna ou uma telha. O aço sob a forma de cabo tensionado, ao se percorrido por uma corrente de alto valor pode apresentar contrações e expansões, devias às forças entre os fios do cabo, com destacamento do concreto e rompimento de alguns fios.

Se o raio atingir uma estrutura de concreto protendido arrancará uma parte do concreto até atingir um dos condutores havendo neste caso dois perigos – romperem-se alguns fios do cabo que tem por isso sua resistência mecânica diminuída podendo o cabo romper-se imediatamente - o aço suporta o impacto do raio, mas fica exposta a intempérie, o que causará corrosão e rompimento em poucos meses, com conseqüente colapso da peça.

A única norma entre oito analisadas (Americana, Italiana, Suíça, Alemã, Francesa, Dinamarquesa, Internacional e Inglesa) que permite o uso da ferragem do concreto protendido como parte do sistema de proteção é a

Inglesa. Como as normas IEC e ABNT não permitem o uso da ferragem do concreto protendido não se deve utilizar esta técnica no Brasil.

5.6 EQUALIZAÇÃO DOS POTENCIAIS^[22]

O objetivo da equalização de potencial é evitar tensões de contato perigosas em caso das faltas fase-massa internas ou externas à estrutura.

Analogamente, uma equalização de potencial contra descargas atmosféricas destina-se a eliminar o risco de descargas laterais provocadas pelos raios.

Esta segunda modalidade de equalização contempla medidas adicionais para instalações particularmente expostas a descargas atmosféricas (como a proteção por pára-raios na rede de baixa tensão).

Numa edificação devem reunir um ou mais condutores de equipotencial principal composto dos seguintes elementos:

- a) Conductor de proteção principal;
- b) Conductor de aterramento principal ou terminal de aterramento principal;
- c) Canalização metálica de água, gás e outras utilidades;
- d) Colunas ascendentes de sistema de aquecimento central ou condicionador de ar;
- e) Elementos metálicos da construção e outras estruturas metálicas;
- f) Cabos de telecomunicação, com a concordância da empresa operadora;
- g) Eletrodo de aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (“pára-raios”) da edificação;
- h) Eletrodo de aterramento das antenas externa.

Numa instalação industrial de porte os elementos a) e b) podem ser reunidos no barramento PEN do quadro geral de cada subestação

transformadora; os demais elementos, como as tubulações, são em geral aterrados nas malha, na entrada de cada área. Tratando-se de prédios comerciais ou residenciais, o arranjo físico adotado por norma é conforme apresentado na figura 43.

5.6.1 Regra Básica para Equalização

Todas as partes metálicas existentes devem ser interligadas ao sistema de captosres ou a seus condutores de interligação, inclusive e principalmente os mastros das antenas de televisão ou Rádio Comunicação. As descidas devem ser dispostas ao longo do perímetro, da maneira mais uniforme possível. Nos locais altos deve haver uma interligação entre as descidas a cada vinte metros da altura, a partir do chão.

Pelo menos a vinte metros todas as descidas devem ser interligadas à ferragem de concreto, para evitar descargas entre essas partes, como danos ao revestimento e ao concreto.

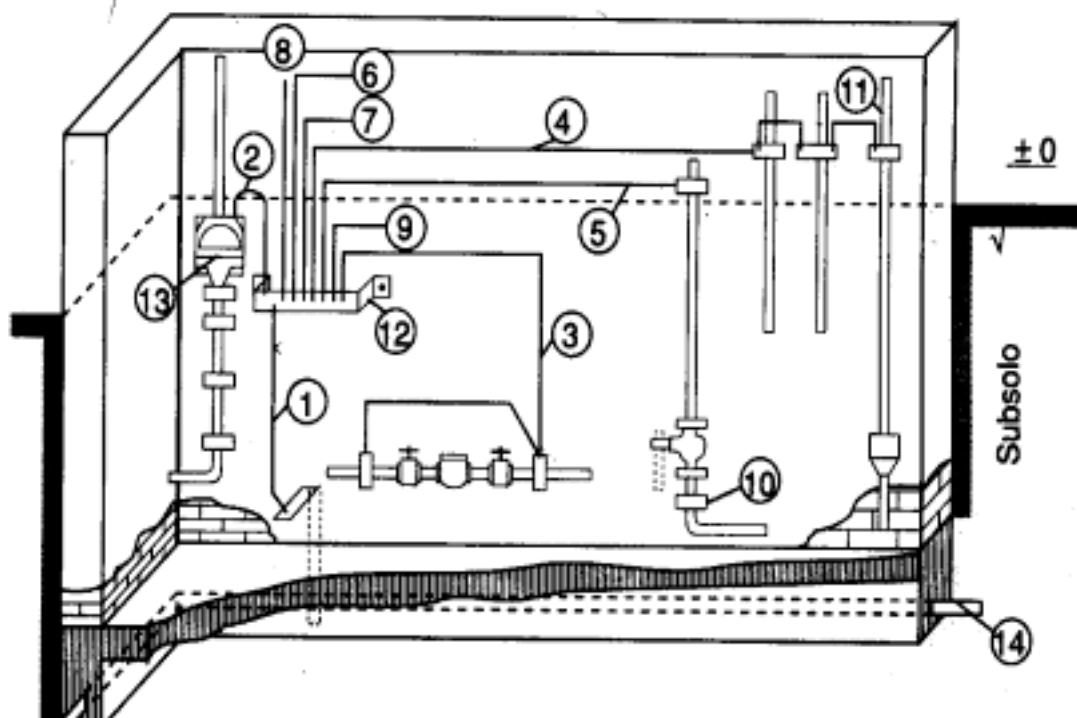


Figura 43 - Regras para Equalização ^[22]

- 1) Condutor de aterramento principal;
- 2) Condutor de proteção principal;
- 3) Canalização de água;
- 4) Canalização de aquecimento central;
- 5) Canalização de gás;
- 6) Ao eletrodo de aterramento da antena;
- 7) À instalação de telecomunicação;
- 8) Ao eletrodo de aterramento pára-raio;
- 9) Reserva;
- 10) Luva isolante interposta na canalização de gás;
- 11) Canalização de esgoto, quando metálica;
- 12) Barra de ligação equipotencial principal;
- 13) Mufla do cabo de entrada de baixa tensão;
- 14) Eletrodo de aterramento nas fundações.

Todas as tubulações metálicas devem ser ligadas a Barra de ligação equipotencial principal, conhecido como LEP (Ligação de Potencial Principal). A LEP deve ser instalada isolada da parede e o mais próximo do nível do solo. A LEP deve ser ligada ao aterramento. Todas as massas dos equipamentos e aparelhos elétricos deverão ser ligadas a LEP. Todos os equipamentos e aparelhos eletrônicos devem ser protegidos por Supressores de Surto (SS).

Na entrada da instalação de força deve ser instalado um pára-raios de linha de baixa tensão entre cada condutor fase e a LEP. O cabo terra do distribuidor geral (DG) das linhas telefônicas devem ser ligados a LEP por uma ligação de baixa impedância. No DG devem ser instalados supressores de surtos adequados para o tipo de central. Se a estrutura tiver muitos pavimentos as regras se aplicam a cada um, ou seja, terá sua LEP.

5.6.2 Comentários dos Eletrodos de Fundação

Eletrodos de fundação destacam-se pelas seguintes características:

- a) oferecem baixos valores de resistência de aterramento, praticamente imunes às alterações climáticas;
- b) o anel embutido no concreto fica protegido contra danos mecânicos e corrosão, e tem vida útil compatível com a das edificações;
- c) sua topologia é ideal para equalização de potencial dos sistemas elétrico, hidráulico e de proteção contra descargas atmosféricas.

Sob a óptica da segurança das pessoas contra tensões de contato perigosas e descargas laterais, a unificação dos aterramentos e sua plena equalização de potenciais constituem um procedimento eficaz, do qual não devem ser excluídos os equipamentos eletrônicos e de processamento de dados.

5.7 EQUIPAMENTO ELETRÔNICO^[17]

Os computadores (PC's) pessoais, com seus periféricos geralmente montados todos praticamente juntos, com cabos de interligação de 1 e 2 metros de comprimento, precisam ser protegidos somente contra surtos vindos pela tomada de força.

Se esta for de três pontos - sistema TN-S, deverá ser instalado um circuito de proteção constituída de três varistores montados como sugere a figura 44.

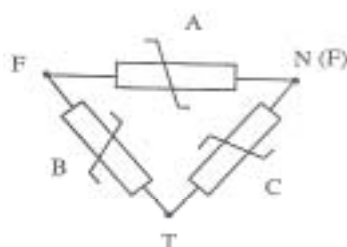


Figura 44 - Circuito de Proteção a Varistores^[17]

Com essa montagem, serão suprimidos os surtos diferenciais (pelo varistor A) e os de modo comum (pelos varistores B e C). Se for omitido o varistor A, a proteção diferencial será dada por (B+C), com as seguintes desvantagens:

- a) Como os varistores estão em série, a tensão nominal do conjunto será o dobro; se estivermos usando varistores de 130 Volts, corresponderá a estar usando um varistor de 260 Volts, isto é, o conjunto “deixará passar” um maior número de sobretensões.
- b) Quando ocorrer surto diferencial, a tensão residual também terá o dobro do valor.

Destas duas a segunda é que poderá representar um maior risco, o que será importante em instalações com interrupções de cargas indutivas elevadas. Nas instalações residenciais urbanas, a maior quantidade de sobretensões é diferencial e, portanto, é atrativa a idéia de se colocar só o varistor A, mas se correrá o risco de danos quando ocorrer um surto atmosférico. A solução só seria viável no sistema TN-C com uso de condutor PEN.

Se houver uma proteção na entrada da instalação, a proteção individual dos PCs residenciais será dispensável. No caso de grandes prédios de

apartamentos, a entrada a ser considerada será o quadro do apartamento. Os varistores poderão ser de pequena capacidade de 4 a 5 kA. A proteção poderá ser completada por um filtro LC, como indicado na figura abaixo, para supressão dos pulsos de tensão de valor inferior ao de início de condução dos varistores e mesmo para redução da tensão residual desses.

O uso somente do filtro na linha não é suficiente, pois a isolação dos seus componentes não suportaria os pulsos da maior intensidade que são os de origem atmosféricas. Comercialmente é possível encontrar o conjunto varistores + filtro, somente os varistores ou somente o filtro, mas é preciso atentar para o fato de que no Brasil, todas essas alternativas são denominadas “filtros de linha” e consideradas como protetores completos (surtos atmosféricos, surtos de manobra e flutuações de tensão seriam suprimidos), sendo por isso de custos muito diferentes.

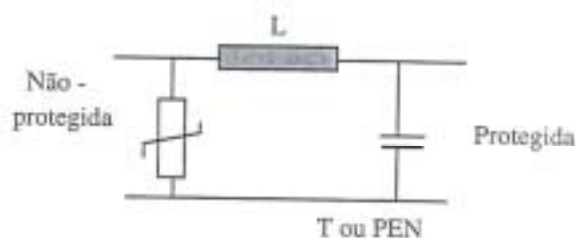


Figura 45 - Filtro LC^[17]

Chamando ainda a atenção para que nenhum protetor funcionará corretamente e não existir o condutor de terra como é solicitado pela norma brasileira de instalações de baixa tensão NBR-5410^[21].

5.7.1 PC's em Instalações Comerciais e Industriais^[17]

Nestes casos o esquema de proteção será diferente, pois havendo uma rede local (LAN – “*Local Área Network*”), tem vários PC's conversando entre

si e com vários periféricos, como as impressoras, os traçadores ou plotters, sensores e microprocessadores, situadas dezenas de metros uns dos outros. O aterramento dos vários equipamentos poderá ser realizado tanto em um ponto único (estrela ou malha) como em pontos múltiplos (em malha) como indicados nas figuras 46 e 47, havendo preferência pelo primeiro caso apresentado quando as distâncias são pequenas e pelo último quando as distâncias são maiores ou quando há muitos equipamentos em um mesmo ambiente (quando se usa uma malha sob um piso falso).

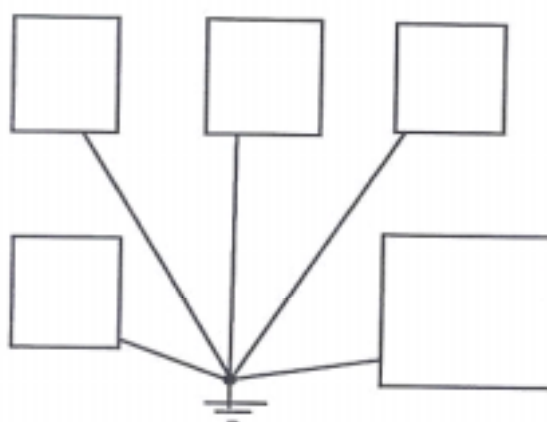


Figura 46 - Aterramento em Pontos Múltiplos (Pequenas Distâncias)^[17]

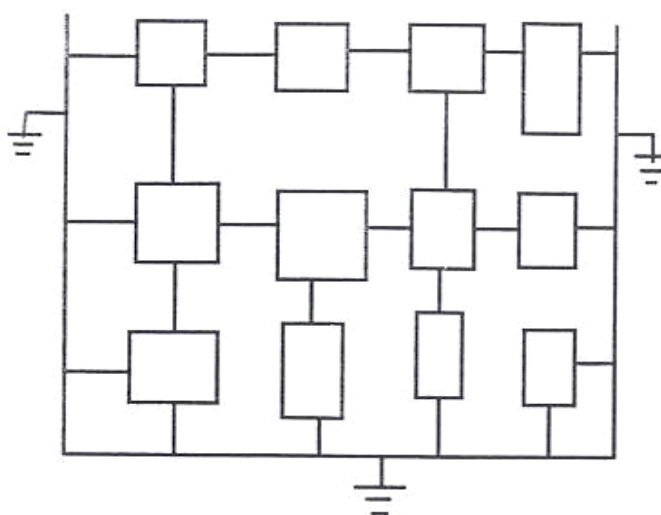


Figura 47 - Aterramento em Pontos Múltiplos (Grandes Distâncias)^[17]

Há casos de que a proteção deverá ser feita na alimentação com varistores de maior capacidade (20 a 30 kA um impulso) ou com transformadores de isolação.

Os varistores são necessários para reduzir os surtos que podem passar através das capacitâncias primário/secundário ou primário/blindagem e blindagem/secundário no caso de haver uma blindagem eletrostática entre os enrolamentos, além de protegerem o próprio transformador.

O varistor na saída reduz os surtos diferenciais.

Uma escolha adequada na topologia da instalação reduzirá a área a ser abrangida pelos campos magnéticos, eliminando as tensões induzidas nas interligações entre os componentes do sistema.

5.7.2 Proteção pela Redução de Área Envolvida pelos Cabos de Força e a Linha de Dados

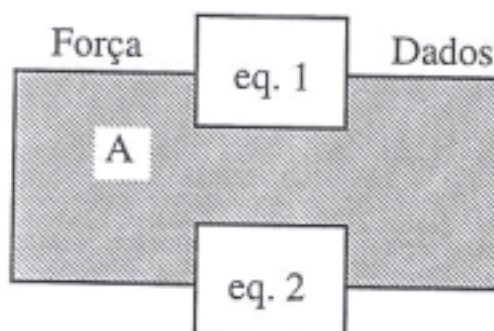


Figura 48 - Área de Exposição a Tensões Causadas pelos Raios^[17]

Se a instalação for feita como indicada na figura 48 surgirão tensões, sob os campos eletromagnéticos causados pelos raios, dentro de cada um dos PC's proporcionais a área A.

A que poderão causar danos não só a isolação como nos componentes de placa de circuito impresso. A blindagem com tubos metálicos ou a redução da área reduzirão essas sobretensões.

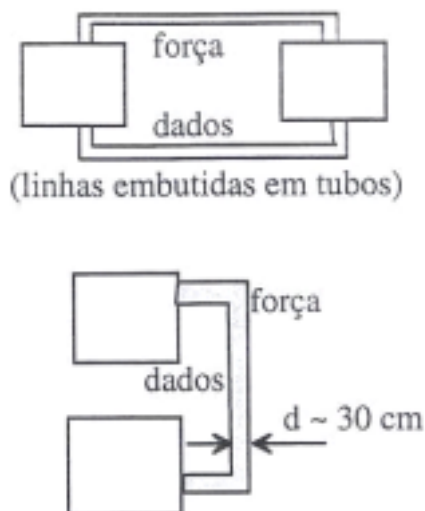


Figura 49 - Blindagem com Tubos e Redução de Área^[17]

Em caso de impossibilidade, as linhas de dados deverão ser protegidas em ambas as extremidades por protetores com circuitos de 1 estágio ou 2 estágios como indicado.

Outros casos em que a proteção das linhas de dados é importante são das instalações dos equipamentos com comando digitais tipo Controlador Programável ou Sistemas Digitais de Controle Distribuído em que existem dezenas ou mesmo centenas de sensores espalhados em grandes áreas industriais, às vezes abertas, mandando ou recebendo informações ao controlador ou ao computador.

Nestes casos, deve-se procurar blindar (definido em 1.10.3), os cabos de dados colocando-os dentro de tubos metálicos sem costura (de preferência de ferro), aterrados em vários pontos, de modo a reduzir as sobretensões induzidas.

Note-se que os cabos coaxiais blindados apresentam um fator de blindagem baixo, pois a malha com fios de cobre estanhados deixam fendas por onde passam os campos eletromagnéticos.

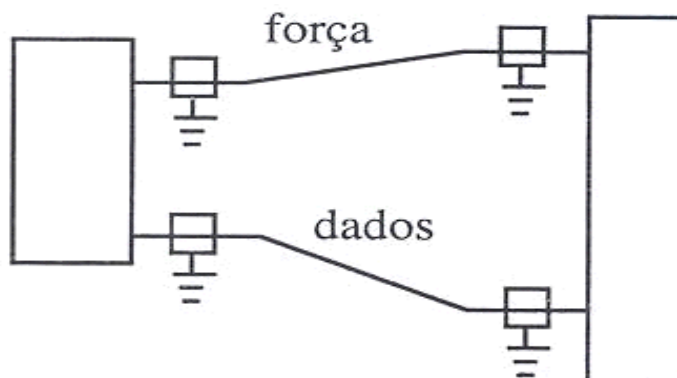


Figura 50 - Protetores em Ambas Extremidades^[17]

Se não houver possibilidades de entubar os cabos das linhas de dados, é importante desacoplá-los galvânicamente através de um pequeno trecho em fibra ótica (poucos metros) ou pelo uso de acopladores óticos. O uso de protetores especiais de elevado nível de proteção e alta energia também é possível. Se a linha não for muito longa e o custo for compatível a melhor solução é o uso de um cabo totalmente em fibra ótica.

A utilização total da fibra ótica pode apresentar restrições técnicas, além das econômicas, caso o sinal a ser transmitido seja fraco e a distância a ser percorrida pelo sinal for de várias centenas de metros, a atenuação da fibra ótica será um fator limitador, sendo usual utilizar-se o limite 1000/1500metros, embora este limite seja constantemente aumentado.

Os acopladores óticos têm uma tensão suportável de impulso da ordem e 2,5 kV, o que é suficiente, em geral, para instalações em ZONAS (LEZ1^[17]) para instalações expostas ou parcialmente abrigadas (LEZ0_B^[17]) deve-se usar acopladores especiais que não são encontrados facilmente (NBI = 40/50kV).

Em qualquer dos casos analisados acima é imprescindível que o aterramento seja feito por métodos já indicados (como por único ponto ou

pontos múltiplos), tanto para segurança do operador como para segurança do equipamento. Mesmo com o uso de fibra ótica para linha de dados, a linha de força dos equipamentos precisará de proteção; os aterramentos também deverão obedecer às regras gerais.

Em instalações industriais e comerciais tem havido vários casos de falha de proteção, apesar de estarem sendo usados protetores de boa qualidade.

5.7.3 Principais Fontes Geradoras de Surtos

- a) A descarga atmosférica nas seguintes formas
 - a1) incidente diretamente sobre a vítima
 - a2) incidente diretamente sobre o prédio ou a abrigo que contém a vítima
 - a3) incidente em sítios próximos à vítima (descargas laterais)

- b) As estações de rádio (Radar, Freqüência Modulada, Amplitude Modulada) aos redores da vítima.

- c) As máquinas elétricas de potência motorizadas, que utilizem arco elétrico ou chaveados por diodos ou tiristores.
 - c1) surtos induzidos
 - c2) surtos conduzidos até a vítima

- d) O EMP (Pulso Eletromagnético) gerado por reações nucleares.

5.7.4 Equipamentos Protegidos

Alguns equipamentos com as características abaixo são considerados auto protegidos.

5.7.4.1 Estruturas de Aço, Tanques, Vasos e Chaminés

As estruturas comuns de aço, colunas de processo, vasos, tanques de armazenagem de aço e chaminés de aço de uma planta de processamento de petróleo ou de instalações similares não serão apreciavelmente danificadas por descargas diretas de raios; entretanto, é necessário aterrar adequadamente as estruturas mais altas para evitar possíveis danos às suas fundações de concreto reforçado e para propiciar uma Zona de Proteção para o equipamento elétrico e outros equipamentos na área circunvizinha.

A NFPA780^[29] descreve a prática recomendada para proteger as estruturas contra as descargas atmosféricas.

5.7.4.2 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

Os sistemas de distribuição de energia elétrica devem ser protegidos contra descargas de raios para evitar danos ao equipamento, paralização da planta e riscos de choques para o pessoal. As linhas aéreas podem ser blindadas, em relação às descargas pela instalação de fios de aterramento aéreo (blindagem estática) que fornece triângulo de proteção para condutores de fase.

Similarmente, subestação e equipamento de distribuição externo podem ser blindados por torres de raios ou fios aéreos de blindagem estática, mas esses dispositivos de blindagem devem ser conectados a um sistema de aterramento adequado para serem efetivos.

O cabo aéreo normalmente será protegido por seu cabo mensageiro se este for adequadamente aterrado em intervalos freqüentes. Se o cabo tem uma capa ou armadura metálica, estas devem ser ligadas ao cabo mensageiro em cada ponto do aterramento.

Alimentadores consistindo de cabos em conduítes metálico são essencialmente auto protegidos, mas conduítes e capas metálicas devem ser corretamente aterradas e vinculadas ao equipamento em cada extremidade.

5.7.5 Supressores de Surtos^[17]

Quando o equipamento elétrico está conectado a um sistema de distribuição de energia elétrica que está exposto a descargas indiretas de raios ou surtos de tensão causados por descargas diretas de raios, o equipamento elétrico deve ser protegido por supressores de surto adequados.

Os supressores de surtos tem a capacidade não apenas de essencialmente não deixar passar corrente nas tensões de linha, mas também para passar corrente muito alta nas tensões de surto com pequena queda de tensão.

A aplicação de supressores e surto para vários equipamentos é indicada no IEEE Standard 242^[43].

Os supressores devem ser instalados tão próximos quanto o possível do equipamento a ser protegido.

Eles são necessários nas seguintes condições:

- a) Em terminais de distribuição de alta e baixa tensão em transformadores de energia com buchas expostas;
- b) Na junção entre um cabo alimentador de transformador e de linha de cabo nu para transformadores completamente fechados.

- c) Dependendo do comprimento do cabo e do regime do protetor, supressores de surto podem ser necessários, também, nos terminais do transformador;
- d) Em linhas aéreas, em cada ponto onde for feita a junção do cabo;
- e) Nos terminais dos transformadores do tipo seco quando alimentados de uma linha aérea;
- f) Nos terminais de motores importantes alimentados de uma linha aérea ou com suprimento por transformador alimentado de uma linha aérea;
- g) No lado do secundário de um transformador alimentado de uma linha aérea para a proteção de um grupo de motores (usualmente combinados com capacitores de surto nos terminais do motor);
- h) Os supressores instalados em sistemas conectados à concessionária devem ser coordenados com a concessionária.

5.7.6 Proteção de Instrumentos Contra Descargas Atmosféricas

Instrumentos de processo e sistemas de controle, sistemas remotos de medição de tanques e outros sistemas similares de baixa energia podem ser danificados por transientes induzidos por raios, mesmo se eles estiverem protegidos das descargas diretas.

A proteção contra tais transientes pode ser fornecida pelas combinações de Resistores em série com diodos Zener, Varistores de óxido metálico ou outros dispositivos para derivar surtos de tensão para terra. A maioria dos fornecedores de equipamentos pode recomendar métodos de supressão de transiente para protegê-los; essas recomendações devem ser seguidas.

5.7.7 Capacitores de Proteção

Os capacitores são usados para reduzir a taxa de elevação de surtos de tensão para proteger máquinas rotativas AC e outros equipamentos que tem baixo impulso elétrico ou resistência de isolamento de espira a espira. Eles são normalmente aplicados em conjunto com supressores de surto e conectados da linha para terra. A tensão nominal do capacitor deve corresponder à tensão do sistema e ser projetada para aplicação de proteção e surtos.

Os condutores de conexão entre o capacitor e cada fase e entre o capacitor e a terra devem ser tão curtos quanto possível.

5.7.8 Aterramento Híbrido^[39]

O sistema de aterramento híbrido nasceu da necessidade de serem aplicados vários conceitos de proteção principalmente contra os efeitos prejudiciais causados pelas descargas atmosféricas, e com o objetivo de solucionar problemas que surgiram quando do início da substituição de equipamentos eletromecânicos nos departamentos de correios e telégrafos da Suíça.

Esta técnica em linhas gerais cria um sistema, ou sistemas, equipotenciais com um ponto único de contato com o resto da instalação e tem como objetivo principal evitar a penetração nos equipamentos de sinais indesejáveis tais como correntes de curto circuito e as de escoamento das descargas atmosféricas.

Os efeitos eletromagnéticos das descargas atmosféricas podem ser considerados como um caso particular de compatibilidade eletromagnética, neste campo normalmente são identificados:

- a) fonte das perturbações;

- b) o meio transmissor / ou de acoplamento;
- c) o efeito perturbador;
- d) o objeto perturbado.

(Nos casos das descargas atmosféricas, como não temos condições de atuar sobre a fonte das perturbações, nos resta atuar sobre os itens b), c), e d).

5.7.8.1 Meio Transmissor ou de Acoplamento

Várias medidas devem ser tomadas com o objetivo de atuar nos meios de acoplamento, tais como:

- 1) Topologia dos circuitos - evitar laços “loops”, promover a entrada de todos os circuitos e elementos metálicos (canalizações) por único ponto no local da instalação.
- 2) Aterramento - aterramento por ponto único.

A sistematização destas várias medidas dá origem ao denominado de aterramento híbrido, cujas características básicas são as seguintes:

- 1) Existência de uma malha chamada terra do sistema aterrada em um único ponto denominado ponto de referência do sistema de terra / System Earth Reference Point – SERP
- 2) Cada malha poderá ter seu próprio SERP ou um SERP poderá atender diversas malhas.
- 3) O valor da impedância entre os SERP's deverá ser o menor possível. Sendo que o elemento condutor que serve de interligação deverá ter uma seção de no mínimo 2000 mm² (exemplo: colunas de aço, dutos fechados de aço).

- 4) Todos os cabos introduzidos na área da malha devem passar pelo SERP.
- 5) As blindagens dos cabos devem ser aterradas no SERP.
- 6) Filtros e Protetores contra surto devem ser instalados o mais próximo possível do respectivo SERP.
- 7) As dimensões dos quadrículos da malha (terra do sistema) dependem das frequências de operação dos equipamentos atendidos pela mesma.
- 8) Cabos de outros sistemas que cruzam a área em paralelo com os cabos de sistema devem estar à distância de no mínimo 50 centímetros para minimizar o acoplamento indutivo e capacitivo.
- 9) A malha (terra do sistema) deve ser isolada do piso para até uma tensão de 10 kV, com forma de onda de 1,2/50 μ s. Para que o sistema funcione adequadamente, o sistema de proteção contra descarga atmosférica externo deverá ser do tipo gaiola, o que irá reduzir os campos eletromagnéticos no interior da edificação.
- 10) Devem ser evitados os laços “loops” dos cabos de dados e de alimentação.
- 11) Devem ser utilizadas blindagens contínuas - a escolha do material para blindagem deve considerar a frequência do campo incidente e a atenuação desejada. Recomendação prática é o uso de materiais magnéticos para a blindagem de campos magnéticos de até 100 kHz e o uso de materiais de boa condutividade para a blindagem de campos elétricos com qualquer frequência e campos magnéticos com frequência acima de 100 kHz.

5.7.8.2 Vantagens do Aterramento Híbrido

- 1) É de fácil adaptação onde inclusive existem equipamentos eletromecânicos, no caso de telecomunicações as centrais de

comutação eletromecânicas podem conviver com centrais digitais (CPA's).

- 2) É de fácil ampliação adaptando-se a equipamentos de diversos fabricantes.
- 3) Possui grande flexibilidade podendo além do citado no item 1 (anterior), serem instalados em estruturas onde não foram previstos.

5.7.8.3 Desvantagens do Aterramento Híbrido

- 1) Treinamento amplo para evitar que os desconhecimentos das técnicas do aterramento híbrido não sejam feitos em ligações indevidas que anulem os efeitos benéficos dos mesmos.
- 2) A eficácia do sistema em certos casos particulares de interferências por altas frequências pode ser comprometida devido às ressonâncias, nestes casos particulares, técnicas específicas, como por exemplo as de blindagens devem ser utilizadas.

5.8 CONSIDERAÇÕES DO ATERRAMENTO

As condições de aterramento influenciam fortemente o comportamento dinâmico do sistema elétrico de uma unidade industrial. Os equipamentos eletrônicos sensíveis é mais um fator a ser levado em conta nos projetos de sistemas de aterramento, resultando mesmo em soluções diferenciadas quanto à filosofia de aterramento do sistema elétrico, para cada nível de tensão da planta industrial.

Dos riscos que afetam as instalações industriais dois se destacam, as descargas atmosféricas e os curtos-circuitos. Estes eventos geralmente causam a circulação de altas correntes no solo, desenvolvendo diferenças de potenciais perigosas tanto entre pontos no próprio solo quanto deste para as estruturas existentes.

Outras preocupações são os equipamentos eletrônicos sensíveis das instalações industriais, comerciais, e residenciais. Estes equipamentos exigem requisitos especiais de instalação, relacionados principalmente com a compatibilidade eletromagnética (CEM). Tendo em vista que as descargas atmosféricas, curto-circuito e chaveamentos desenvolvem-se também na região de alta frequência, nos sistemas de aterramento podem ser desenvolvidas diferenças de potencial cujas magnitudes dependem da geometria da malha de aterramento.

A filosofia empregada para dimensionamento do aterramento ainda hoje visa prioritariamente atender aos sistemas de força, controlando as tensões desenvolvidas pelas correntes de frequência industrial (50 Hz ou 60 Hz). Tais métodos mostram-se inadequados para altas frequências onde, ao invés dos fenômenos resistivos, são predominantes os fenômenos indutivos desenvolvidos ao longo do percurso da corrente.

Logo, impõe-se que seja adotada uma nova forma de planejamento para sistemas de aterramento, uma vez que devem atender simultaneamente aos requisitos de alta e baixa frequência. Atendendo como funções básicas os seguintes itens:

- a) conexão dos equipamentos elétricos ao sistema de aterramento deve permitir que caso ocorra uma falha na isolação a corrente passe através do condutor de aterramento ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente esteja tocando nos mesmos;
- b) permitir também que, na situação anterior, exista um percurso de retorno de baixa impedância para a corrente de falta à terra resultante e que, desta maneira, o sistema de proteção possa operar de forma rápida e segura;
- c) fornecer um controle das tensões desenvolvidas no solo (tensões de passo, toque e transferido) quando o curto for fase-terra (retorno para a fonte);

- d) idem item anterior, na ocorrência de uma descarga atmosférica no local;
- e) estabilizar a tensão durante transitórios no sistema elétrico (faltas para terra e chaveamentos) de tal forma que não apareçam sobretensões perigosas nestes períodos que provoquem a ruptura da isolação;
- f) escoar cargas estáticas acumuladas nas estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos;
- g) especificamente para os sistemas eletrônicos sensíveis, fornecer um plano de referência sem perturbações, de tal modo que eles possam operar indiferentemente após ocorrências em altas ou baixas frequências.

Como podemos perceber, os sistemas de aterramento devem atender a vários requisitos simultaneamente. Para os equipamentos elétricos ditos “não sensíveis” (equipamentos eletromecânicos e os que trabalham com tensões superiores a 24 Volts) são essenciais todos os itens acima, exceto o item "g".

Para os equipamentos eletrônicos sensíveis, dependendo das circunstâncias e metodologia de instalação, alguns destes itens deverão ser atendidos, sendo essenciais os de segurança pessoal e particularmente o item "g", sem o qual poderão comprometer o funcionamento ou mesmo serem danificados pela flutuação do potencial de terra.

Além disto, o aterramento dos equipamentos eletrônicos exige que o mesmo tenha bom desempenho em baixas e altas frequências, o que não é necessário para os equipamentos de potência. É interessante observar que os itens apresentados podem ser agrupados em quatro categorias:

- a) segurança pessoal;
- b) proteção contra surtos devidos às descargas atmosféricas;
- c) proteção aos equipamentos;
- d) critérios de C.E.M. (compatibilidade eletromagnética).

A compatibilidade eletromagnética, é uma expressão que se aplica aos equipamentos elétricos em geral e de uma forma especial aos equipamentos da tecnologia de informação.

Dizemos que um equipamento elétrico ou eletrônico atende aos critérios de CEM quando:

- a) Não causa interferências em outros equipamentos.
- b) Não é sensível às interferências causadas por outros equipamentos.
- c) Não causa interferências em si.

Para atingir os objetivos anteriormente enumerados, principalmente o de desviar dos equipamentos elétricos e eletrônicos os efeitos da corrente fase-terra do sistema de potência (correntes na frequência industrial), das correntes de alta frequência, bem como baixar a níveis satisfatórios as diferenças de potencial entre dois pontos do sistema de aterramento, o projeto deverá ser conduzido entendendo-se que: (ABB Review - Earthing and bonding in large installations - maio 1994).

- a) Segurança pessoal e descargas atmosféricas ditam o projeto (filosofia) do sistema de aterramento.
- b) Considerações sobre segurança dos equipamentos e da instalação (incêndios) ditam a bitola (seção) dos condutores do sistema de aterramento.
- c) Requisitos de CEM determinam o “lay-out” (geometria) da rede formada pelos condutores de aterramento.

As observações anteriores nos levam a efetuar uma divisão natural do sistema de aterramento geral de uma indústria em subsistemas, cada um requerendo considerações específicas.

Os subsistemas aplicados nas Áreas Classificadas são os seguintes:

- a) Subsistema de aterramento de potência;
- b) Subsistema de aterramento para descargas atmosféricas;
- c) Subsistema de aterramento de equipamentos eletrônicos;
- d) Subsistema de aterramento para cargas elétricas estáticas.

Da apresentação efetuada anteriormente para os subsistemas de aterramento, fica subtendido que cada um deles deve atender a requisitos próprios do projeto. Podemos apontar condições aplicáveis a todos os subsistemas, dentre as quais destaca-se que nenhum subsistema deve ser inseguro para pessoas ou equipamentos.

Em uma planta industrial estes subsistemas estão fisicamente próximos (ou mesmo superpostos) e inter-relacionados do ponto de vista elétrico (o No-Break recebe alimentação de força e alimenta os equipamentos sensíveis). Portanto podemos inferir que filosoficamente é muito improvável atender a critérios de segurança projetando os subsistemas de aterramento "isolados" uns dos outros.

Embora a construção de um subsistema de aterramento "isolado" possa ser tentador (principalmente para equipamentos eletrônicos sensíveis) e até possa circunstancialmente melhorar o desempenho dos equipamentos para os quais foi construído, ele viola o grande princípio de segurança pessoal, que precisa ser o norteador de todo projeto de sistemas de aterramento.

A razão da dificuldade de construção de sistemas "isolados" seguros é que sempre haverá algum tipo de acoplamento, capacitivo (através das capacitâncias parasitas, necessariamente existentes entre sistemas isolados); indutivo (acoplamento eletromagnético, via indutâncias mútuas) ou resistivo (via solo comum aos subsistemas de aterramento).

Poderá inclusive, ocorrer não intencionalmente modificações executadas em ampliações e revisões da instalação. Os acoplamentos entre subsistemas isolados ocorrem principalmente para altas frequências, que são as mais prejudiciais para equipamentos sensíveis. Toda esta análise nos mostra que a melhor forma de compatibilizar os subsistemas de aterramento é interligá-los intencionalmente, através de caminhos e locais conhecidos e com possibilidades de inspeção dos pontos de interligação.

Existe uma consciência clara de que, sem dúvida, a equalização de potencial constitui a medida mais efetiva para reduzir os riscos de choques elétricos, de incêndios, de explosões, e de queima de componentes eletrônicos. No entanto, a interligação deve ser realizada sempre de forma consistente.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir que:

1) Em se tratando de áreas classificadas não se pode afirmar qual o melhor método a ser adotado para a função aterramento. Cada caso, apresenta suas peculiaridades e deve ser avaliado, sempre que possível, em sub-sistemas isolados, que acabará em compor o aterramento principal (fundamental).

2) As técnicas de Equalização dos Potenciais e das Blindagens prometem uma eficiência operacional e de segurança ampla para os equipamentos elétricos e eletrônicos.

3) Ambas as técnicas estão centradas na segurança e na proteção dos equipamentos elétricos/eletrônicos.

4) Na visão do autor, não importa o critério a ser adotado com relação ao melhor esquema a ser empregado, no caso o TN-S ou IT (os praticados em áreas classificadas), o importante é possuir consciência técnica dos riscos introduzidos na planta de processo para cada modificação efetuada uma vez que se opta por um deles.

5) A pilha galvânica na condição do aterramento dos equipamentos está presente, acelerando o processo corrosivo criando situações de riscos pessoal e ao meio ambiente. O autor desta dissertação vê como objeto de estudo a ser pesquisado a análise do comportamento do complexo formado pela Proteção Catódica (corrosão externa por corrente impressa), as Interferências causadas pelas Correntes AC e DC no Sistema de Aterramento Industrial nos locais de armazenamento e transporte de produtos inflamáveis.

ANEXO

PARTICULARIDADES SOBRE A DESCARGA ATMOSFÉRICA^[39]

Quando cai um raio sobre uma estrutura as correntes que vão passar pelo primeiro condutor atingido - Captor ou descida (no caso de descarga lateral em prédios altos) - serão da ordem de dezenas ou centenas de kA com duração total da ordem de milisegundos (ms) e com frequências elevadas com componentes de dezenas de kHz até alguns MHz podendo-se pensar nos seguintes efeitos:

- a) aquecimento das barras
- b) arcos elétricos nas junções das barras
- c) efeito pelicular

“Esses efeitos preocupam os engenheiros pois qualquer um deles mesmo ocorrendo individualmente poderia prejudicar a resistência do conjunto concreto-aço que depende da aderência de um elemento ao outro”.

GENERALIDADES

Depois da descarga atmosférica ter sido recebida pelo sistema de Captadores, as correntes correspondentes deverão ser conduzidas ao sistema de Aterramento por um conjunto de condutores denominados condutores de descida.

O número de condutores utilizados, o distanciamento entre eles e a respectiva secção transversal deverão ser escolhidos de maneira que:

- a) Os condutores suportem térmica e mecanicamente as correntes e os respectivos esforços;
- b) Não haja descargas laterais;
- c) Os campos eletromagnéticos internos sejam mínimos;

- d) Não haja riscos para as pessoas próximas;
- e) Suportem o impacto direto dos raios (nas estruturas altas);
- f) Não haja danos às paredes (se elas forem inflamáveis);
- g) Os materiais usados resistam às intempéries e à corrosão

Para que todas essas condições sejam satisfeitas é imprescindível que haja um planejamento antes do prédio ser construído. É freqüente as situações como: “onde colocar as descidas se o prédio está construído sem recuo e ocupa toda a área do terreno?” ou “o único local disponível é o poço de ventilação” ou ainda “o arquiteto não quer que as descidas estejam nas fachadas frontais e laterais”. Devemos considerar que as correntes do raio procurarão naturalmente caminhos externos à estrutura, e seguirão os percursos mais curtos e retilíneos. Se não oferecermos este caminho, elas o procurarão por si mesmas, com riscos de danos para estruturas, às pessoas e aos equipamentos internos.

O uso de componentes naturais como descida previsto já no planejamento do prédio irá facilitar sobremaneira o projeto, a instalação e a eficiência do sistema de descida. Assim é importante ao técnico ou engenheiro ter a noção da ordem de grandeza que se está lidando, o nível de tensão com relação a descarga atmosférica.

É o que será visto a seguir.

IMPEDÂNCIA DOS CONDUTORES DE DESCIDA

Normalmente a maior atenção é voltada para a diminuição da resistência de aterramento, sem que seja dada a devida atenção para a impedância não só do aterramento como dos condutores de descidas, fatores estes de grande importância devido às elevadas taxas de variação de corrente como o tempo (di/dt) e conseqüentemente as altas freqüências envolvidas na condução e dissipação através dos mesmos.

Devemos portanto utilizar todos os meios para diminuir ao máximo o valor da impedância não só dos condutores de descida como dos aterramentos. Tensões elevadas poderão surgir em um determinado ponto ou circuito, quando circular a corrente associada a uma descarga atmosférica (altas frequências), mesmo em circuitos que possuam baixo valor de resistência, se a indutância do mesmo for de valor alto.

A indutância é a propriedade que tem um condutor de armazenar uma quantidade de energia no campo magnético; a quantidade de energia armazenada depende da corrente que passa pelo condutor. Se tivermos um condutor singelo de raio muito pequeno, conduzindo um corrente i , como mostra a figura 50 (supondo o retorno a uma distância muito grande), o campo magnético a uma distância r do condutor será diretamente proporcional à corrente i e inversamente proporcional à distância r .

Ao redor de uma corrente elétrica temos sempre um campo magnético

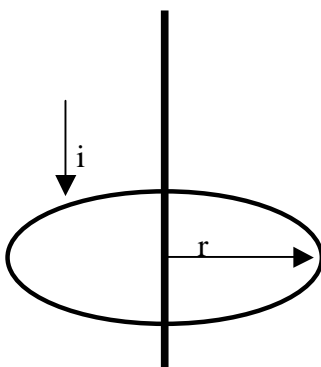


Figura 51 – Representação de Campo Magnético ao Redor de um Condutor^[19]

A intensidade de campo magnético (B) em qualquer ponto (a) a uma distancia (r) longe do condutor é proporcional a amplitude da corrente e diminui inversamente com a distância da superfície externa do condutor e pode ser calculada por:

$$B = \mu \cdot i / 2 \cdot \pi \cdot r \quad \text{Weber/m}^2$$

B = densidade de fluxo magnético em Weber/m²

i = corrente no condutor em Ampéres

r = distância radial em metros

μ = permeabilidade do meio em Henry/metro (para o ar vale 1,0)

$$\phi = \int_{r_1}^R \frac{\mu \cdot i \cdot dr}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi} \int_{r_1}^R \frac{dr}{r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi} \ln \frac{R}{r_1} \quad (\text{Wb/m})$$

Sendo:

ϕ = fluxo magnético concatenado em Webers

r1 = raio do condutor em metros

R = raio aproximado de uma tempestade típica considerada como sendo igual a 1000 metros.

Logo a fórmula para cálculo das indutâncias de condutores de seção circular (cabos, fios) fica:

$$L = 0,2 [2,303 \log (4000/d) - 0,75]$$

e, para seção retangular (barra chata, fitas)

$$L = 0,2 [2,303 \log (2000/W+t) - 0,5 + 0,2235 (W+t/1000)]$$

Onde:

L = indutância em $\mu\text{H/m}$

d = diâmetro em mm

W = largura em mm

t = espessura em mm

Para os condutores de seção circular mais usados nas instalações de proteção (como captosres, descidas ou aterramento), as indutâncias são aquelas dadas na tabela 10.

Tabela 10 - Condutor x Indutância^[39]

Condutor (mm ²)	Indutância (μ H/m)
16.00	1,21
35	1,13
50	1,09
70	1,06
95	1,02

Vemos que, aumentando a seção do condutor, sua indutância diminui um pouco, mas ficará sempre em torno de 1,1 μ H/m, independentemente do material que for utilizado, para os condutores com as seções normalmente utilizadas.

Para reduzir as indutâncias das descidas, pode-se utilizar barras chatas ou fita ao invés de condutores circulares. Para elas, a indutância será tão menor quanto maior for a relação entre a largura à espessura; para a mesma quantidade de material (e custo!), a indutância de uma barra chata é bem menor que a de um cabo.

O mesmo se pode dizer das cantoneiras e outros perfis estruturais como vigas e colunas laminadas ou soldadas. A Impedância dos condutores de descida podem ser diminuídas adotando-se uma das seguintes medidas:

- a) Aumentando-se o número de descidas;
- b) Fazendo-se que os mesmos tenham um comprimento o mais curto possível, e um trajeto o mais retilíneo possível;

A importância da condutância pode ser verificada através dos seguintes cálculos:

Exemplo: O cálculo aproximado do fluxo magnético concatenado a um condutor de descida, de cobre com uma seção de 16 milímetros quadrados

$$D = 4,51 \text{ mm} / r1 = 2,25 \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi} \text{Ln} \frac{R}{r1} = 2 \cdot 10^{-7} \text{Ln} \left[\frac{1000}{2,25} \right] \cdot i = 2 \cdot 10^{-7} \cdot (6,096) = \mathbf{1,21 \cdot 10^{-6} \cdot i}$$

Weber por Ampère por metro de comprimento do condutor

CÁLCULO DA INDUTÂNCIA DE UM CONDUTOR

A indutância de um condutor é definida como sendo a relação entre o fluxo magnético concatenado ao condutor (ϕ) e a corrente que o produz (i), em Henry

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{wb/m}{A} = \text{Henry/m}$$

A indutância do condutor de 16 mm² do exemplo será portanto igual a :

$$\phi = 1,21 \cdot 10^{-6} \cdot i \text{ Wb/mA}$$

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{1,21 \cdot \mu \cdot i}{i} = 1,21 \mu \text{ Henry/metro}$$

$$\phi = 1,21 \cdot 10^{-6} = L = 1,21 \mu \text{ Henry/m}$$

Os condutores de descida possuem portanto uma resistência (**R**) e uma indutância (**L**), sendo extremamente importante diminuir ao máximo o valor da sua impedância.

CÁLCULO DA TENSÃO ATRAVÉS DE UMA INDUTÂNCIA

Quando uma corrente circula através de um indutor (L), a tensão que surge através do mesmo, é igual à :

$$v = L \frac{di}{dt}$$

v = tensão no indutor

di/dt = relação de crescimento da corrente com relação ao tempo A/s

A equação (v) é importante pois nos indica que para correntes que possuam determinados (di/dt), correntes do tipo impulsiva por exemplo (como no caso das descargas atmosféricas), mesmo que a resistência do condutor seja igual a zero, aparecerá uma tensão (v) no mesmo.

Exemplo: Calcular a elevação do potencial no ponto e1 (diagrama equivalente), no caso de uma descarga atmosférica atingir o captor da edificação na qual fora instalado uma única descida com cabo de cobre de 16 mm² de seção (cálculo aproximado).

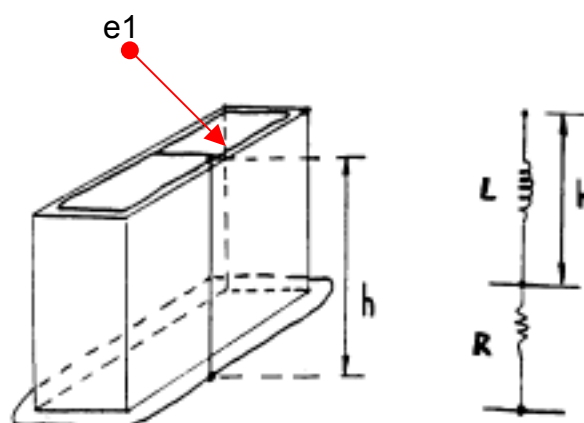


Figura 52- Resistência do Cabo^[12]
diagrama equivalente

Dados:

Impedância de aterramento $Z_t = 2$ ohms

$di/dt = 100$ kA/ μ segundos

Indutância do cabo, calculada no exemplo 1 = $2,54 \mu$ Henry/m

Tensão por metro do cabo de 16 mm^2

$$v = L di/dt = 2,54 \mu \text{ h/m} \cdot 100.000 \text{ A}/\mu \text{ segundos} = 254.000 \text{ v/m} = 254 \text{ kV/m}$$

Assim o potencial no ponto e1 da estrutura será:

(Considerando Amplitude da corrente 100 kA)

$$\begin{aligned} e_1 &= Z \cdot i(t) + [L \cdot di(t)/dt] \cdot h \\ &= 2 \cdot 100.000 + (254.000) \cdot (8) \\ &= 2.232 \text{ kV} \end{aligned}$$

Através do cálculo apresentado (aproximado), observamos que a tensão no momento da queda de uma descarga atmosférica é preocupante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 60079.10 (IEC 60079-10 2002-06-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres Part - 10: Classification of Hazardous Areas Fourth Edition).
- [2] BULGARELLI , Roberval . Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas . RPBC/EN - 1ª Edição, 1998.
- [3]MIRANDA , Dácio Jordão . Manual de Instalações Elétricas em Industrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo . Qualitymark Editora, 2ª Edição, 1998.
- [4] IEC 60079 .14 (IEC 60079-14 2002-10-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 14: Electrical Installations in Hazardous Areas (Other Than Mines) Third Edition)
- [5] IEC 60079.1 (IEC 60079-1 2001-02-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 1: Flameproof Enclosures "D" Fourth Edition; Corrigendum 1:June 2001)
- [6] NBR 5363 – Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas – Invólucros à prova de explosão – Tipo de Proteção “d” - Especificação

[7] IEC 60079.2 (IEC 60079-2 2001-02-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 2: Pressurized Enclosures "P" Fourth Edition)

[8] NBR 5420 - Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas – Invólucros com Pressurização ou Diluição Contínua – Tipo de Proteção “p” – Especificação

[9] IEC 60079.6 (IEC 60079-6 1995-00-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 6: Oil-Immersion "o" Second Edition)

[10] NBR 8601- Equipamentos Elétricos Imersos em Óleo para Atmosferas Explosivas - Especificação

[11] IEC 60079.5 (IEC 60079-5 1997-04-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres - Part 5: Powder Filling "Q" Second Edition)

[12] IEC 60079.18 (IEC 60079-18 1992-00-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres Part 18: Encapsulation "m" First Edition)

[13] IEC 60079.7 (IEC 60079-7 2001-11-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres Part 7: Increased Safety "E" Third Edition)

[14] NBR 9883 - Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas – de Segurança Aumentada – Tipo de Proteção “e” - Especificação

[15] IEC 60079.11(IEC 60079-11 1999-02-00 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres Part 11: Intrinsic Safety "i" Fourth Edition)

[16] NBR 8447 - Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas de Segurança Intrínseca – Tipo de Proteção “i” – Especificação

- [17] MOREIRA , Duílio Leite . Proteção Contra Descargas Atmosféricas – 1ª Edição, 1997.
- [18] MIRANDA , Reis . Instalações Elétricas Industriais . Cromoset Gráfica e Editora Ltda, 1ª Edição, 1994.
- [19] KINDERMANN , Geraldo ; CAMPAGNOLO , Jorge Mario . Aterramento Elétrico . Sagra Luzzatto, 4ª Edição, 1998.
- [20] SUZUKI , Hélio Kanji . Instruções Gerais para Instalações em Atmosferas Explosivas . Petrobras, 1ª Edição, 1999.
- [21] NBR5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Procedimento - ABNT/1997
- [22] COTRIM , Ademaro A.M.B . Instalações Elétricas . MC Graw Hill – 3ª Edição, 1992
- [23] FILHO , João Mamede . Instalações Elétricas Industriais . LTC – 4ª Edição, 1992
- [24] API RP 14F – Design and Installation of Electrical Systems for Offshore Production Platforms
- [25] N-2222– Projeto de Aterramento em Plataformas Marítimas – NORTEC/Norma Técnica Petrobras, Rev.A 2002
- [26] Rules for Building and Classing – STEEL VESSELS/97 (Part 4 – Machinery, Equipment and Systems). Livros de Regras do ABS – AMERICAN BUREAU OF SHIPPING.

- [27] NEPOMUCENO , Gilberto . III EPIAEx Encontro Petrobras sobre Instalações Elétricas em Atmosfers Explosivas – Carregamento de Caminhões-Tanque e Eletricidade estática – Fortaleza CE/03.2002
- [28] NFPA & National Fire Protection Association / NFPA-77 - Recommended Practice on Static Electricity – Rev.: 2000-08-18
- [29] NFPA 780 2000-00-00 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems Approved Oct. 4, 2001
- [30] IEEE 142 1991-00-00 Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems IEEE Green Book; Correction Sheet - May 1993(ANSI/IEEE)
- [31] NFPA 70B 2002-07-19 Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance(National Fire Codes, Vol. 9)
- [32] IEC 60684-3-420 TO 422 2002-05-00 Flexible Insulating Sleeving - Part 3: Specification for Individual Types of Sleeving - Sheets 420 to 422: Polyethylene Terephthalate Textile Sleeving with Acrylic Based Coating Second Edition.
- [33] IEEE 80 2000-01-30 Guide for Safety in AC Substation Grounding - 2000-01-30
- [34] N-2437 Norma Técnica Petrobras - Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis- Rev.A/ NORTEC/2002.
- [35] BORGES , Giovanni Humel . Manual de Segurança Intrínseca. . Editoração Eletrônica Fátima Agra, 1997.

- [36] NBR 5418 - Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas - ABNT/1995.
- [37] COSTA , Paulo Fernandes . Aterramento de Neutro com Resistor de alto Valor - Revista Eletricidade Moderna, páginas 16 e 18, JUL/1989/Code, 1996
- [38] JUNIOR , Estellito Rangel ; COSTA , Paulo Fernandes ; BOREL , José E.Venuto . Aterramento do Neutro em Áreas Classificadas: A Tecnologia do Resistor de Alto Valor
– III EPIAEx Encontro Petrobras sobre Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas – 20 a 22 de março de 2002 – Fortaleza CE
- [39] LEMOS , Galeno Gomes . Curso de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – apostila IEEE USP, maio de 1996
- [40] ABREU , Alex F. Gauthier ; BRITTO , Paulo César Araújo; SANTOS, Celso Mario Ferreira . III EPIAEx - Encontro Petrobras Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas : Avaliação das Condições de Riscos de origem Elétrica em Tanques Armazenando Substâncias Inflamáveis – 20 a 22 de março de 2002 – Fortaleza CE
- [41] NBR-5419 Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – fev/2001
- [42] FINK , D. J. & Carrol, J. M. - *Standard Handbook for Electrical Engineers* . Mc Graw Hill, New York, 1968 e Stabile, Miguel - *Custos na Construção Civil - 3ª edição*, Editora Boletim de Custos LTDA. Rio de Janeiro, 1989
- [43] IEEE 242 2001-06-14 Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial