

TESE
848

E.F.EI.

ANÁLISE DAS INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS
EM SISTEMAS DE MEDIÇÃO E CONTROLE

Autor: CARLOS ALBERTO REIS DE FREITAS

Orientador: PROF. JOÃO ROBERTO COGO

ITAJUBÁ - MG

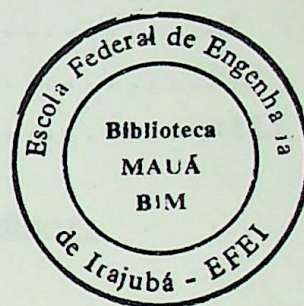
Escola Federal de Engenharia de Itajubá- EFEI

Tese apresentada em sua versão final para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica, na Area de Automação e Controle Industrial.

Análise das Interferências Eletromagnéticas em Sistemas de Medição e Controle

Autor :Carlos Alberto Reis de Freitas

Orientador: Prof. João Roberto Cogo



Banca examinadora:

Prof. Aroldo Borges Diniz - ITA

Prof. Manuel Luiz Barreira Martinez - EFEI

Prof. João Roberto Cogo - EFEI

Itajubá - MG - Agosto, 1996

CLASS. 537.8(043.2)

CUT. n. F 862a

TOMBO. 848



SUMÁRIO

	pag
LISTAS DE FIGURAS.....	i
LISTAS DE TABELAS.....	v
NOMENCLATURA E SÍMBOLOS UTILIZADOS.....	vi
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
AGRADECIMENTOS.....	xii
DEDICATÓRIA.....	xiii

CAP I - INTRODUÇÃO AO CONTROLE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

- 1.1 - Objetivo.....1
 - 1.2 - Definições básicas.....1.
 - 1.2.1 - Ruído elétrico.....2
 - 1.2.1.1 - Cortes de tensão.....2
 - 1.2.1.2 - Variações da tensão.....3
 - 1.2.1.2.1 - Quedas de tensão.....3
 - 1.2.1.2.2 - Elevações da tensão.....3
 - 1.2.1.3 - Variações da frequência.....3
 - 1.2.1.4 - Picos de tensão ("spikes").....3
 - 1.2.2 - Formas de propagação.....4
 - 1.2.2.1 - Propagação por condução.....4
 - 1.2.2.2 - Propagação por radiação.....5
 - 1.2.2.3 - Propagação por indução.....6
 - 1.3 - Aterramento.....6
 - 1.3.1 - Descrição geral.....6
 - 1.3.2 - Necessidades que levam ao aterramento.....7
 - 1.3.2.1 - Segurança.....7
 - 1.3.2.2 - Controle de interferência.....7
 - 1.3.2.3 - Controle de acoplamento indesejável.....11
 - 1.3.2.3.1. - Controle de impedância de plano de terra.....11

1.4	- Malhas de terra.....	13
1.4.1	- Aterramento de ponto simples.....	14
1.4.2	- Aterramento multi-ponto-Rejeição de modo comum..	14
1.4.3	- Translação de frequência.....	15
1.4.4	- Isolação óptica.....	15
1.4.5	- Aterramento através de um isolador de frequências.....	16
1.5	- Configuração rede de terra.....	17
1.5.1	- Terra flutuante.....	17
1.5.2	- Terra de ponto simples.....	18
1.5.3	- Aterramento multiponto.....	20
1.5.4	- Aplicações.....	21
1.6	- Aterramento para proteção de falhas.....	22
1.6.1	- Projeto para proteção de falhas	22
1.7	- Normalização e legislação brasileira sobre compatibilidade eletromagnética.....	28
1.7.1	- Terminologia.....	28
1.7.1.1	- Compatibilidade eletromagnética.....	28
1.7.1.2	- Interferência eletromagnética.....	28
1.7.1.3	- Perturbação eletromagnética.....	28
1.7.1.4	- Imunidade eletromagnética.....	28
1.7.1.5	- Interferência de radiofrequência.....	29
1.7.2	- Normalização brasileira.....	29
1.7.3	- Legislação.....	30
1.8	- Efeitos biológicos devido a efeito de ondas e radio frequência.....	31
1.8.1	- Interação.....	33
1.8.2	- Efeitos biológicos.....	33

CAP II - INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

2.1	- Introdução.....	36
2.2	- Definições básicas.....	36
2.2.1	- Campo elétrico.....	36
2.2.2	- Campo magnético.....	37
2.2.3	- Energia armazenada em campos elétricos e magnéticos.....	38
2.2.4	- Potencial elétrico entre dois pontos(DDP).....	39

2.2.5 - Vetor de Poyting.....	39
2.3 - Planos de terra.....	41
2.4 - Uso de planos de terra.....	41
2.5 - Medidas de interferência.....	42
2.6 - Métodos de controle e prevenção de EMI.....	43
2.6.1 - Características de aterramento.....	43
2.6.1.1 - Tipos de aterramento em instalação elétrica.....	43
2.6.1.2 - Eletrodo de aterramento.....	44
2.6.1.3 - Resistência de aterramento.....	44
2.6.1.4 - Componentes de aterramento de proteção.....	45
2.6.1.5 - Esquemas de aterramento.....	47
2.6.2 - Blindagens.....	50
2.6.2.1 - Conceito de blindagem.....	50
2.6.2.2 - Blindagem eletrostática.....	50
2.6.2.3 - Blindagem eletromagnética.....	50
2.6.3 - Filtragem.....	51
2.6.3.1 - Filtros passivos.....	51
2.6.3.2 - Localização do filtro de alimentação.....	53
2.6.3.3 - Modos de interferência	54
2.6.3.4 - Modo diferencial de filtragem.....	54
2.6.3.5 - Corrente de terra de equipamentos para altas frequências.....	55
2.6.3.6 - Controle de emissão condutivas para frequências de potência.....	56
2.6.4 - Instalação elétrica.....	57
2.6.5 - Escolha adequada de componentes.....	57
2.6.6 - Disposição adequada de componentes.....	58

CAP III - ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS SENSÍVEIS

3.1 - Introdução.....	59
3.2 - Perturbações nas cargas elétricas.....	59
3.3 - Qualidade de energia elétrica.....	59
3.3.1 - Origem de distúrbios.....	60
3.3.2 - Proteção contra distúrbios.....	61
3.3.3 - Proteção fontes impulsos e ruídos.....	62

3.4 - Sistemas de segurança.....	63
3.5 - Sistemas de informação.....	64
3.6 - Interação entre a rede de suprimento de energia e carga.....	65
3.6.1 - Característica dos transitórios da rede de suprimento de energia.....	65
3.6.2 - Interação para regulador de tensão.....	65
3.7 - Mecanismos de acoplamento.....	66
3.7.1 - Acoplamento de espaço livre.....	66
3.7.2 - Interação entre cabos subterrâneos.....	66
3.7.3 - Impactos de potência.....	67
3.8 - Sistemas de aterramento.....	67
3.8.1 - Subsistema com eletrodo de terra.....	68
3.8.2 - Aterramento para subsistema de proteção ou falta.....	68
3.8.3 - Subsistema de referência do sinal.....	69
3.8.4 - Plano equipotencial.....	70
3.8.5 - Subsistema de proteção contra descargas elétricas.....	71
3.9 - Instrumentação.....	72
3.9.1 - Ligações e aterramento de instrumento de medida.....	72
3.9.2 - Casos práticos de aterramento e alimentação de EES.....	72
3.10 - Dispositivos de melhoria de alimentação.....	73
3.10.1 - Transformador de isolação.....	74
3.10.2 - Filtro de ruído.....	75
3.10.3 - Filtro de harmônicos.....	75
3.10.4 - Regulador de tensão.....	75
3.10.5 - Condicionador de linha.....	76
3.10.6 - Motor-gerador.....	77
3.11 - Recomendações de projeto e práticas de instalação.....	78
3.11.1 - Descrição.....	78
3.11.1.1 - Segurança.....	78
3.11.1.2 - Desempenho.....	78

3.11.1.3 - Sistema trifásico comparado com sistemas monofásicos.....	79
3.11.1.4 - Seleção dos sistemas de alimentação.....	79
3.11.1.5 - Aterramento em salas de computadores.....	79
3.11.1.6 - Circuitos dedicados.....	80
3.12 - Objetivos e tipos de aterramentos para EES.....	81
3.12.1 - Aterramento em estrutura de aço.....	82
3.12.2 - Sistemas de aterramento em anel.....	82
3.12.3 - Aterramento de sistemas e serviços AC.....	83
3.12.4 - Aterramento de fontes AC.....	84
3.12.5 - Método de aterramento isolado.....	85
3.12.5.1 - Ligações (IG).....	85
3.12.5.2 - Inconveniências do Método do sistema isolado (IG).....	86
3.12.6 - Aterramento de ponto único.....	88
3.12.6.1 - Inconveniências do Método do sistema de ponto único.....	90
3.12.7 - Malha de referência de terra (MTR) em alta frequência (HF).....	90
3.12.7.1 - Sumário de recomendações práticas para malha de terra de referência e suas instalações.....	93
3.12.7.2 - Ligações de tiras do equipamento para MTR.....	94
3.12.7.3 - Exemplo de um sistema de aterramento de EES usando MTR.....	95

CAP IV - COMUNICAÇÃO DE DADOS

4.1 - Introdução.....	96
4.2 - Histórico da comunicação de dados	96
4.3 - Conceitos de informação e capacidade de canal.....	98
4.4 - Capacidade de um canal de comunicação.....	98
4.5 - Distorção.....	99
4.6 - Polarização da distorção.....	100
4.7 - Redução dos efeitos de distorção	101
4.8 - Transmissão via telefone.....	102
4.9 - Carregamento de linha de transmissão.....	102

4.10 - Terminais de comunicação de dados.....	103
4.11 - Comunicação de computador para computador.....	104
4.12 - Tipos de dispositivos - Padrões para comunicação de dados.....	105
4.13 - Conexão a rede de telecomunicações.....	106
4.14 - Níveis de sinal.....	107
4.15 - Interface de comunicação - Interface serial.....	108
4.16 - Redes de computadores.....	108
4.17 - Protocolos para comunicação de dados.....	108
4.18 - Camadas ("layers").....	109
4.19 - Interconexão de redes.....	111
4.19.1 - Repetidores ("repeaters").....	113
4.19.2 - Pontes ("bridges").....	113
4.19.3 - Roteadores ("routers").....	113
4.19.4 - Comportas ("gateways").....	114
4.20 - Proteção de transientes e impulsos em sistemas de telecomunicações.....	114
4.21 - Análise de aterramento e de EMI em redes de computadores.....	116
4.21.1 - Nível físico.....	116
4.21.2 - Suportes de transmissão.....	118
4.21.2.1 - Par metálico trançado.....	118
4.21.2.2 - Cabo coaxial.....	120
4.21.2.3 - Fibras óticas.....	122
4.21.3 - Aterramento de redes.....	124

CAP V - CONCLUSÃO E PROPOSTAS FUTURAS.....	125
--	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
---------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	132
-------------------	-----

APENDICE 1 - SISTEMAS DE ATERRAMENTO.....	140
---	-----

Listas de Figuras

pag

CAP I

1.1 - Ilustração de interferência em um sistema.....	4
1.2 - Apresentação das múltiplas funções de um aterramento.....	8
1.3 - Aterramento para faltas	9
1.4 - Segurança de sistemas aterrados	10
1.5 - Aterramento para descargas elétricas.....	10
1.6 - Aterramento em estruturas metálicas.....	12
1.7 - Ligação estrutural.....	12
1.8 - Barramento de terra	13
1.9 - Uso de receptor diferencial para rejeição de modo comum	14
1.10 - Operação com transformadores balanceados e desbalanceados.....	15
1.11 - O uso de isolação óptica para combater o ruído de modo comum.....	16
1.12 - Aterramento capacitivo	16
1.13 - Aterramento indutivo.....	17
1.14 - Terra do sinal flutuante.....	18
1.15 - Terra do ponto simples.....	18
1.16 - Sistema de barramento de ponto simples usando ligações separadas.....	19
1.17 - Aterramento de ponto simples usando um sistema de barramento comum.....	20
1.18 - Esquema para minimizar correntes.....	20
1.19 - Aterramento com múltiplos pontos.....	21
1.20 - Sistemas bifásicos - conexões de sistema de terra de potência.....	23
1.21 - Sistemas trifásicos - conexões de sistema de terra de potência.....	24
1.22 - Minimização do ruído de terra.....	26

1.22.a - Circuitos derivados separados.....	25
1.22.b - Circuitos derivados comuns.....	26
1.23 - Fase-neutro invertidos - Circuitos comuns ou derivados separados.....	26
1.24 - Neutro-terra trocados - Circuito derivado comum.....	27
1.25 - Neutro-terra trocados - Circuito derivado separado.....	27

CAP II

2.1 - Campo elétrico devido a uma carga pontual.....	37
2.2 - Campo magnético.....	38
2.3 - Vetor de Poyting.....	40
2.4 - Cabo "sniffer".....	42
2.5 - Variação das tensões geradas pela passagem de corrente em um eletrodo de terra.....	45
2.6 - Ligação eqüipotencial principal.....	45
2.7 - Componentes de um sistema de aterramento.....	47
2.8 - Esquema TT.....	48
2.9 - Esquema TN.....	49
2.10 - Esquema IT.....	50
2.11 - Circuito equivalente de uma linha de transmissão.....	52
2.12 - Filtro passivo para minimizar interferências.....	53
2.13 - Tipo de filtro através da linha.....	53
2.14 - Uso do TVSS em uma ligação de EES.....	54
2.15 - Riscos de choque causados por filtros de linha.....	55
2.16 - Método da fonte de alimentação de um campo de energia para uma fonte chaveada.....	56
2.17 - Um filtro para uso com cargas retificadoras controladas.....	57

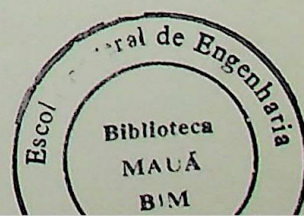
CAP III

3.1 - Exemplos de fonte de interferência..... (fontes de distúrbios)	60
---	----

3.2 - Magnitude da tensão em relação a duração.....	62
do distúrbio	
3.3 - Aterramento em equipamentos de baixa frequência.....	65
3.4 - Eletrodos de terra.....	68
3.5 - Aterramento para falta e subsistema de	
proteção pessoal.....	69
3.6 - Subsistema de aterramento de referência do sinal....	70
3.7 - Transformador de isolação e de blindagem.....	74
3.8 - Filtro de ruído.....	75
3.9 - Filtros harmônicos.....	75
3.10 - Tipo de regulador de tensão.....	76
3.11 - Exemplo de condicionador de linha.....	77
3.12 - Motor gerador.....	77
3.13 - Recomendação para separação da distribuição	
da alimentação do EES da distribuição do	
equipamento de suporte.....	80
3.14 - Um aterramento em anel usado em um sistema	
de piso falso na sala de computador.....	83
3.15 - Transformador de isolação para EES.....	85
3.16 - Condutor de aterramento isolado ligado	
através de um painel de distribuição.....	86
3.17 - Acoplamento capacitivo e resistivo entre os	
sistemas de alimentação e EES na utilização	
do método IG.....	87
3.18 - Exemplo de malha com geometria inadequada no	
sistema de aterramento IG.....	88
3.19 - Sistema de aterramento de ponto único para	
EES.....	88
3.20 - Estrutura da MTR.....	92
3.21 - Instalação da MTR.....	93
3.22 - Exemplo de um sistema de aterramento de EES usando o	
sistema MTR.....	95

CAP IV

4.1 - Circuito equivalente do sistema de comunicação	
DC.....	99



4.2 - Efeito de "umbral" sobre o sinal recebido.....	100
4.3 - Efeitos de carregamento em cabo AC.....	103
4.4 - Elementos básicos de comunicação.....	107
4.5 - Camadas do modelo OSI e ISO.....	109
4.6 - Interconexão de redes.....	112
4.7 - Instalação recomendada para proteção do sinal.....	114
4.8 - Diferença de potencial originado pelos diversos transientes de energia através dos condutores de aterramento do sistema.....	115
4.9 - Proteção contra a diferença de tensão.....	116
4.10 - Exemplos de conexões físicas.....	117
4.11 - Interface elétrica balanceada EIA RS 422 e CCITT V.11 ou X.27.....	119
4.12 - Exemplo de utilização de cabo coaxial em redes de EES.....	121
4.13 - Fibra Óptica.....	123
4.14 - Sistemas de transmissão ponto a ponto por fibras ópticas.....	123
4.15 - Ligações e aterramento de redes de EES.....	124

APENDICE 1

1 - Aterramento da geração e da subestação elevadora.....	142
2 - Exemplo de uma torre de transmissão de energia.....	143
3 - Exemplo de distribuição de energia.....	145
4 - Exemplo de distribuição de energia caixa tipo 1.....	146
5 - Sistema de terra entre consumidor e poste de distribuição.....	148
6 - Padrão de entrada do tipo M.....	149
7 - Exemplo de terra de consumidor.....	150
8 - Terra do consumidor.....	151
9 - Terra do consumidor.....	152

Listas de Tabelas

pag

4.1 - Bitola e diâmetro metálicos.....	119
--	-----

ANB	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	- American National Standards Institute
B	- Fluxo de Campo Magnético
C	- Capacitor
CENPA	- Computer Business Equipment Manufacturers Association
CCITT	- International Telegraph and Telephone Consultative Committee
CENIA	- Central Elétrica Minas Gerais
(db)	- Decibelo
CEBRI	- Comitê Brasileiro de Eletricidade
CESP	- Companhia Energética de São Paulo
CONMETRO	- Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CLP	- Controladores Lógicos Programáveis
CISPR	- Comité International Special des Perturbations Radioélectriques
CRT	- Cathode-Ray Tube
D	- Diodo
(dbm)	- Decibelo-milivolt
DC	- Corrente Contínua ("Direct Current")
E	- Campo Elétrico
Es	- Energia Armazenada em Campo Elétrico
Em	- Energia Armazenada em Campo Magnético
ETB	- Equipamento de Terminação de Barramentos de Dados
ES	- Edoes
ESB	- Equipamentos Eletrônicos Sensíveis
ELIXORABLE	- Eletricidade de São Paulo S/A

Nomenclaturas e Símbolos Utilizados

ABNT	- Associação Brasileira de Normas técnicas
AC	- Corrente Alternada ("Alternating Current")
[A/m]	- Ampéres/metro
ANSI	- American National Standards Institute
B	- Fluxo de Campo Magnético
C	- Capacitor
CBEMA	- Computer Business Equipment Manufacturers Association
CCITT	- International Telegraph and Telephone Consultative Committee
CEMIG	- Centrais Elétricas Minas Gerais
[cm]	- Centímetro
COBEI	- Comitê Brasileiro de Eletricidade
CESP	- Companhia Energética de São Paulo
CONMETRO	- Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CLP	- Controladores Lógicos Programáveis
CISPR	- Comité International Special des Perturbations Radioélectriques
CRT	- Cathode-Ray Tube
D	- Diodo
[dbm]	- Decibéis-milivolt
DC	- Corrente Contínua ("Direct Current")
E	- Campo Elétrico
Ee	- Energia Armazenada em Campo Elétrico
Em	- Energia Armazenada em Campo Magnético
ECD	- Equipamento de Terminação de Barramentos de Dados
EES	- Equipamentos Eletrônicos Sensíveis
ELETROPAULO	- Eletricidade de São Paulo S/A

EMC	- Compatibilidade eletromagnética ("Electromagnetic Compatibility")
EMI	- Interferência Eletromagnética ("Electromagnetic Interference")
EIA	- Electronic Industries Association
ETD	- Equipamento Terminal de Dados
F	- Força
G1, G2	- Cabos Guardas
[GHz]	- GigaHertz
GND	- Ground
GTO	- Gate Transistor Open
H	- Campo Magnético
HF	- Alta frequência ("High Frequency")
IEC	- International Electrotechnical Commission
IFRB	- International Frequency Registration Board
IEEE	- Institute of Electrical and Electronic Engineers
I	- Valor Eficaz (RMS) de Corrente
i	- Valor Instantâneo de Corrente
IL	- Corrente de Carga
IN	- Corrente de fuga
IC	- Corrente Capacitiva
IBM	- International Business Machine
IG	- Aterramento Isolado ("Isolated/Insulated Grounding")
IGBT	- Insulated Gate-Bipolar Transistor
ISO	- International Standard Organization
[J/C]	- Joules/Coulomb
[kHz]	- kiloHertz
[kV]	- kiloVolts
L	- Indutância
LAN	- Local Area Network
LED	- Diodo Emissor de Luz ("Light Emitting Diode")
LOG	- Logaritmo Decimal
LN	- Logaritmo Neperiano
[mA]	- miliAmpère
MINICOM	- Ministério das Comunicações
[MHz]	- MegaHertz

MTR	- Malha de Terra de Referência
MRS	- Malha de Referência Estrutural
n_1, n_2	- Índices de Refração
[N/C]	- Newtons/Colomb
NEC	- National Electric Code
NFPA	- National Fire Protection Association
OSI	- Open Systems interconnection
P	- Vetor de Poynting
q	- Carga Elétrica
q'	- Carga de Prova Pontual
r	- Vetor Distância
R	- Resistência
RT	- Resistência de Terra
Rs	- Resistência de Fonte
RL	- Resistência de Carga
RF	- Rádio Frequência
RTCA	- Radio Technical Committee for Aeronautics
SCR	- Silicon Controlled Rectifier
SDS	- Separately Derived AC Systems
SRS	- Sistema de Referência de Estrutura
TN	- Terra-Neutro
TTL	- Transistor-Transistor Logic
TRIAC	- Bidirecional Triode Thyristor
TVSS	- Transient Voltage Surge Suppressor
UL	- Underwriters Laboratories
v	- Velocidade
V	- Potencial Elétrico
[V]	- Volts
[V/m]	- Volts/metro
Vcm	- Tensão de Modo Comum
VT	- Potencial de Terra
Vs	- Tensão de Alimentação
W	- Trabalho
WAN	- Wide Area Network
β	- Ângulos entre os vetores E e H
$\phi_A \phi_B \phi_C$	- Fases do sistema de alimentação
ϵ_0	- Permissividade do vácuo

λ	- Frequência da onda de luz
μ	- Permeabilidade magnética
μ_0	Permeabilidade magnética do vácuo ($4\pi \cdot 10^{-12}$ [Farads/metro])
[μA]	- MicroAmpère
[μm]	- Micrometro
[μF]	- MicroFarad
[$\mu \Omega$]	- microOhm
θ	- Angulo de elevação
π	- Pi (3.141.....)
[Ω]	- Ohm

Resumo

Nesta dissertação, faz-se um levantamento do estado da arte, da terminologia, e dos métodos de aterramento, bem como as possíveis soluções para os problemas de interferência eletromagnética.

Os métodos estudados tem como objetivo básico prover proteção para os equipamentos eletrônicos sensíveis, e portanto se referem aos tipos de aterramento propostos pelos mesmos.

Estuda-se também os sistemas de comunicação de dados, enfatizando os sistemas de redes de computadores, suas interfaces e aterramentos.

Propõe-se técnicas gerais para elaboração de um sistema de aterramento utilizando, a princípio como solução otimizada para os problemas de interferências eletromagnéticas de um equipamento eletrônico sensível.

Abstract

This dissertation presents a state of art survey on the terminology, grounding methods, and the possible solutions for the problem of eletromagnetic inteference.

The reviewed grounding methods are intended to provide protection for sensitive eletronic equipment, and therefore they refer to type of grounding adopted by such equipment.

Also, a study of data communication systems with emphasis on network systems interfaces and grounding methods, is presented.

A general approach for design of a grounding system, using an optimized solution for the problem of eletromagnetic interference applied to givem equipment, is proposed.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer as seguintes pessoas e instituições:

Ao meu orientador Prof Dr João Roberto Cogo, pelo trabalho de orientação, dedicação e amizade dispensados neste trabalho.

Aos colegas e amigos do IAE/AEL:

Tec. Fernando Neves Salles

Tec. Elcio Santos de Castro

1° Ten Eng° Claudio Di Fiore

Eng° Adilson de Jesus Teixeira

Eng° Sergio Fugivara

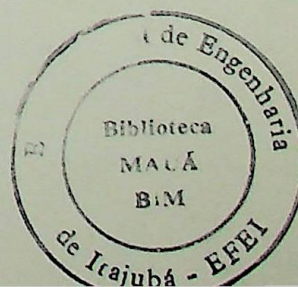
Ass. Tec. Alexandre Ostapenko,

pela colaboração na edição e ilustração do texto.

A GSI/Engenharia e Comercio pelo apoio bibliográfico.

Eliana, pelo apoio.

Aos funcionários e professores da EFEI, "Por mais uma vez com emoção".



Dedicatória

Para:

Meus pais:

Sebastião de Freitas

Euridisi Reis de Freitas

Meus filhos:

Tiago ("Huguinho")

Anderson ("Andi")

CAP I

INTRODUÇÃO AO CONTROLE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

1.1 - OBJETIVO

Este capítulo tem por objetivos descrever em termos simples, tópicos relativos à interferência eletromagnética (EMI), ilustrar suas aplicações, assim como apresentar os problemas comuns gerados pelos seus efeitos diversos.

Analisa-se a influência dos métodos de aterramento de "Equipamentos Eletrônicos Sensíveis" (EES), no controle de EMI, bem como, a influência de radiações eletromagnéticas no corpo humano.

O termo "Equipamentos Eletrônicos Sensíveis" (EES) será usado para equipamentos tais como: computadores, controladores lógico programáveis (CLP), sistemas de controle de processos, etc.

1.2 - DEFINIÇÕES BÁSICAS

O eletromagnetismo e a eletricidade apresentam alguns fenômenos que ainda não foram totalmente explicados. Contudo, aprendeu-se a entender e controlar os fenômenos eletromagnéticos. Sem tais conhecimentos, teria sido impossível desenvolver o gerador de eletricidade básica, a luz elétrica, os dispositivos eletrônicos e demais equipamentos. O crescimento e a expansão da indústria eletrônica têm contribuído com dispositivos, os quais propiciam a emissão de energia eletromagnética, a saber: radiações eletromagnéticas, ondas de radiofrequência, etc.

Muitos emissores podem causar distúrbios ou sinais indesejáveis tanto diretamente ou indiretamente na operação de

outro receptor ou sistema eletrônico. Pode-se afirmar que os fenômenos relacionados com o ruído de natureza elétrica e/ou eletromagnética podem causar interferências destrutivas. Logo, existem muitas situações onde a presença de uma pequena interferência começa a causar problemas como, por exemplo: nas transmissões de rádio, alterações de sinais de televisão, partida de motor, etc.

Um dispositivo eletrônico ou parte de um equipamento gera um ruído elétrico que ou interfere no desempenho de outro equipamento elétrico, ou é afetado pela emissão de ruídos externos, configurando-se assim um problema de interferência eletromagnética (EMI) [18].

1.2.1 - RUÍDO ELÉTRICO

Trata-se de qualquer distorção sobreposta a um sinal elétrico conhecido, que altere de forma inesperada sua característica no tempo [28].

Os formatos e valores destas distorções podem ser inúmeros. Porém, considera-se como os mais comuns e abrangentes os seguintes:

- Cortes de tensão.
- Variações de tensão.
- Variações de frequência.
- Picos de tensão.

1.2.1.1 - CORTES DE TENSÃO

Trata-se de ter durante alguns ciclos ou parte de um ciclo a tensão de alimentação em zero ou em um valor muito baixo [28].

1.2.1.2 - VARIAÇÕES DE TENSÃO

Os mais frequentes distúrbios observados são as variações de tensão de alimentação de redes elétricas, podendo ser divididas em:

1.2.1.2.1 - QUEDAS DE TENSÃO

Quedas de tensão de alimentação são geralmente originadas pela existência de "cargas pesadas" nos circuitos. Essas cargas causam uma diminuição no valor da tensão, principalmente nos instantes em que a carga é conectada a rede elétrica [28].

1.2.1.2.2 - ELEVAÇÕES DA TENSÃO

Quando ocorre a saída (desligamento) de grande parte das "cargas pesadas", no circuito elétrico, existirá a tendência de aumento de tensão. Isto ocorre geralmente no período da noite ou finais de semana, quando a maioria das fábricas encerra o expediente [28].

1.2.1.3 - VARIAÇÕES DA FREQUÊNCIA

Trata-se de distúrbios pouco comuns e normalmente causados pela própria concessionária fornecedora de energia elétrica.

1.2.1.4 - PICOS DE TENSÃO ("SPIKES") [28]

São variações nos sinais da tensão com alta intensidade e sobrepostos a tensão normal dos sistemas elétricos. A principal característica é que possuem altíssimas frequências (da ordem de quilohertz ou até megahertz). Tais picos tem diversas origens, como por exemplo:

- Interrupção de curto circuitos nos sistemas elétricos.

- Energização e desenergização de equipamentos instalados em sistemas elétricos.
- Descargas atmosféricas, etc.

1.2.2 - FORMAS DE PROPAGAÇÃO

A fonte de ruído pode ser externa ou fazer parte do próprio equipamento que se deseja proteger. Em ambos casos, o distúrbio poderá ser propagado por condução, radiação ou indução. A figura 1.1 ilustra as diversas formas de propagação de ruídos em sistemas elétricos.

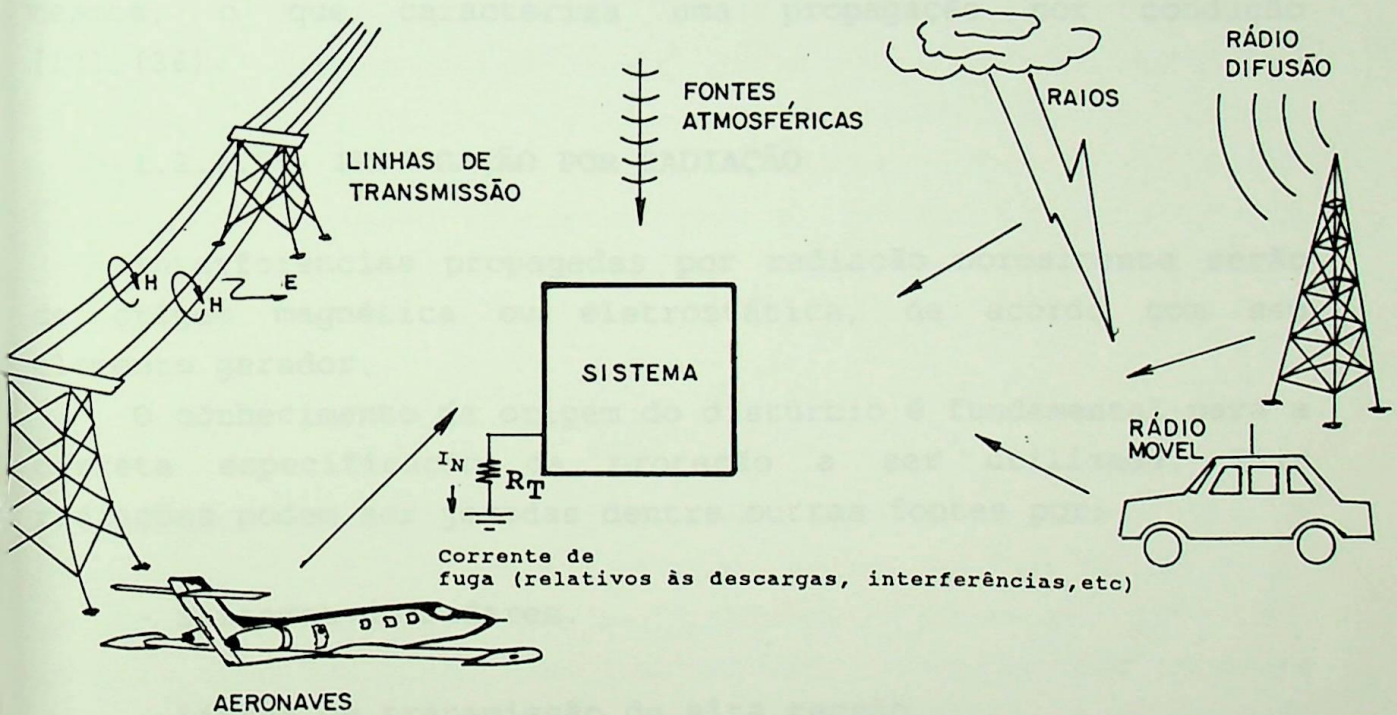


Fig 1.1 - Ilustração de interferência em um sistema.

1.2.2.1 - PROPAGAÇÃO POR CONDUÇÃO

Distúrbios propagados por condução são gerados externamente e, normalmente, chegam aos equipamentos pela rede elétrica passando pelas fontes de alimentação e chegando aos diversos circuitos dos EES. Com o advento das fontes de

alimentação chaveadas que reduzem consideravelmente o espaço físico ocupado pela etapas de alimentação nos equipamentos eletrônicos, utiliza-se ao invés da frequência da rede, frequências mais elevadas da ordem de dezenas de quilohertz. Com isto, os distúrbios elétricos provenientes propagaram-se ainda mais facilmente pelos circuitos dos EES [28].

Quando um condutor for ligado de alguma forma a um ambiente sujeito a EMI, ele pode captar o ruído e conduzi-lo de um para outro circuito. Um dos exemplos mais importante desta categoria é originada nos condutores da fonte de alimentação.

Sendo que nestes condutores, podem existir correntes de "ruído" que são injetadas em outros circuitos de EES, conectados na mesma rede, afetando assim o funcionamento dos mesmos, o que caracteriza uma propagação por condução [17], [36].

1.2.2.2 - PROPAGAÇÃO POR RADIAÇÃO

Interferências propagadas por radiação normalmente serão de origem magnética ou eletrostática, de acordo com seu elemento gerador.

O conhecimento da origem do distúrbio é fundamental para a correta especificação da proteção a ser utilizada. Tais radiações podem ser geradas dentre outras fontes por:

- Sistemas de radares.
- Linhas de transmissão de alta tensão.
- Descargas atmosféricas.
- Bobinas de alta tensão.
- Acionamentos de motores.

1.2.2.3 - PROPAGAÇÃO POR INDUÇÃO

Sabe-se que elementos de circuito, incluindo os condutores, possuem campo elétrico e magnético em suas proximidades. Estes campos também constituem um meio pelo qual um circuito pode interferir no outro. Quando os circuitos estiverem muito próximos entre si, campos elétricos e magnéticos são considerados separadamente, e estuda-se os meios de interferência que podem ser eletromagnética e elétrica. Este tipo de propagação é caracterizado por indução [17].

1.3 - ATERRAMENTO

O aterramento de uma instalação é feito visando garantir: segurança da própria instalação, fornecer uma referência equipotencial para todos sinais elétricos presentes na mesma instalação, proteção contra choques elétricos, proteção contra descargas atmosféricas e proteção de equipamentos e sistemas contra EMI.

1.3.1 - DESCRIÇÃO GERAL

Grande número de circuitos são usualmente envolvidos na fabricação de um sistema eletrônico. Porém, as distâncias entre um circuito e outro podem ser grandes ou pequenas; o sistema inteiro deve funcionar como uma unidade integral. Cada circuito deve desempenhar sua função designada e alimentar a saída para uma carga designada, em um modo de interferência livre, na presença de um sinal estranho. O aterramento de circuitos é um ingrediente essencial para este processo.

Tipicamente, um sistema deve operar em um ambiente contendo muitos potenciais incompatíveis de tensões e correntes como ilustrado na figura 1.1.

1.3.2 - NECESSIDADES QUE LEVAM AO ATERRAMENTO

O aterramento constitui uma função importante, sob todos os aspectos, na operação do sistema de energia elétrica. Contribui para melhorar a operação e a continuidade dos serviços e para aumentar a segurança pessoal [35].

Cita-se a seguir, os motivos de um sistema de aterramento:

1.3.2.1 - SEGURANÇA [13]

Os principais objetivos de aterramento de equipamentos, em relação a segurança são os seguintes:

- Manter a baixa diferença de potencial entre as partes metálicas em um nível baixo de modo a tornar equipamentos seguros, evitando choques elétricos.

- Contribuir para um desempenho superior de proteção em sistemas elétricos.

- Evitar incêndios de materiais voláteis e ignição de gases em atmosferas combustíveis.

1.3.2.2 - CONTROLE DE INTERFERÊNCIA

Um sistema de aterramento é considerado eficiente ao eliminar totalmente a EMI entre circuitos dos EES, baseia-se nos seguintes princípios:

- Referência de retorno para blindagem (cabo, gabinete, transformador de isolamento).

- Controle de caminhos de retorno para descargas eletrostáticas.

- Drenagem de corrente de modo comum.

Circuitos eletrônicos e equipamentos freqüentemente tem parte metálica comum que servem como um caminho de retorno para as correntes elétricas da rede de alimentação, descargas elétricas, campo eletromagnético, etc. A figura 1.2, a seguir, ilustra o caso de um circuito eletrônico.

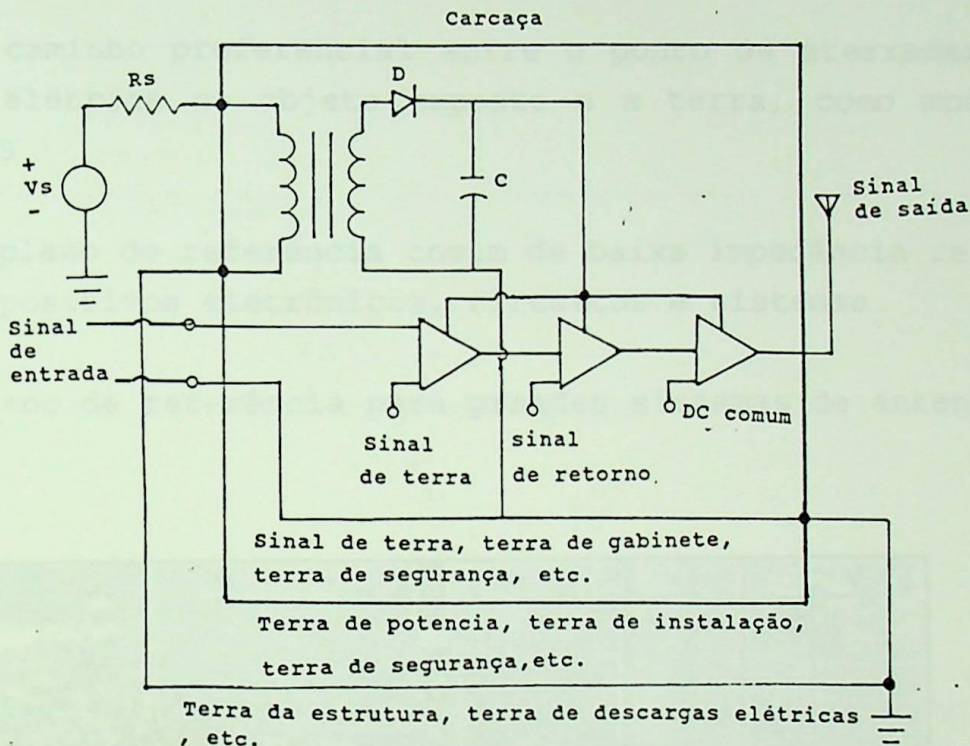
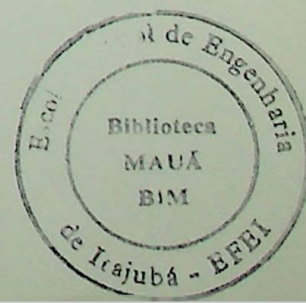


Fig 1.2 - Apresentação das múltiplas funções de um aterramento.

Correntes de várias fontes diferentes têm uma impedância comum relativa que conduz à um acoplamento indesejável. O aterramento efetivo é a realização do aterramento na referência apropriada da rede de serviço, sem produzir EMI entre circuitos e equipamentos. Os sistemas de aterramento tipicamente são caracterizados por:

- Conexão de baixa resistência com o terra para fornecer um caminho de retorno de uma falha (entre uma falha prevista e a alimentação) visando a diminuição da tensão de risco antes



que se acionem os fusíveis e disjuntores, como ilustrado na figura 1.3.

- O caminho com baixa resistência entre o equipamento eletro-eletrônico e o objeto metálico para minimizar o perigo pessoal em um evento de uma falha elétrica com o equipamento, como mostra a figura 1.4.

- O caminho preferencial entre o ponto de aterramento da descarga elétrica no objeto exposto e a terra, como mostra a figura 1.5.

- O plano de referência comum de baixa impedância relativa entre dispositivos eletrônicos, circuitos e sistemas.

- Plano de referência para grandes sistemas de antenas.

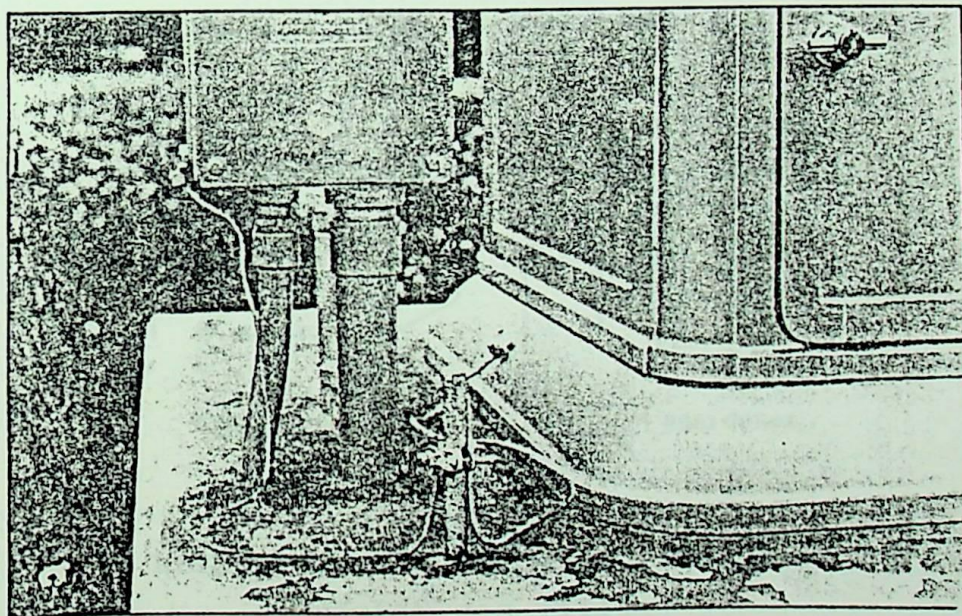


Fig 1.3 - Aterramento contra faltas [11].

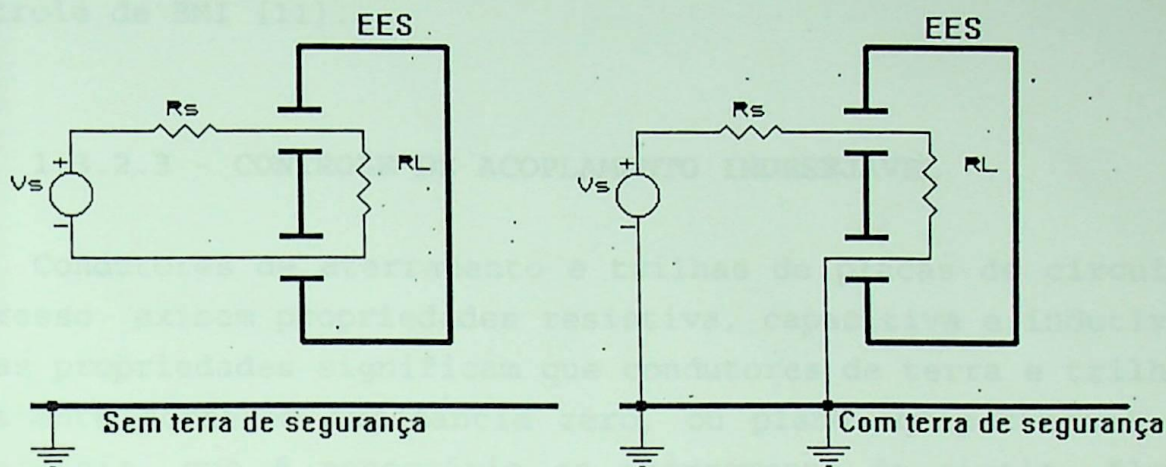


Fig 1.4. - Segurança de sistemas aterrados [11].

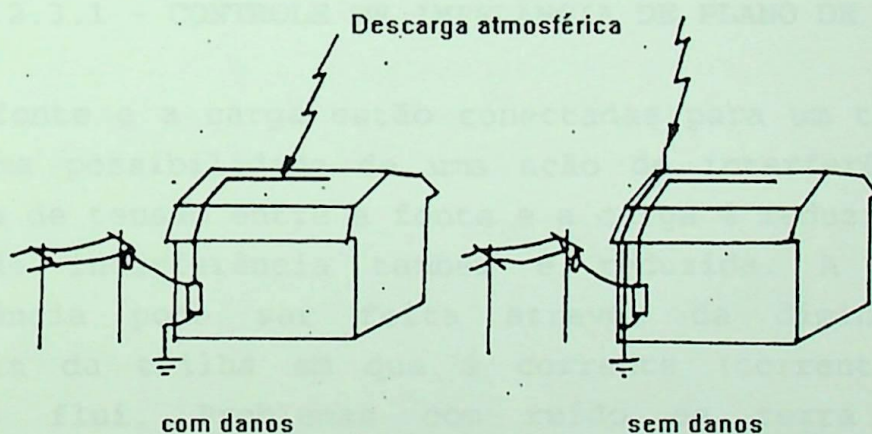


Fig 1.5 - Aterramento para descargas atmosféricas [11].

Muitos sistemas de aterramentos eletrônicos envolvem duas ou mais das funções citadas. Frequentemente encontram-se múltiplos papéis de desempenho em conflito, tanto em termos de necessidades operacionais quanto em termos de implementação técnica.

Portanto, um sistema de aterramento tem que satisfazer tanto a função de segurança pessoal e equipamentos, e a de controle de EMI [11].

1.3.2.3 - CONTROLE DE ACOPLAMENTO INDESEJÁVEL

Condutores de aterramento e trilhas de placas de circuito impresso exibem propriedades resistiva, capacitiva e indutiva. Estas propriedades significam que condutores de terra e trilhas raramente fornecem impedância zero, ou plano eqüipotencial de referência, que é necessário ao aterramento de sinais. Algum sinal inesperado, tanto de [Hz] ou [MHz], pode provocar uma interferência para os sinais existentes dos circuitos eletrônicos. Apresenta-se algumas técnicas para minimizar este tipo de acoplamento.

1.3.2.3.1 - CONTROLE DE IMPEDÂNCIA DE PLANO DE TERRA

Se fonte e a carga estão conectadas para um terra único, existe uma possibilidade de uma ação de interferência. Se a diferença de tensão entre a fonte e a carga é reduzida, então a ameaça de interferência também é reduzida. A redução de interferência pode ser feita através da diminuição da impedância da trilha em que a corrente (corrente do sinal desejado) flui. Problemas com ruído de terra podem ser solucionados pela colocação de mais ligações de terra através da ligação de todos elementos metálicos na estrutura do gabinete do equipamento. A figura 1.6 ilustra a aplicação da ligação de cabos múltiplos em estruturas metálicas.

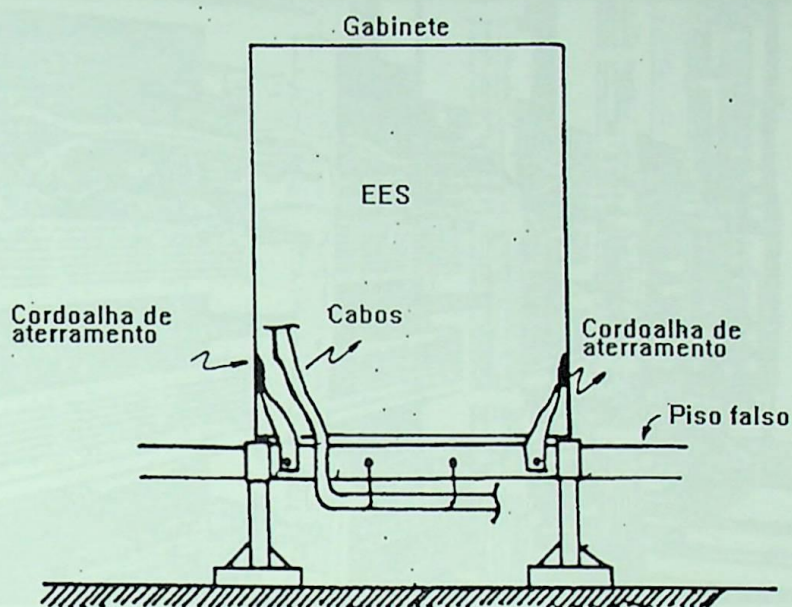


Fig 1.6 - Aterramento em estruturas metálicas.

As figuras 1.7 e 1.8 apresentam o uso de cabos de terra de bitola elevada, os quais reduzem a diferença de tensão vinda dos sinais de interferência que têm o mesmo terra comum.

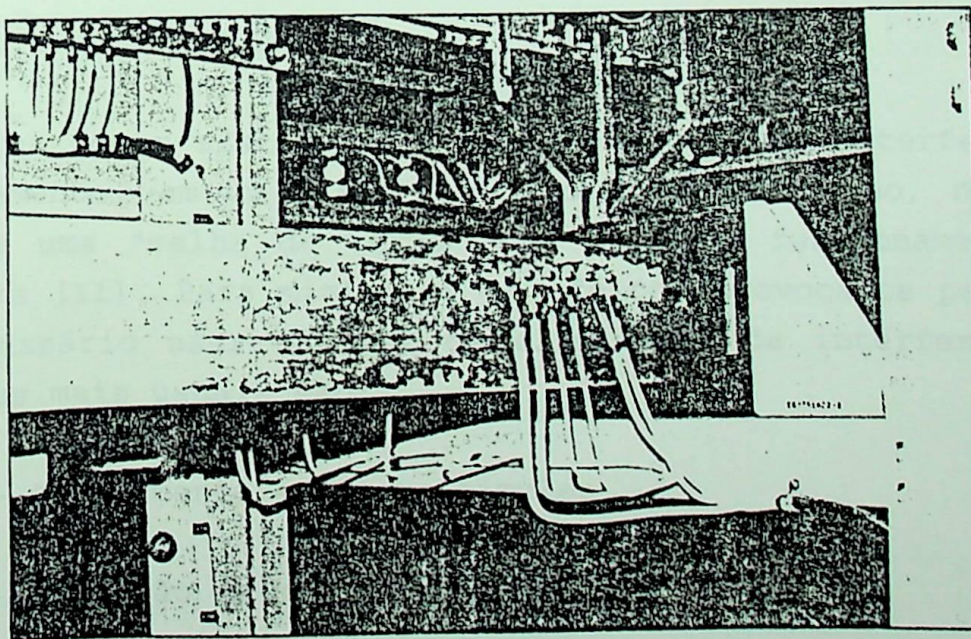


Fig 1.7 - Ligação estrutural [11].

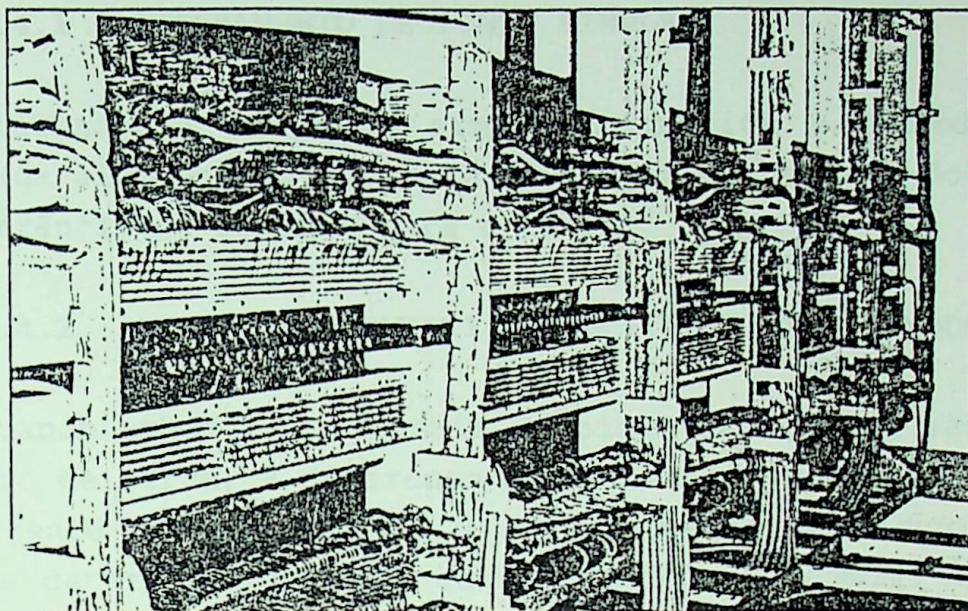


Fig 1.8 - Barramento de terra [11].

Equipamentos de RF e circuitos normalmente utilizam chassis, gabinetes ou espaços nas placas de circuito impresso como plano de terra para sinais.

1.4 - MALHAS DE TERRA

Quando um sistema está envolvido por uma interferência de acoplamento, em um plano de terra ou de retorno, neste caso existe uma "malha de terra" que afeta o funcionamento deste sistema [11]. Para minimizar os efeitos provocados pela mesma, é necessário usar métodos de eliminação de interferência. Os métodos mais usuais são:

- Aterramento em ponto simples.
- Rejeição de modo comum.
- Translação de frequência.



- Acoplamento óptico.

1.4.1 - ATERRAMENTO DE PONTO SIMPLES

Aterramento de ponto simples significa a conexão de um ponto (da alimentação ou sinal de carga) do retorno do sinal da transferência de energia para o terra.

1.4.2 - ATERRAMENTO MULTI-PONTO - REJEIÇÃO DO MODO COMUM

Quando ambos os terminais do sinal de retorno são ligados ao plano de terra, a diferença de potencial pode causar o fluxo de corrente de modo comum. O balanceamento de circuitos é um modo de deter as tensões e correntes de modo comum. A completa rejeição requer um perfeito balanceamento entre os terminais do circuito. Geralmente um alto grau de balanceamento torna mais difícil com o aumento da frequência.

A figura 1.9 mostra um típico circuito balanceado

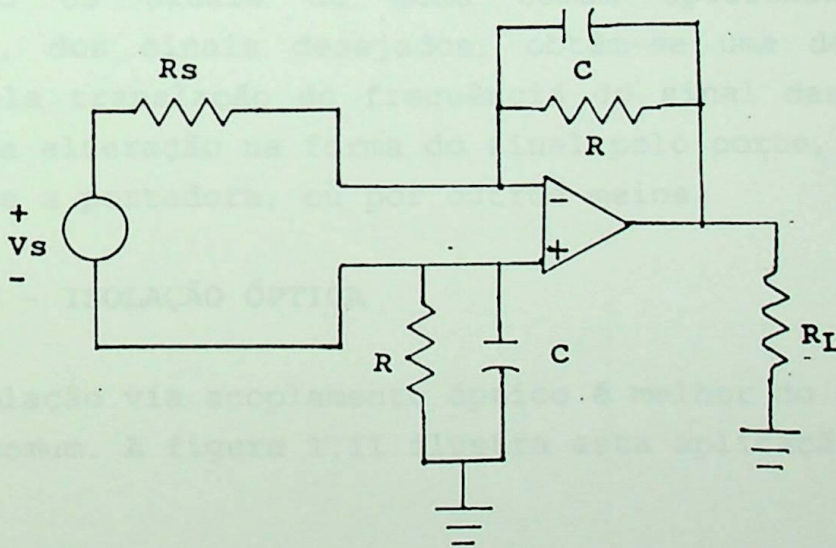


Fig 1.9 - Uso do receptor diferencial para rejeição de modo comum [11].

A figura 1.10 mostra a operação conseguida com transformadores balanceados. Este circuito tem uma limitação: não pode ser utilizado em corrente contínua.

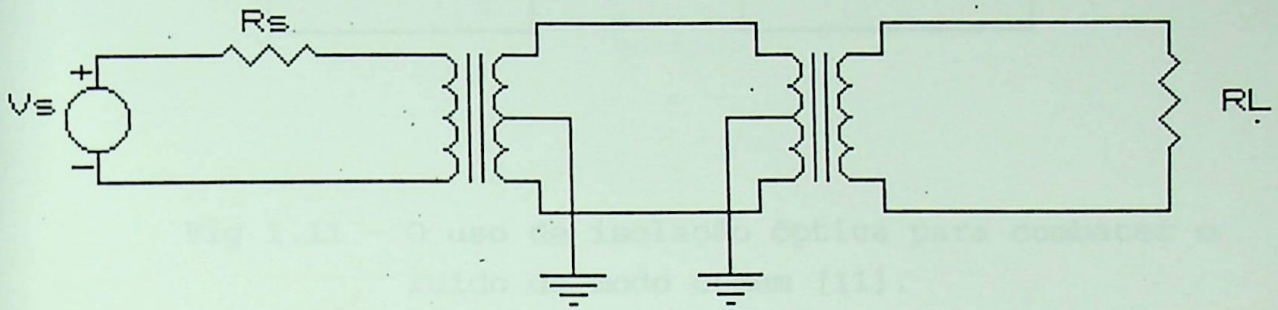


Fig 1.10 - Operação com transformadores balanceados [11].

1.4.3 - TRANSLAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Quando os sinais de modo comum apresentam a mesma frequência, dos sinais desejados, obtêm-se uma descriminação efetiva pela translação de frequência do sinal desejado. Isto envolve uma alteração na forma do sinal pelo corte, modulando o sinal sobre a portadora, ou por outros meios.

1.4.4 - ISOLAÇÃO ÓPTICA

A isolação via acoplamento óptico é melhor do que rejeição de modo comum. A figura 1.11 ilustra esta aplicação.

Fig 1.12 - Aterramento capacitivo.

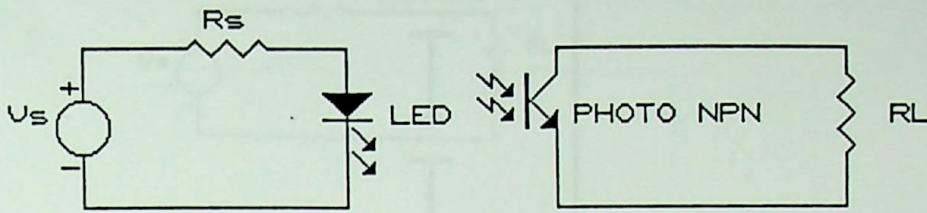


Fig 1.11 - O uso de isolamento óptica para combater o ruído de modo comum [11].

1.4.5 - ATERRAMENTO ATRAVÉS DE UM ISOLADOR DE FREQUÊNCIAS

As figuras 1.12 e 1.13 são exemplos de técnicas especializadas de aterramento. Existem situações onde o aterramento do ponto simples é requerido para baixas frequências, enquanto o aterramento multi-ponto é requisitado para altas frequências. O aterramento capacitivo é mostrado na figura 1.12 e a situação inversa é mostrada na figura 1.13, onde a indutância é usada para se conseguir um terra de baixa frequência e assemelhando-se a um circuito aberto para RF.

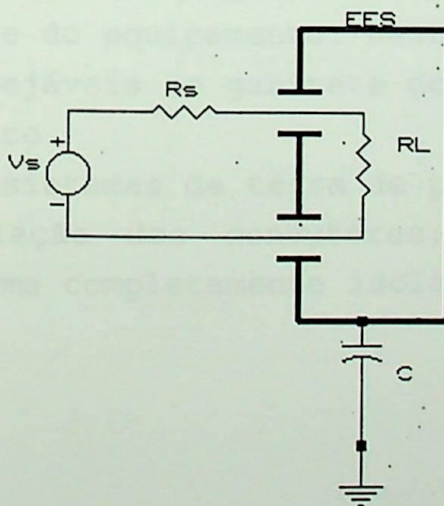


Fig 1.12 - Aterramento capacitivo.

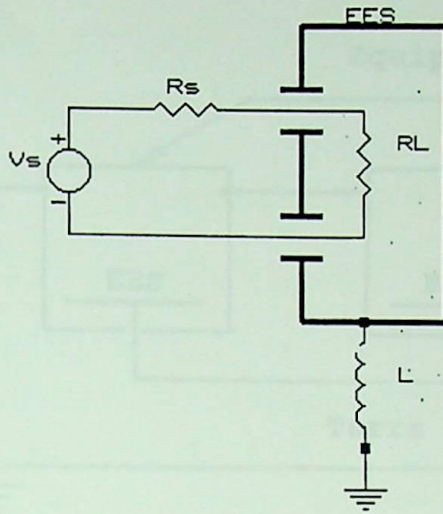


Fig 1.13 - Aterramento indutivo.

1.5 - CONFIGURAÇÃO REDE DE TERRA

1.5.1 - TERRA FLUTUANTE

A figura 1.14 apresenta o esquema de terra flutuante. Este tipo de sistema de aterramento tem uma facilidade, que é a isolação elétrica entre o terra e outras partes condutoras. Eventuais correntes através do terra não serão condutivamente acopladas ao sinal de interesse do circuito.

O conceito de sistema de terra flutuante é também aplicado no projeto de equipamentos para isolar o sinal de retorno do gabinete do equipamento. Neste caso há uma prevenção de correntes indesejáveis no gabinete do equipamento em relação ao sinal do circuito.

Efetivamente sistemas de terra de ponto flutuante dependem de sua real isolação dos condutores; o que torna difícil conseguir um sistema completamente isolado.

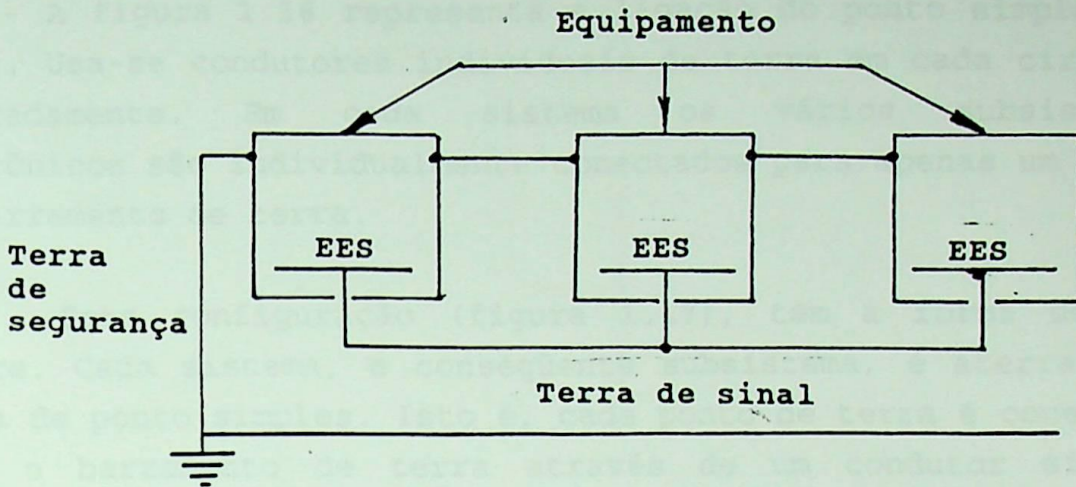


Fig 1.14 - Terra do sinal flutuante [11].

1.5.2 - TERRA DE PONTO SIMPLES

Configurações de ponto simples

- Nesta configuração, o sinal do circuito é referenciado para um ponto simples, que é conectado para o terra.

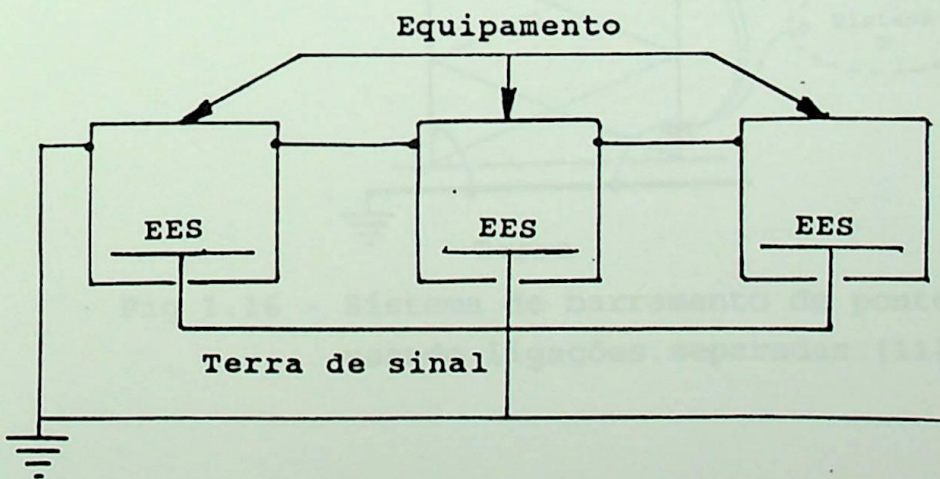


Fig 1.15 - Terra de ponto simples [11].

- A figura 1.16 representa a ligação do ponto simples de terra. Usa-se condutores individuais de terra em cada circuito separadamente. Em cada sistema os vários subsistemas eletrônicos são individualmente conectados para apenas um ponto no barramento de terra.

- Esta configuração (figura 1.17), tem a forma de uma árvore. Cada sistema, e conseqüente subsistema, é aterrado na forma de ponto simples. Isto é, cada ponto de terra é conectado para o barramento de terra através de um condutor simples isolado ao nível de tensão do sistema.

- Configuração para minimizar o efeito da corrente de terra (figura 1.18).

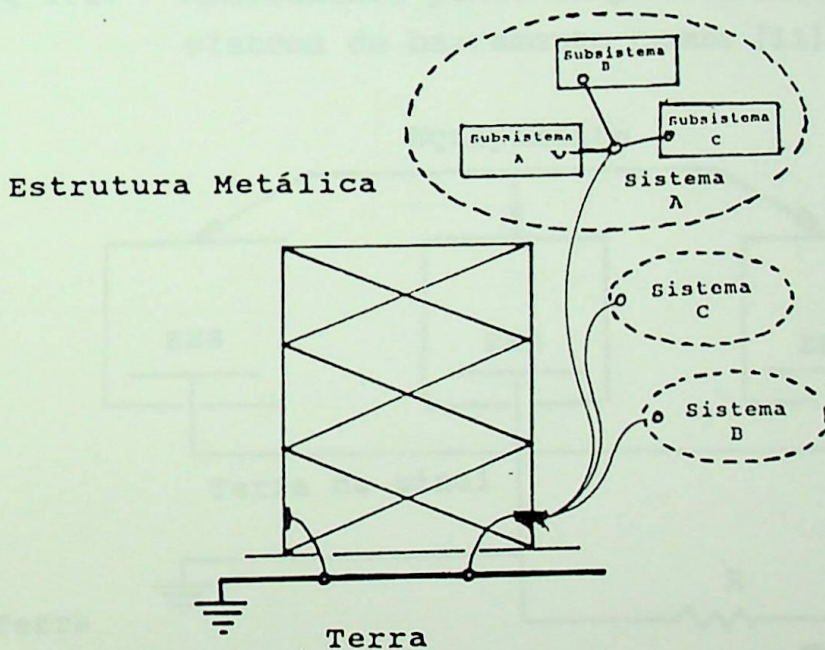


Fig 1.16 - Sistema de barramento de ponto simples usando ligações separadas [11].

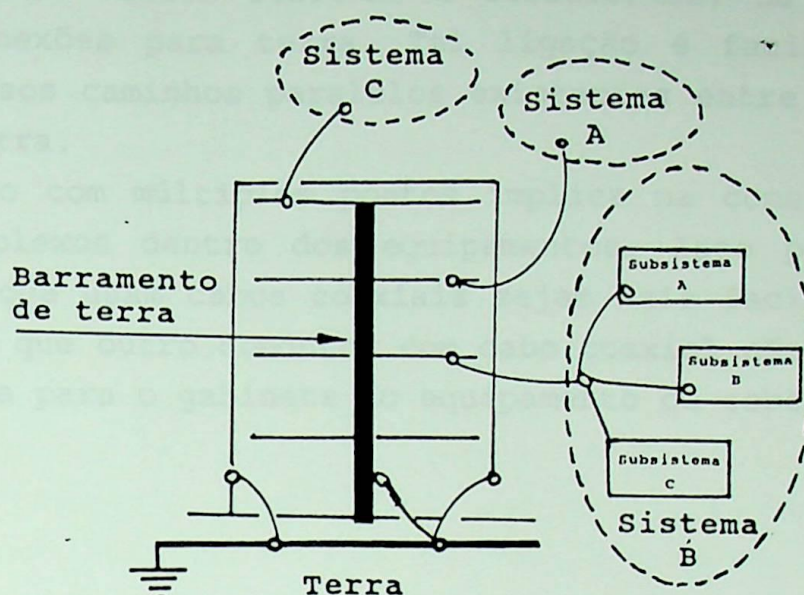


Fig 1.17 - Aterramento ponto simples usando um sistema de barramento comum [11].

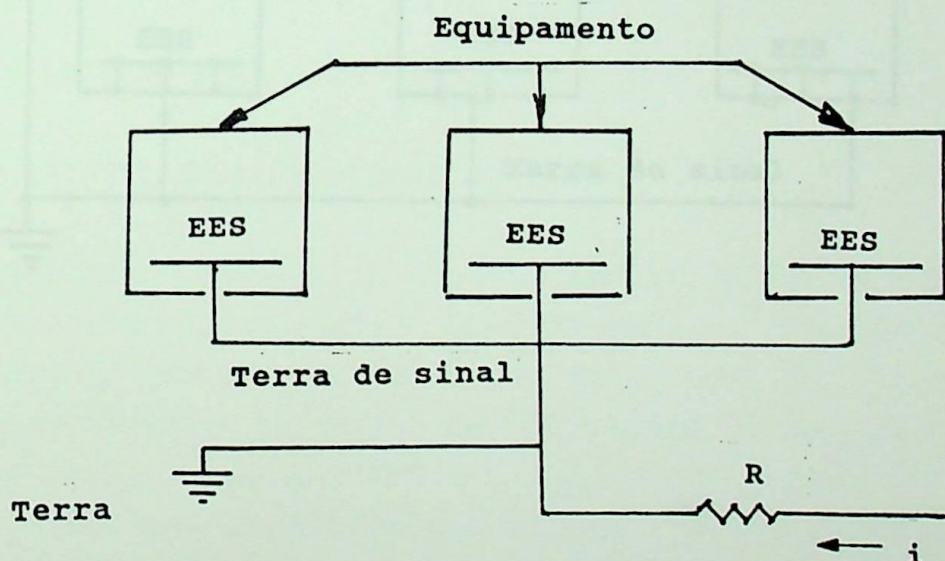


Fig 1.18 - Esquema para minimizar correntes [11].

1.5.3 - ATERRAMENTO MULTI-PONTO

A figura 1.19 ilustra uma configuração frequentemente usada para o sinal de terra. Esta configuração estabelece

muitos caminhos para vários sistemas e subsistemas, ou seja, tem múltiplas conexões para terra. Tal ligação é facilitada devido aos numerosos caminhos paralelos existentes entre um ou dois pontos no terra.

O aterramento com múltiplos pontos implica na construção de circuitos complexos dentro dos equipamentos. Isto permite que equipamentos que usam cabos coaxiais sejam mais facilmente conectados, desde que outro condutor com cabo coaxial não tenha flutuação relativa para o gabinete do equipamento ou cobertura.

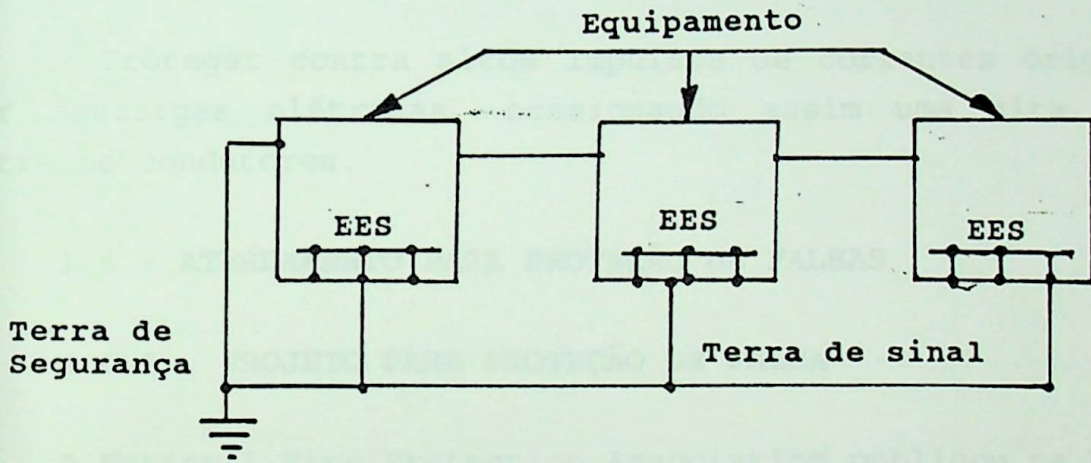


Fig 1.19 - Aterramento com múltiplos pontos.

1.5.4 - APLICAÇÕES

O aterramento múltiplos pontos é aplicado nas seguintes situações:

- Construção de circuito: onde muitos componentes e dispositivos (resistores, capacitores, transistores, etc) são interconectados.

- Equipamentos utilizando sinais RF.

- Proporcionar um bom desempenho de blindagem e uma baixa impedância de ligação na transmissão do sinal.

- Segurança pessoal: superfícies de metal expostas, incluindo condutores enraizados, devem ser aterrados para segurança pessoal. O aterramento de segurança pessoal usualmente envolve estruturas metálicas [11].

- Proteger contra altos impulsos de correntes originadas por descargas elétricas, ocasionando assim uma alta tensão entre os condutores.

1.6 - ATERRAMENTO PARA PROTEÇÃO DE FALHAS

1.6.1 - PROJETO PARA PROTEÇÃO DE FALHA

A National Fire Protection Association publicou na NFPA 70 o National Electric Code (NEC). Esta norma foi adotada pela American National Standards Institute como ANSI C1, a mesma cita que os primeiros cuidados de proteção, dizem respeito contra choque fatal e não EMI/EMC.

Contudo, isto não significa que não exista uma preocupação no controle de EMI. A principal meta das exigências da NEC é que os equipamentos, projetos de sistemas e instalações tenham um bom sistema de aterramento para controle de EMI.

O artigo 250 da NEC [15] para exigências de aterramento :

".....

.....

250-25 - Condutor a ser aterrado - sistema AC

Para sistemas AC, o condutor a ser aterrado deve ser especificado como:

- 1 - Sistema monofásico, 2 fios: um condutor
- 2 - Sistema monofásico, 3 fios: um condutor de neutro

.....

....."

Portanto, para ligações elétricas conforme a exigência da especificação da NEC em um sistema de alimentação AC monofásico, consiste em um condutor de terra (fio verde), e outros dois condutores normais (fio preto) e o neutro (fio branco). O condutor de terra é projetado para conduzir a corrente numa eventual falta. O terra de segurança (fio verde) é aterrado em um ponto como é mostrado na figura 1.20.

Na figura, o condutor de neutro é aterrado para uma proteção de falta.

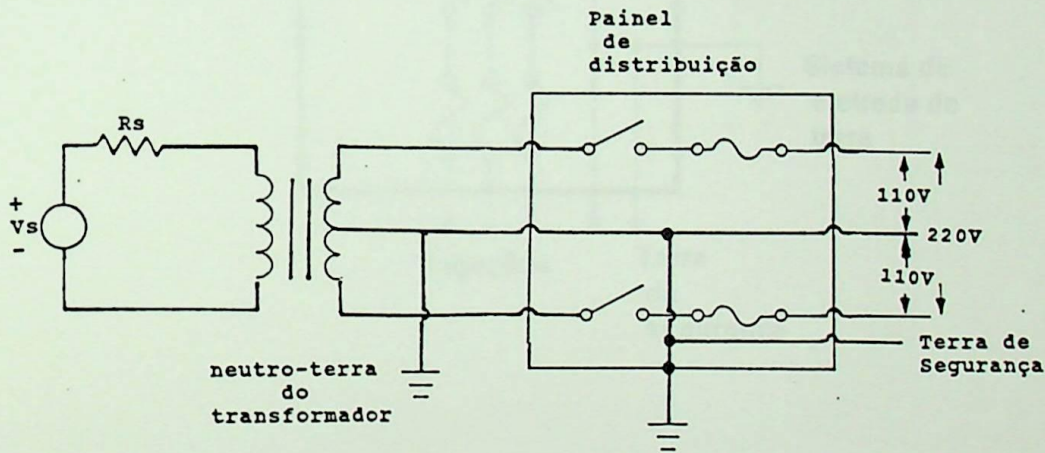


Fig 1.20 - Sistemas bifásicos - Conexões de terra de potência [11].



O sistema de aterramento para um sistema de distribuição trifásico é similar a um sistema de distribuição monofásico, como mostrado na figura 1.21.

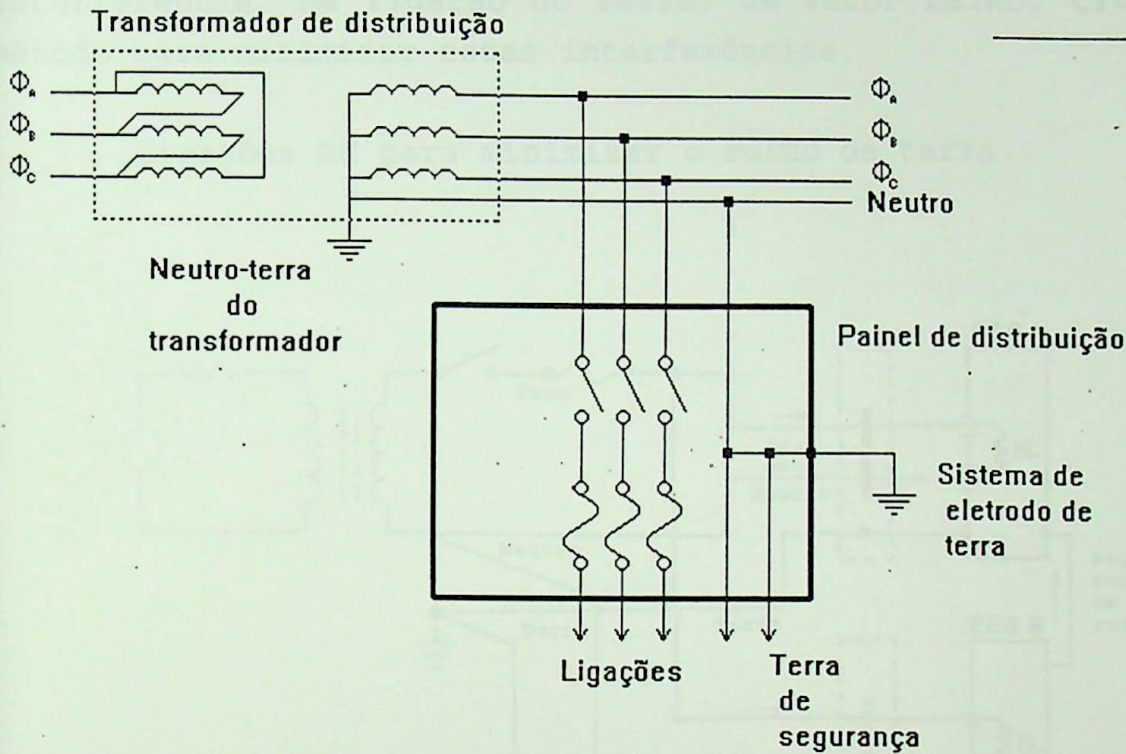


Fig 1.21.a - Circuitos derivados separados [19].

Fig 1.21 - Sistemas trifásicos - Conexões de sistema de terra de potência [11].

O condutor de neutro, como nos sistemas monofásicos, é aterrado para a proteção de faltas na "caixa de entrada do consumidor" .

A NEC 250, parágrafo 23, especifica que o neutro nunca deve ser aterrado em qualquer ponto ao lado da carga. Tanto em sistema trifásicos como monofásicos.

As figuras 1.22 e 1.23 ilustram uma maneira correta de ligação de circuito de derivação. Nota-se que as duas partes do equipamento são energizadas separadas dos circuitos de derivação. Porém, existe uma pequena tensão entre os gabinetes dos EES A e B, provocando assim uma pequena corrente de interferência, na ligação do terra, de valor baixo. Cita-se o método para minimizar estas interferências.

- Ligações AC para minimizar o ruído de terra.

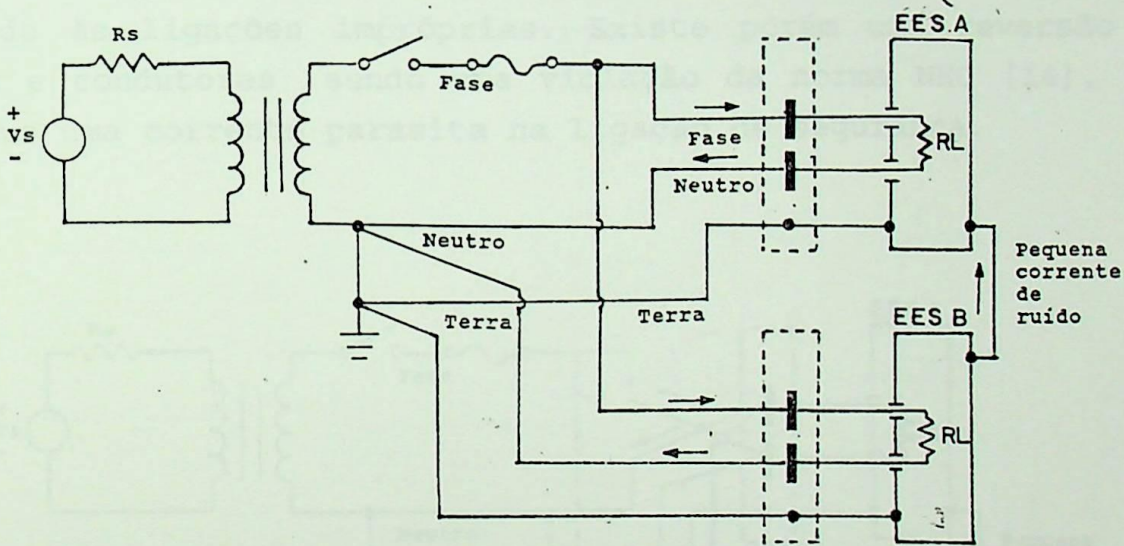


Fig 1.22.a - Circuitos derivados separados [29].

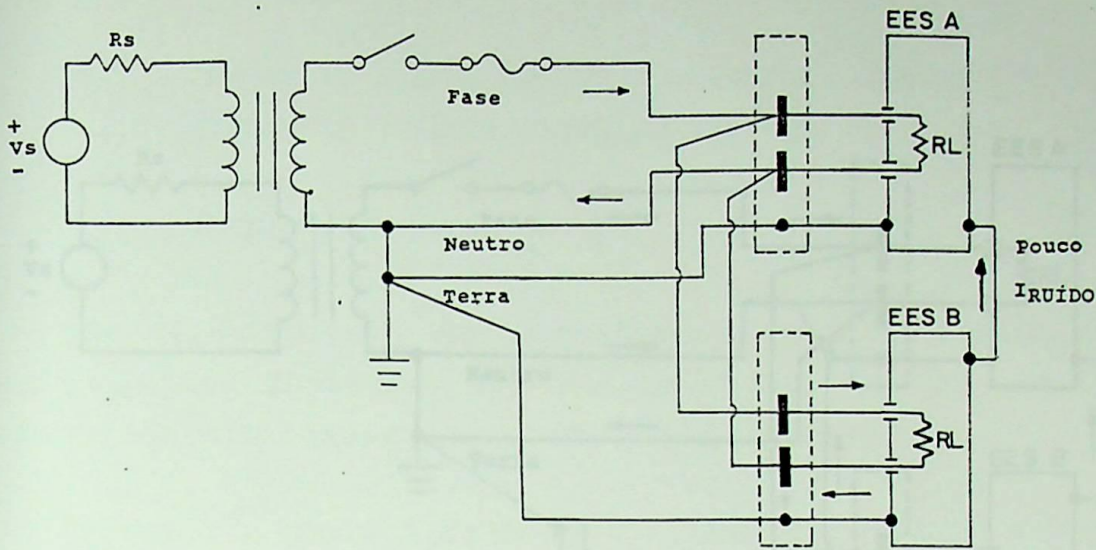


Fig 1.22.b - Circuitos derivados comuns [29].

Fig 1.22. - Minimização do ruído de terra.

As figuras 1.23, 1.24 e 1.25 mostram os efeitos de ruídos devido às ligações impróprias. Existe porém uma reversão de fase e condutores, sendo uma violação da norma NEC [14], que produz uma corrente parasita na ligação de segurança.

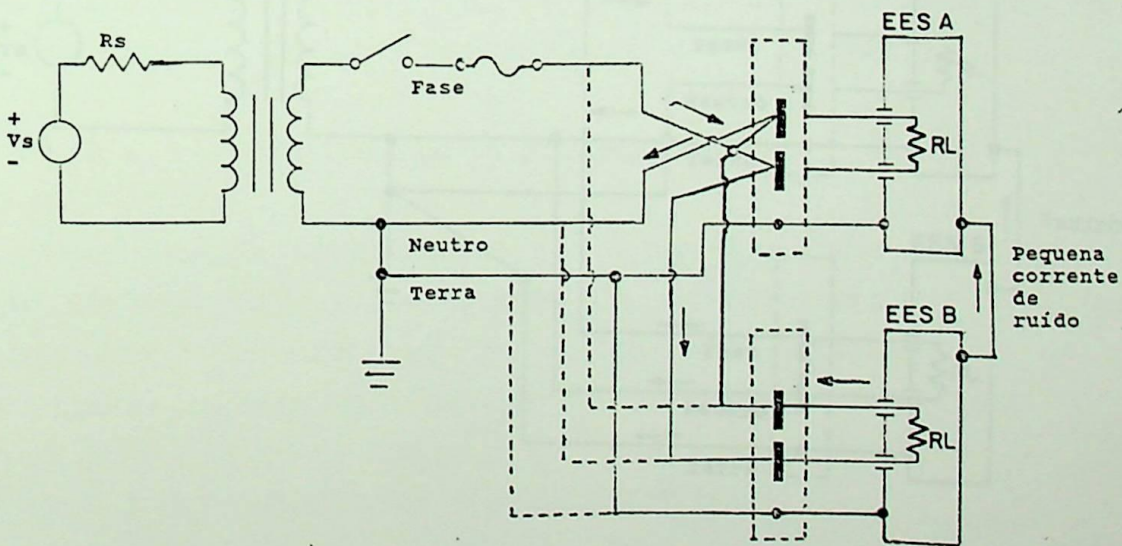


Fig 1.23 - Fase-neutro invertido - circuitos comuns ou derivados separados [29].

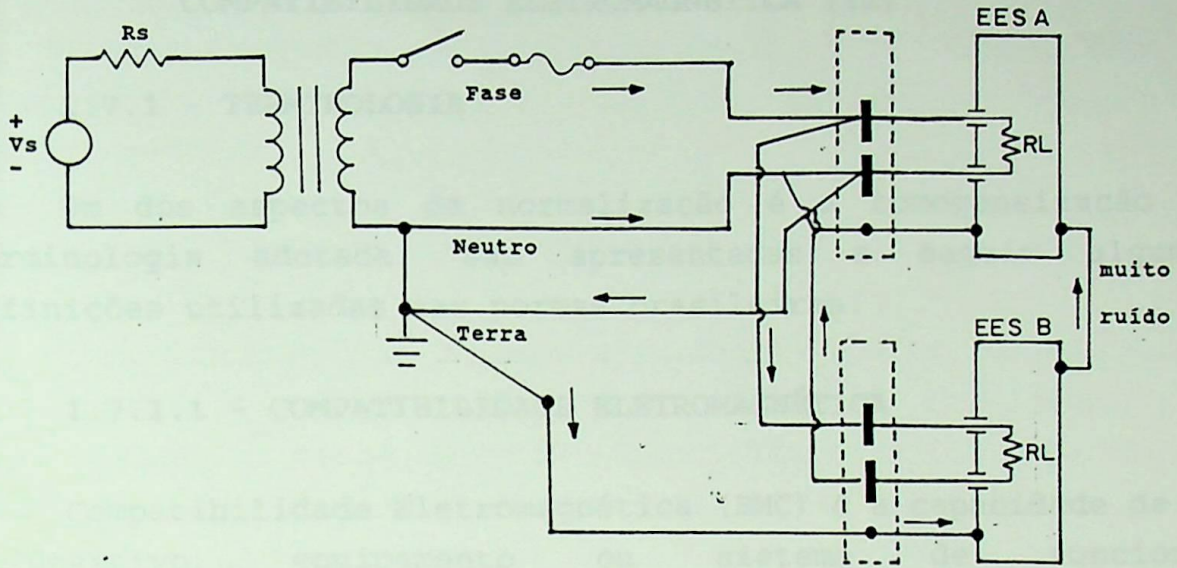


Fig 1.24 - Neutro-terra trocados circuito derivado-comum [29].

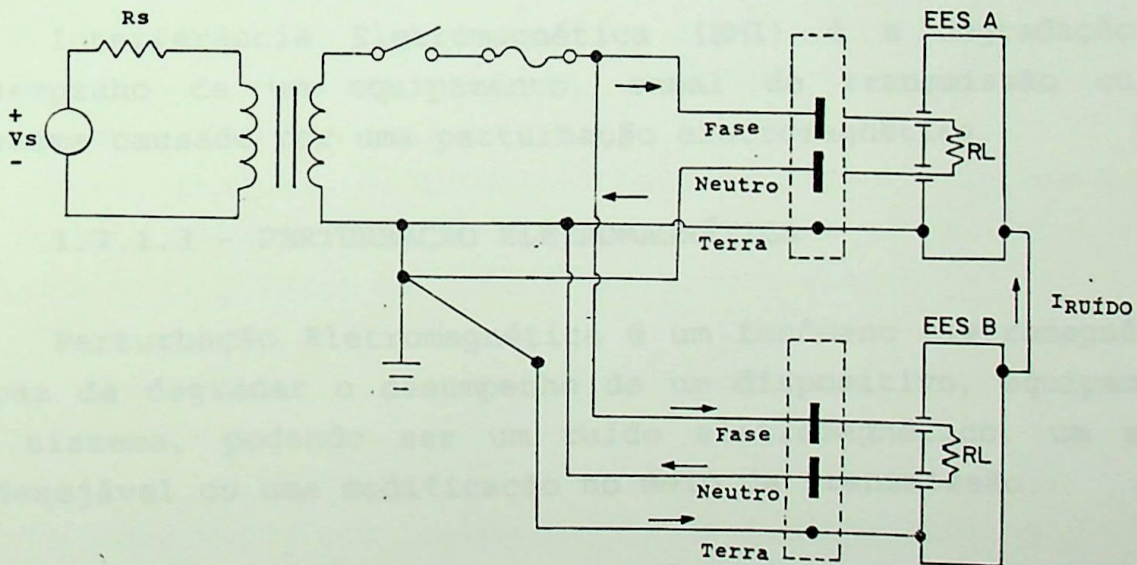


Fig 1.25 - Neutro-terra trocados circuito derivado separado [29].

1.7 - NORMALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA [12]

1.7.1 - TERMINOLOGIA

Um dos aspectos da normalização é a homogeneização da terminologia adotada. São apresentadas a seguir algumas definições utilizadas nas normas brasileiras.

1.7.1.1 - COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Compatibilidade Eletromagnética (EMC) é a capacidade de um dispositivo, equipamento ou sistema de funcionar satisfatoriamente no seu ambiente eletromagnético sem produzir perturbação eletromagnética intolerável para outros materiais, equipamentos ou sistemas contidos neste ambiente.

1.7.1.2 - INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

Interferência Eletromagnética (EMI) é a degradação do desempenho de um equipamento, canal de transmissão ou de sistema causado por uma perturbação eletromagnética.

1.7.1.3 - PERTURBAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Perturbação Eletromagnética é um fenômeno eletromagnético capaz de degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, podendo ser um ruído eletromagnético, um sinal indesejável ou uma modificação no meio da transmissão.

1.7.1.4 - IMUNIDADE ELETROMAGNÉTICA

Imunidade Eletromagnética é capacidade de dispositivos, equipamentos ou sistemas de não sofrer degradação de desempenho quando na presença de uma perturbação eletromagnética.

1.7.1.5 - INTERFERÊNCIA DE RADIOFREQUÊNCIA

Interferência de Radiofrequência é a degradação da recepção de um sinal desejado causado por uma perturbação de radiofrequência.

1.7.2 - NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA

A elaboração das Normas Brasileiras sobre interferência eletromagnética cabe ao COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade), comitê da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) responsável pela normalização na área eletro-eletrônica. As recomendações utilizadas como texto base pelas comissões que estudam o assunto ao IEC e do CISPR.

As referências de [1] a [8] são listadas as comissões de estudo que atualmente elaboram as Normas de EMI/EMC e que fazem parte da "Comissão Especial de Radiointerferência e Compatibilidade Eletromagnética".

Estas comissões começaram a atuar no final dos anos 70 a partir da iniciativa do Ministério das Comunicações (Minicom), responsável pela proteção do espectro radioelétrico, que estimulou a abordagem do assunto pelo COBEI.

Como resultado do trabalho dessas comissões algumas Normas já foram elaboradas sobre o assunto. Atualmente encontra-se em andamento no COBEI a elaboração de Normas sobre:

- Instrumental e métodos de medição de perturbação de radiofrequência.

- Terminologia em compatibilidade eletromagnética.

- Limites e métodos de medição de imunidade eletromagnética de equipamentos de tecnologia da informação.

- Limites e métodos de medição de imunidade eletromagnética de receptores de rádio e TV.

- Limites e métodos de medição de perturbação emitida por sistemas de ignição e veículos automotores.

1.7.3 - LEGISLAÇÃO

Com relação a obrigatoriedade do atendimento às Normas de EMI/EMC, são apresentadas a seguir algumas informações importantes a esse respeito.

A Lei nº 8078 de 11 de setembro de 1990 chamada Código de Defesa do Consumidor inclui na sua Seção IV a seguinte disposição a respeito do atendimento a normas técnicas [12].

No artigo 39, seção IV, que se fala das práticas abusivas

".....

.....

VIII - Colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro.

.....

....."

No que se refere a interferência de radiofrequência, um fato importante a ser lembrado é que ao Minicom coube a atribuição de proteger o espectro radioelétrico. O Minicom tem publicado algumas Portarias que visam preservar o uso adequado das radiofrequências.

A seguir são listadas estas Portarias com um breve comentário sobre seu conteúdo.

Portaria 292 de 17/10/85 - Minicom

Estabelece o uso de publicações do CISPR no território nacional nos casos de radiointerferência, até que apareçam Normas Brasileiras que as substituam.

Portaria 17 de 26/03/86 - Secretaria Geral do Minicon

Acrescenta às publicações citadas Portaria 292, as publicações CISPR 15 e CISPR 16

Portaria 173 de 21/08/91 - Secretaria Nacional de Comunicações

Apresenta a Norma Geral de Telecomunicações nº 004/91 - Certificação de Produtos para Telecomunicações, onde são apresentadas disposição para o controle de interferência de radiofrequência causada pelos equipamentos de telecomunicações.

Portaria 176 de 10/06/92 - Secretaria Nacional de Comunicações

Apresenta a norma N-2/92 - Norma básica de perturbações eletromagnéticas produzidas por equipamentos industriais, científicos e médicos, que aborda aspectos técnicos e administrativos sobre o assunto.

Portaria 322 de 26/08/92 - Secretaria Nacional de Comunicações

Apresenta a Norma NET nº 001/92 - Requisitos Mínimos para Certificação de Equipamentos terminais com Interfaceamento Analógico à Rede Telefônica Pública. Esta apresenta requisitos técnicos mínimos para os equipamentos em questão. Para o aspecto de radiointerferência não apresenta especificações porém estabelece que fica de responsabilidade do fornecedor garantir características adequadas em termos de radiointerferência.

1.8 - EFEITOS BIOLÓGICOS DEVIDO A EFEITOS DE ONDAS E RADIOFREQUÊNCIA [10]

As radiações eletromagnéticas ocorrem naturalmente, mas em intensidades muito baixas quando comparadas às radiações artificiais. O marcante desenvolvimento e a proliferação nas



últimas décadas, de aparelhos eletrônicos de uso industrial, militar, doméstico, ou para aplicações médicas, que emitem uma grande variedade de energia irradiante não ionizante, aumentaram consideravelmente as fontes artificiais de radiações eletromagnéticas. Essas fontes podem ser de dois tipos:

- Emissoras intencionais.
- Não intencionais (ou radiação incidental).

As emissoras intencionais típicas incluem os equipamentos elétricos e eletrônicos de uso industrial ou comercial, que podem de alguma maneira irradiar algum tipo de onda eletromagnética.

A possibilidade de exposição de um grande segmento da população a uma radiação complexa de multifrequência no ambiente é atualmente uma realidade. Incluem-se aqui as radiações de radiofrequência numa faixa de 300 [KHz] a 300 [MHz] e as microondas de 300 [MHz] a 300 [GHz]. Afirma-se que até o momento apenas um setor relativamente pequeno da população, constituído por pessoas que moram na vizinhança imediata de estações comerciais de transmissão de instalações poderosas de radar (aeroportos), e certos grupos ocupacionais recebem uma exposição significativa. Portanto, a maioria da população não está exposta a esse tipo de radiação em níveis preocupantes, mesmo considerando-se os padrões de segurança russos, que são mais rigorosos que os americanos.

De qualquer forma, juntamente com o aumento da utilização das ondas eletromagnéticas surge também a preocupação com relação aos efeitos biológicos que possam ser causados por tal tipo de energia. A pesquisa dos efeitos biológicos das radiações não-ionizantes tem revelado que tais radiações podem produzir alterações estruturais e funcionais nos organismos irradiados e que essas alterações são devidas não apenas ao aquecimento mas também uma interação direta da energia com o sistema biológico.

1.8.1 - INTERAÇÃO [10]

Propagando-se através do meio biológico, as ondas eletromagnéticas interagem com ele ocorrendo uma transferência de energia. Nas radiações de microondas e radiofrequência, a principal troca de energia ocorre entre o campo elétrico e as moléculas polares de água. Conseqüentemente, tecidos, como os músculos e pele (com alto conteúdo de água), absorvem relativamente maior quantidade de energia do que o tecido adiposo ou ósseo, de baixo conteúdo de água.

A energia da radiação absorvida pelo material biológico transforma-se em energia cinética das moléculas produzindo seu aquecimento. O aumento de temperatura pode ser difuso ou limitar-se a um determinado sítio anatômico específico.

Isto ocorre devido à conseqüência da distribuição e absorção não uniformes do campo e a produção de focos de calor no interior do material biológico. A existência desses focos, particularmente nas regiões com mecanismos menos eficientes de transferência de calor, pode levar a alterações específicas do tecido, mesmo que a temperatura do corpo não cresça significativamente.

A partir das características elétricas e geométricas do corpo irradiado e das condições de exposição, é possível, a princípio, calcular o campo resultante internamente e a taxa através da qual a energia é absorvida pelo tecido irradiado.

Isto é, a interação da onda eletromagnética com o sistema biológico depende das características de ambos, principalmente do comprimento de onda e da intensidade do campo e das constantes elétricas do tecido que determinam o grau de absorção e profundidade de penetração. O resultado dessa interação pode ser um aumento de temperatura generalizado ou localizado, em função da distribuição não-uniforme da energia eletromagnética nos sistemas biológicos.

1.8.2 - EFEITOS BIOLÓGICOS

Os efeitos biológicos das radiações não ionizantes têm

revelado que órgãos e sistemas orgânicos afetados por microondas são susceptíveis à distúrbios funcionais ou alterações estruturais. Algumas reações a microondas ou radiofrequência podem levar a efeitos biológicos mensuráveis os quais permanecem dentro das compensações fisiológicas normais, pois um efeito não constitui necessariamente um prejuízo. Outras reações, no entanto podem produzir efeitos que sejam de fato prejuízos reais ou potenciais [10].

Conforme já descrito, a maior parte da energia da radiação de microondas ou radiofrequência absorvida por um sistema biológico se converte em calor, causando interferência no funcionamento do sistema vivo. Contudo, nem todos os efeitos das radiações de microondas e radiofrequência podem ser explicados pelos mecanismos biofísicos de absorção de energia e conversão de calor. Os efeitos biológicos causados pela exposição a radiações eletromagnéticas são usualmente designados como térmicos e não térmicos. Os efeitos térmicos são aqueles cujas alterações são causadas pelo aquecimento do organismo e podem ser obtidos usando-se técnicas convencionais de aquecimento. Os efeitos não-térmicos são os devidos à interação direta do campo eletromagnético da radiação do organismo. Os efeitos biológicos podem ser divididos em dois grupos. O primeiro formado pelos seguintes efeitos: os efeitos nos olhos, nos testículos e os neurológicos. O segundo grupo constituído por outros efeitos biológicos sobre os quais não se tem informações muito precisas, sendo estes os efeitos genéticos, hematopoéticos, neuroendócrinos e cardiovasculares.

Já foram comprovadas, experimentalmente, alterações em organismos vivos, induzidas pelas radiações de microondas e radiofrequência. O resultado da interação entre esse tipo de radiação e os sistemas biológicos depende principalmente das propriedades dos tecidos biológicos, da frequência da densidade de potência, da radiação e das condições de exposição.

A distribuição não-uniforme da energia irradiante no corpo também influi nos efeitos induzidos por ela. Os efeitos térmicos, provocados por um aumento de temperatura, são mais facilmente detectáveis e são responsáveis por grande parte dos

efeitos biológicos descritos. Já existe a confirmação dos efeitos não-térmicos, e a possibilidade dessa interação direta ser a causa de muitas outras alterações não pode ser descartada.

Cap II

INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

1. INTRODUÇÃO

Controlar o ruído e a interferência é uma tarefa importante para a engenharia elétrica. É uma área conhecida historicamente como compatibilidade eletromagnética (CEM). A CEM é a capacidade de um sistema eletrônico funcionar corretamente na presença de ruído eletromagnético. O ruído eletromagnético pode ser dividido em ruído conduzido e ruído irradiado. O ruído conduzido é aquele que se propaga através dos cabos e das linhas de transmissão. O ruído irradiado é aquele que se propaga através do espaço livre.

2.2.1 - CAMPO ELÉTRICO

Suponha-se uma carga de prova pontual q , colocada a uma certa distância r , que seja suficientemente pequena, para se não perturbar significativamente o campo de uma carga fixa Q . O campo elétrico E devido a Q é definido como a força por unidade de carga em q a sua posição. A unidade de E é N/C ou V/m no Sistema Internacional (SI).

CAP II

INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

2.1 - INTRODUÇÃO

Controlar o ruído e a interferência é uma necessidade da engenharia moderna. É uma área conhecida fisicamente como teoria de campo, e suas aplicações têm aspectos matemáticos para soluções de determinados problemas. Neste capítulo apresenta-se alguns aspectos vinculados à teoria do campo, suas influências, e métodos de controle de EMI.

2.2 - DEFINIÇÕES BÁSICAS

2.2.1 - CAMPO ELÉTRICO [25]

Supõe-se uma carga de prova pontual e estática q' , colocada a uma certa distância r , que seja suficientemente pequena, capaz de não perturbar significativamente o campo de uma carga fixa q . O campo elétrico E devido a q , é definido como a força por unidade de carga em q' e sua unidade é Volts por metro [V/m] ou Newtons por Colomb [N/C].

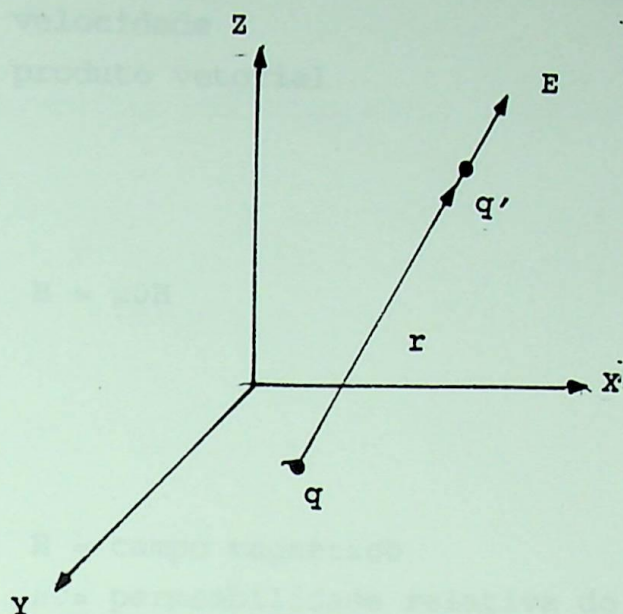


Fig 2.1 - Campo elétrico devido a uma carga pontual [25].

A expressão, para E , é dada por:

$$E = \frac{q}{(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0) \cdot r^2} \cdot r \quad (2.1)$$

2.2.2 - CAMPO MAGNÉTICO [24].

O fluxo de campo magnético B pode ser definido através das correntes que são suas fontes de circulação, ou pelo efeito produzido por uma carga em movimento. Logo existe um fluxo de campo magnético de valor B em um ponto do espaço quando, neste ponto uma carga q dotada de velocidade v , receber uma força F pela relação :

$$F = q \cdot v \times B \quad (2.2)$$

onde:

F = força

q = carga

B = densidade de fluxo magnético

v = velocidade

\times = produto vetorial

e,

$$B = \mu_0 H \quad (2.3)$$

onde:

H = campo magnético

μ_0 = permeabilidade relativa do vácuo

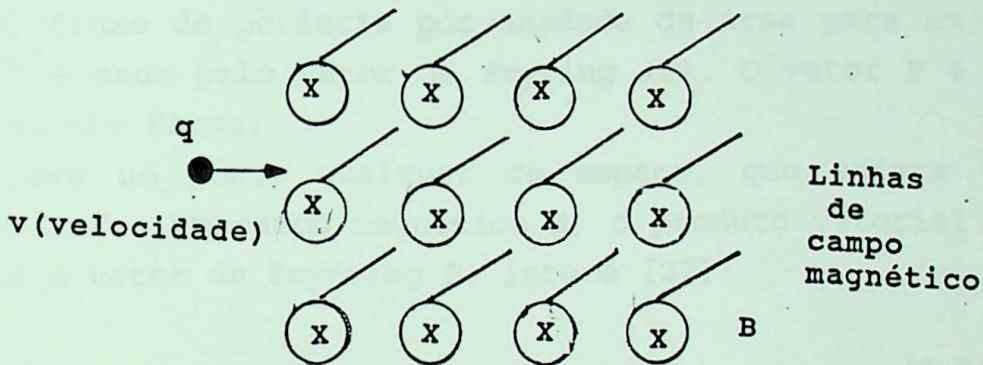


Fig 2.2 - Campo magnético.

2.2.3 - ENERGIA ARMAZENADA EM CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

A energia armazenada em um campo elétrico é dada por:

$$E_e = q.V \quad (2.4)$$

A energia armazenada em um campo magnético, é definido por uma corrente I fluindo ao longo de um condutor com indutância L , é dada pela seguinte expressão :

$$E_m = 1/2 \cdot L \cdot I \quad (2.5)$$

2.2.4 - POTENCIAL ELÉTRICO ENTRE DOIS PONTOS (DDP)

O potencial elétrico é definido como o trabalho necessário para movimentar uma carga unitária q entre dois pontos fixos e sua expressão é a seguinte:

$$V = \frac{W}{q} \quad (2.6)$$

Sua unidade é [J/C] ou [V].

2.2.5 - VETOR DE POYTING

O fluxo de potência por unidade de área para um ponto no espaço é dado pelo vetor de Poynting (P). O vetor P é definido da seguinte forma:

Para um ponto qualquer do espaço, que exista um campo elétrico E e um campo magnético H , o produto vetorial de ambos define o vetor de Poynting P , isto é [23]:

$$P = E \times H \quad (2.7)$$

Que tem direção perpendicular ao plano definido por E e H e um módulo definido por:

$$|P| = |E| \cdot |H| \cdot \text{sen}\beta \quad (2.8)$$

sendo β o ângulo entre E e H . Dimensionalmente têm-se:

E - Volts/metro [V/m]

H - Ampéres/metro [A/m]

P - Watts/metro [W/m]

A interpretação eletromagnética baseia-se em: A energia movimenta-se uma direção e num sentido coincidentes com os de P , a quantidade de energia que penetra na unidade de área

(perpendicular à direção do movimento), por unidade de tempo, é dado pelo módulo de P , isto é, P define uma "densidade de potência" [23].

As linhas de campo magnético são círculos não concêntricos e as de campo elétrico constituem segmentos de círculos ortogonais às primeiras. Estando E e H localizados ambos num mesmo plano perpendicular aos condutores, P será paralelo aos condutores e, de acordo com a regra do produto vetorial, o módulo de P , será:

$$|P| = |E| \cdot |H| \quad (2.9)$$

A figura 2.3, ilustra o vetor de Poynting

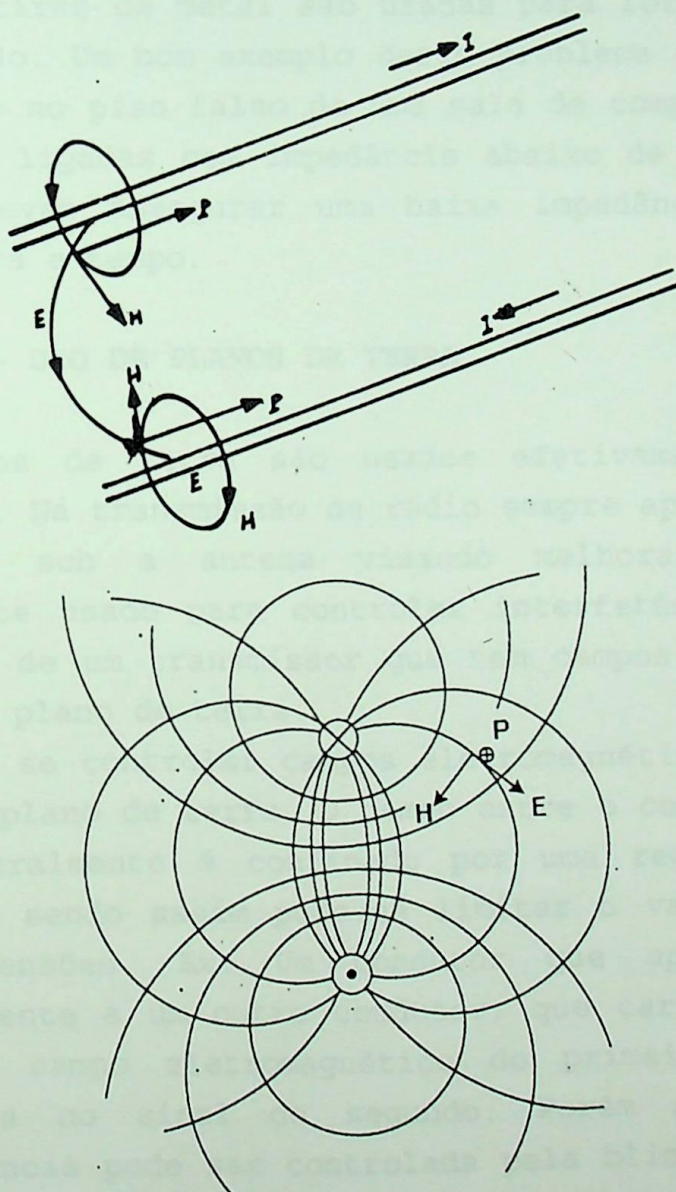


Fig 2.3 - Vetor de Poynting [32].

2.3 - PLANOS DE TERRA

Existem muitas classes de plano de terra, como por exemplo: o metal blindado em um cartão de circuito impresso, uma estrutura de metal em uma aeronave, a superfície da terra e o piso da sala de computação. Alguns planos de terra são superfícies condutoras e enquanto outros são feitos de uma grade de fitas condutoras.

Uma superfície de metal pode também ter a função de um plano de terra, ex: uma grade com espaçamento de 40 [cm] deve ser implementada para um comprimento de onda de 450 [MHz].

As tiras de metal são usadas para formar uma grade para cada junção. Um bom exemplo deste problema é a grade de tiras utilizadas no piso falso de uma sala de computadores. As tiras devem ser ligadas com impedância abaixo de 500 [$\mu\Omega$], e estas junções devem assegurar uma baixa impedância sob vibrações, temperatura e tempo.

2.4 - USO DE PLANOS DE TERRA

Planos de terra são usados efetivamente para promover radiações. Na transmissão de rádio sempre apresenta-se um plano de terra sob a antena visando melhorar seu desempenho, (geralmente usado para controlar interferência). Mas o uso é diferente de um transmissor que tem campos eletromagnéticos e não tem o plano de terra.

Para se controlar campos eletromagnéticos são necessários o uso de plano de terra. O campo entre o condutor e o plano de terra, geralmente é confinado por uma região próxima ao do condutor, sendo assim pode-se limitar o valor do campo entre suas extensões. Ex: Um condutor que apresenta um ruído, paralelamente a um outro condutor, que carrega um determinado sinal. O campo eletromagnético do primeiro gera uma certa influência no sinal do segundo. Porém a influência desta interferência pode ser controlada pela blindagem dos circuitos externos dos EES.

2.5 - MEDIDAS DE INTERFERÊNCIAS

A interferência pode ser definida como um fenômeno de campo ou como uma corrente em um condutor. As medidas destes parâmetros não são independentes, isto é, uma corrente no condutor implica necessariamente em um campo. Alterações de campo eletromagnéticos são medidas usando uma variedade de antenas incluindo malhas e dipolos, e as correntes podem ser medidas nas malhas de ligação. Geralmente dispositivos são usados na entrada da alimentação do circuito, ou com uma adição de uma série de impedâncias.

Um método para evitar radiações envolve um cabo especial condutor conhecido internacionalmente como "sniffer".

A figura 2.4 a seguir ilustra o cabo "sniffer"

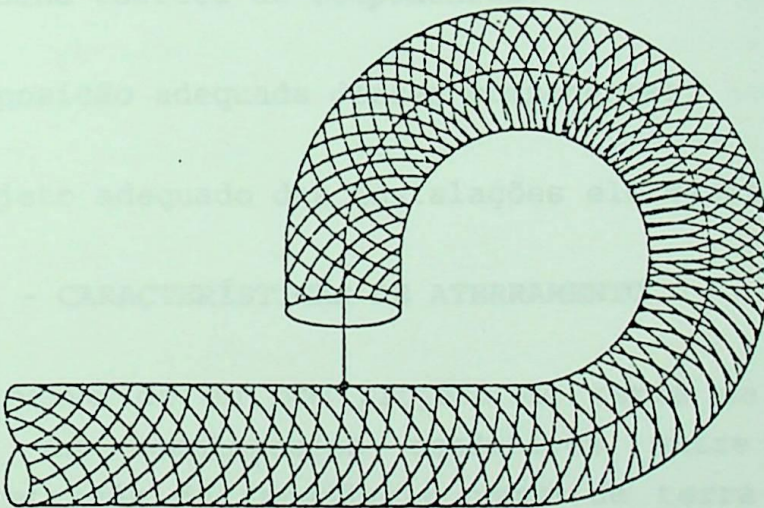


Fig 2.4 - Cabo "sniffer" [32].

A técnica do uso do cabo "sniffer" consiste em aplicar uma malha de teste na superfície do metal, então com o auxílio de um osciloscópio é possível determinar uma corrente, que é originada pelo campo magnético H , então, com isto é possível, detectar fontes de radiação.

O processo citado é um método de medição de EMI. Porém, deve-se precaver os cuidados de EMI em circuitos eletrônicos. Estes métodos de controle e prevenção de EMI, podem ser divididos em seis classes que são citados a seguir[20].

2.6 - MÉTODOS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE EMI [20]

Neste item apresenta-se de modo resumido os métodos de controle e prevenção de EMI, que podem ser divididos em seis classes, quais sejam:

- Aterramento.
- Blindagem.
- Filtragem.
- Escolha correta de componentes.
- Disposição adequada desses componentes.
- Projeto adequado das instalações elétricas

2.6.1 - CARACTERÍSTICAS DE ATERRAMENTO

O objetivo de um bom projeto de terra de sinal são as prevenções de acoplamentos condutivos entre um ou mais circuitos através da impedância comum de terra de sinal e a prevenção de malhas fechadas de terra, que são susceptíveis a campos magnéticos. Um bom terra de sinal pode ser obtido através da obediência a certos princípios básicos[20].

2.6.1.1 - TIPOS DE ATERRAMENTO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS [23]

Nas instalações elétricas são considerados dois tipos de aterramento:

- **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.

- **Aterramento de proteção** - que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando a proteção contra choques elétricos por contato indireto.

Dentro de determinadas condições pode-se ter, numa instalação, um aterramento combinado, isto é, funcional e de proteção.

2.6.1.2 - ELETRODO DE ATERRAMENTO [23]

Eletrodo de aterramento é o condutor ou conjunto de condutores enterrado(s) no solo e eletricamente ligado(s) à terra para fazer um aterramento. O termo tanto se aplica a uma simples haste enterrada, como várias hastes enterradas e interligadas.

2.6.1.3 - RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO [23]

Consideremos um eletrodo de aterramento constituído por única haste. Quando uma corrente I percorre a mesma, portanto, assumirá um potencial V_t em relação a um ponto distante de potencial zero. Define-se resistência de aterramento do eletrodo, a seguinte relação:

$$R_t = \frac{V_t}{I} \quad (2.8)$$

Os pontos do solo próximo à haste assumem potenciais intermediários entre V_t e zero; isto é, o potencial do solo

diminui ao aumentar a distância à haste até quase anular-se num ponto "suficientemente distante", como mostra a figura 2.5.

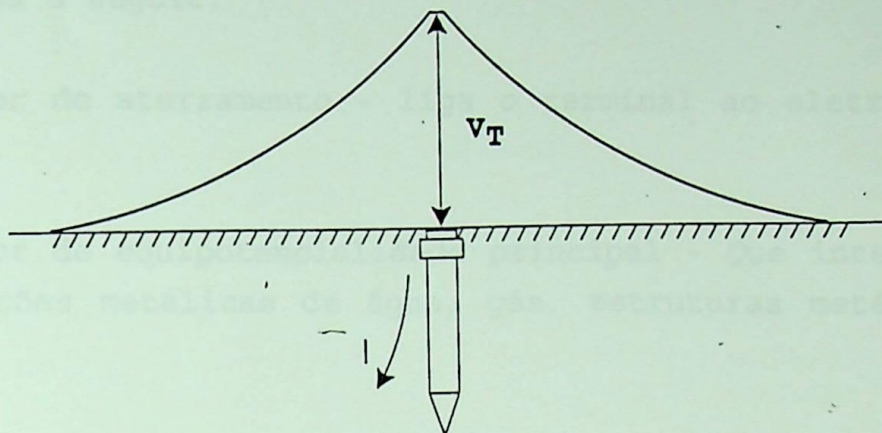


Fig 2.5 - Variação das tensões geradas pela passagem de corrente em um eletrodo de terra [23].

2.6.1.4 - COMPONENTES DO ATERRAMENTO DE PROTEÇÃO

O aterramento de proteção, de acordo com [30], é obrigatório em qualquer tipo de instalação predial, baseia-se principalmente na equipotencialidade das massas e elementos condutores estranhos à instalação. O terminal de aterramento principal, seu principal elemento, que é normalmente uma barra, que realiza a chamada ligação principal, como ilustrado na figura 2.6.

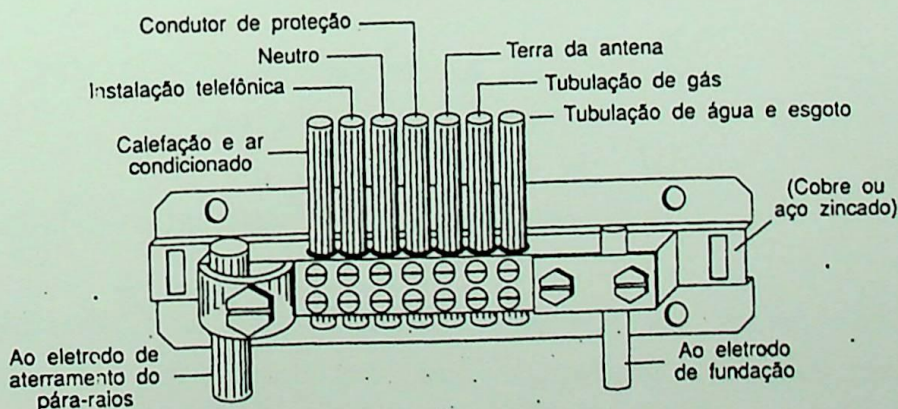


Fig 2.6 - Ligação eqüipotencial principal [23].

Os componentes de um aterramento de proteção, devem ser escolhidos e instalados de modo que possam resistir às solicitações térmicas, elétricas e mecânicas. Estes componentes são descritos a seguir:

Condutor de aterramento - liga o terminal ao eletrodo de aterramento.

Condutor de equipotencialidade principal - Que interligam as canalizações metálicas de água, gás, estruturas metálicas, etc.

Condutores de ligação de eletrodos - Normalmente usado para proteção contra descargas atmosféricas (pára-raios) e das antenas externas de aparelhos de televisão ao terminal de aterramento principal

Condutores de proteção principal - Que interligam o terminal de aterramento principal aos terminais de aterramento dos diversos quadros de distribuição da instalação.

Estes componentes estão ilustrados na figura 2.7.

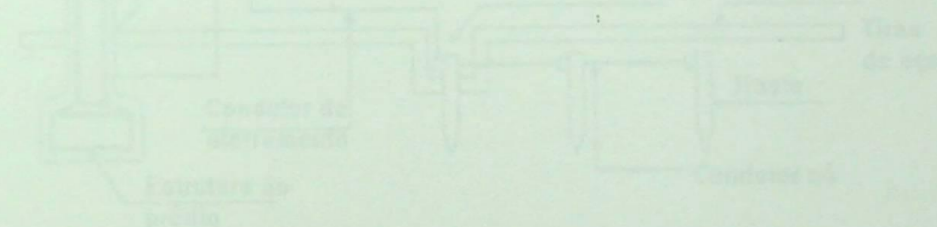


Fig. 2.7 - Componentes de um sistema de aterramento [23]

2.2.1.3 - TIPOLOGIA DE ATERRAMENTO [23]

De acordo com [23], as instalações de baixa tensão devem obedecer ao que se refere ao aterramento funcional e de proteção, a três esquemas de aterramento básicos. Estes esquemas são classificados de acordo com o tipo de aterramento de proteção e o tipo de aterramento funcional.

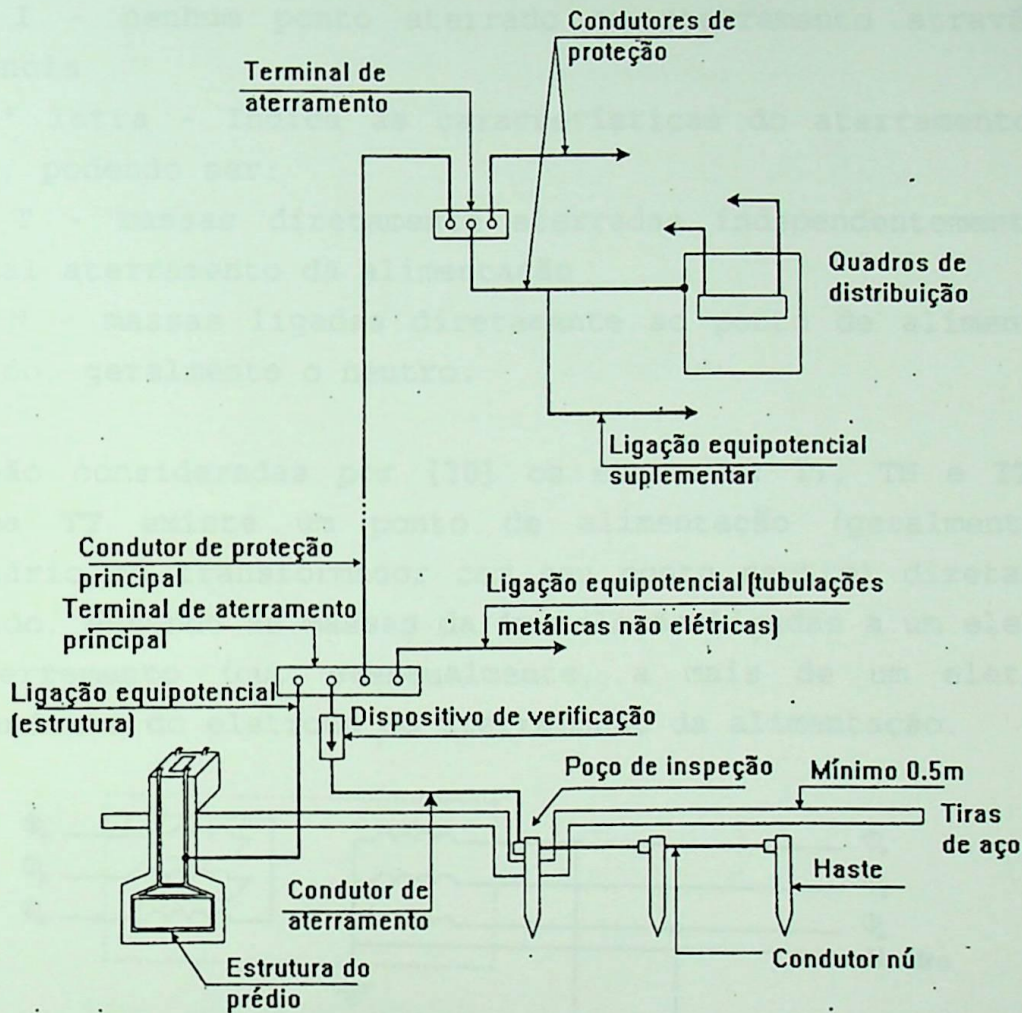


Fig 2.7- Componentes de um sistema de aterramento [23].

2.6.1.5 - ESQUEMAS DE ATERRAMENTO [23]

De acordo com [30], as instalações de baixa tensão devem obedecer, no que concerne aos aterramento funcional e de proteção, a três esquemas de aterramentos básicos. Tais esquemas são classificados em função do aterramento da fonte de

alimentação da instalação (transformador, no caso mais comum, ou gerador) e das massas, sendo designados por uma simbologia que utiliza duas letras fundamentais:

1ª letra - indica a situação da alimentação em relação à terra, podendo ser:

T - um ponto diretamente aterrado

I - nenhum ponto aterrado ou aterramento através de impedância

2ª letra - Indica as características do aterramento das massas, podendo ser:

T - massas diretamente aterradas independentemente do eventual aterramento da alimentação

N - massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, geralmente o neutro.

São consideradas por [30] os esquemas: TT, TN e IT. No esquema TT existe um ponto de alimentação (geralmente, o secundário do transformador com seu ponto neutro) diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento (ou, eventualmente, a mais de um eletrodo) independente do eletrodo de aterramento da alimentação.

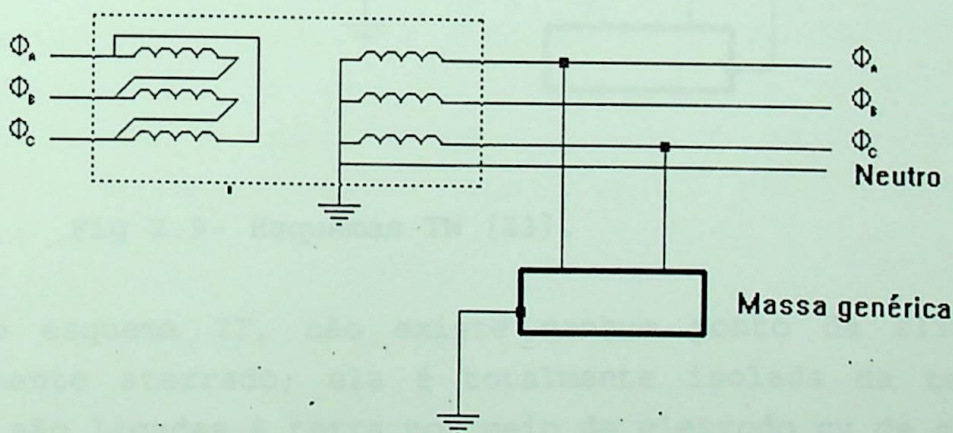


Fig 2.8- Esquema TT [23].

No esquema TN existe também um ponto de alimentação (via de regra, o secundário do transformador com seu neutro) diretamente aterrado, sendo as massas da instalação ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. Os esquemas

poderão ser do tipo TN-S, quando as funções de neutro e de proteção forem asseguradas por condutores distintos (N e PE), ou TN-C, quando essas funções forem asseguradas pelo mesmo condutor (PEN).

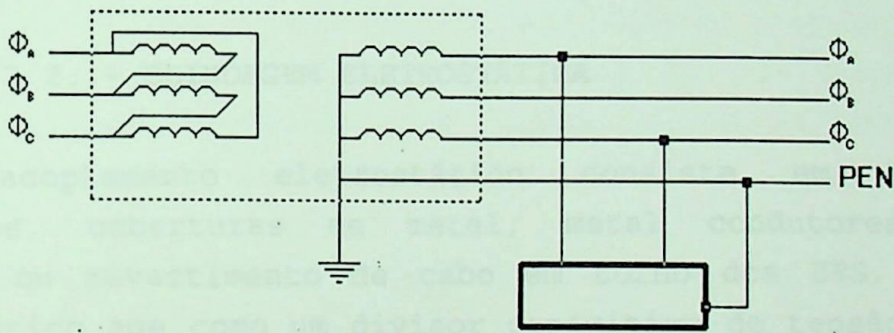
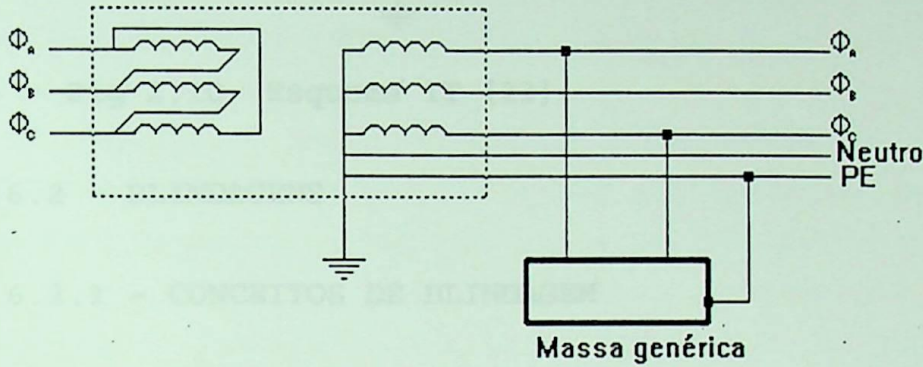


Fig 2.9- Esquemas TN [23].

No esquema IT, não existe nenhum ponto da alimentação diretamente aterrado; ela é totalmente isolada da terra. As massas são ligadas à terra por meio de eletrodo ou de eletrodos de aterramentos próprios.

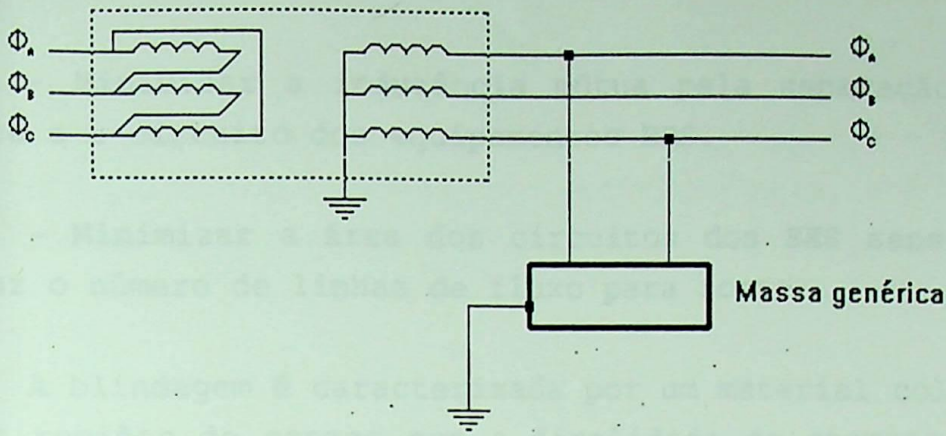


Fig 2.10- Esquema IT [23].

2.6.2 - BLINDAGENS

2.6.2.1 - CONCEITOS DE BLINDAGEM

O objetivo da blindagem eletrostática e eletromagnética é a redução ou eliminação da incidência de campos eletromagnéticos (ou elétricos), nos EES.

3.6.2.2. - BLINDAGEM ELETROSTÁTICA

O acoplamento eletrostático consiste em barreiras condutivas, coberturas de metal, metal condutores, cabos cobertos ou revestimento de cabo em torno dos EES. O campo eletrostático age como um divisor capacitivo de tensão entre a fonte e o circuitos dos EES. O uso de transformador de isolação blindado, é uma excelente opção, para solucionar a blindagem eletrostática.

3.6.2.3 - BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA

A blindagem eletromagnética também é constituída de esquemas como barreiras condutoras aterradas de alta frequência, cobertura do metal, e cabos do EES.

O objetivo da blindagem eletromagnética é minimizar o fluxo magnético no acoplamento da indutância mútua da alimentação para o EES. A blindagem eletromagnética deve:

- Minimizar a indutância mútua pela separação física da fonte e o circuito dos equipamentos EES.

- Minimizar a área dos circuitos dos EES sensível, pois reduz o número de linhas de fluxo para fonte.

A blindagem é caracterizada por um material colocado entre duas regiões do espaço com a finalidade de atenuar a radiação eletromagnética entre elas.

A eficiência de uma blindagem é a soma das perdas por absorção, por reflexão e por reflexões múltiplas no interior da placa de blindagem. A perda por absorção é a mesma para todos tipos de campos, tanto elétricos quanto magnéticos. A perda por reflexão é dependente do campo incidente, assim como a perda de reflexões múltiplas.

A eficiência prática de uma blindagem é afetada por uma multidão de outros fatores, como a presença de aberturas e juntas, que causam a redução da eficiência calculada. Essa redução é maior para campos magnéticos do que para campos elétricos e depende da dimensão linear máxima da abertura ou junta, da impedância da onda e da frequência do campo.

2.6.3 - FILTRAGEM

A filtragem visa a atenuação de ruído conduzido entre duas ou mais partes do equipamento, subsistema ou sistemas.

2.6.3.1 - FILTROS PASSIVOS

Para melhor proteger os EES com problemas de EMI, é necessário a colocação de filtros passivos LC, nas linhas de transmissão. A linha de transmissão de dados pode ser descrita como um rede elétrica de parâmetros distribuídos. Uma linha de transmissão de dados geralmente é do tipo coaxial. Pode-se definir circuito de uma linha de transmissão pelas grandezas R, L, C e G (condutância). Desde, de que cada condutor tem um certo comprimento e diâmetro, logo tem uma resistência e

indutância. Os condutores são dois fios paralelos, logo existe uma capacitância entre eles. Os fios são separados internamente por um dielétrico, que existem perdas no mesmo e é representado por uma condutância. Como ilustrado na figura 2.11.

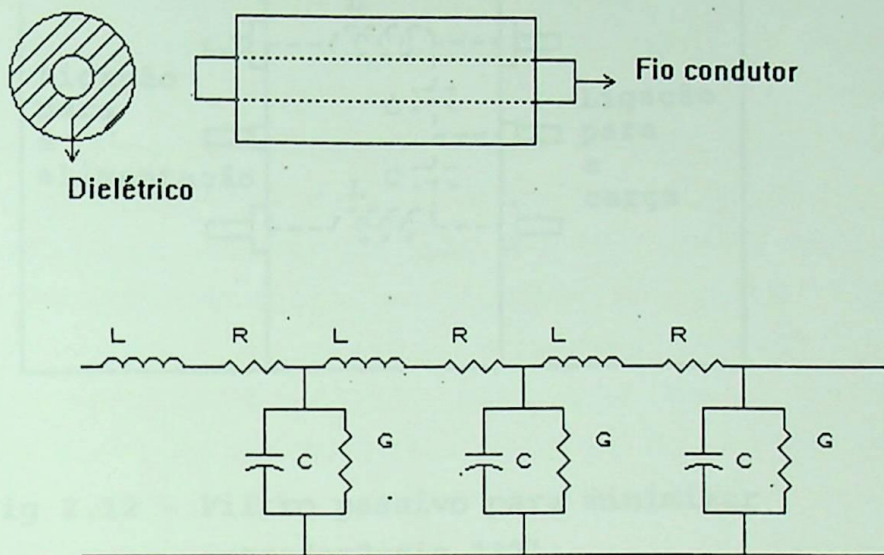


Fig 2.11 - Circuito equivalente de uma linha de transmissão [26].

Todo condutor pode transportar energia eletromagnética para os circuitos condutores. Portanto fica sendo difícil controlar problemas de interferências. Um método para amenizar este problema é a utilização é o filtro passivo LC, que é uma rede de capacitores e indutores projetados para prevenir qualquer atenuação em uma baixa frequência.

A figura 2.12, ilustra um módulo de filtro que deve ser colocado na alimentação dos EES.

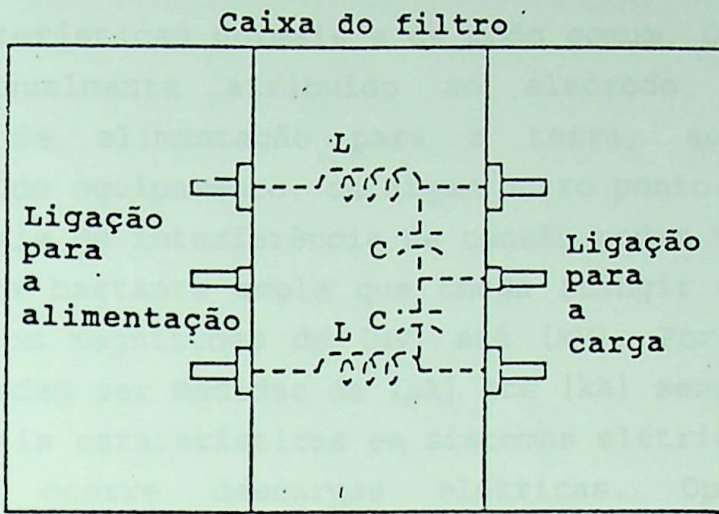


Fig 2.12 - Filtro passivo para minimizar interferência [32].

2.6.3.2 - LOCALIZAÇÃO DO FILTRO DE ALIMENTAÇÃO

Filtros de alimentação são instalados ao longo do cabo de alimentação juntamente com o conduíte, conforme esta ilustrado na figura 2.13.

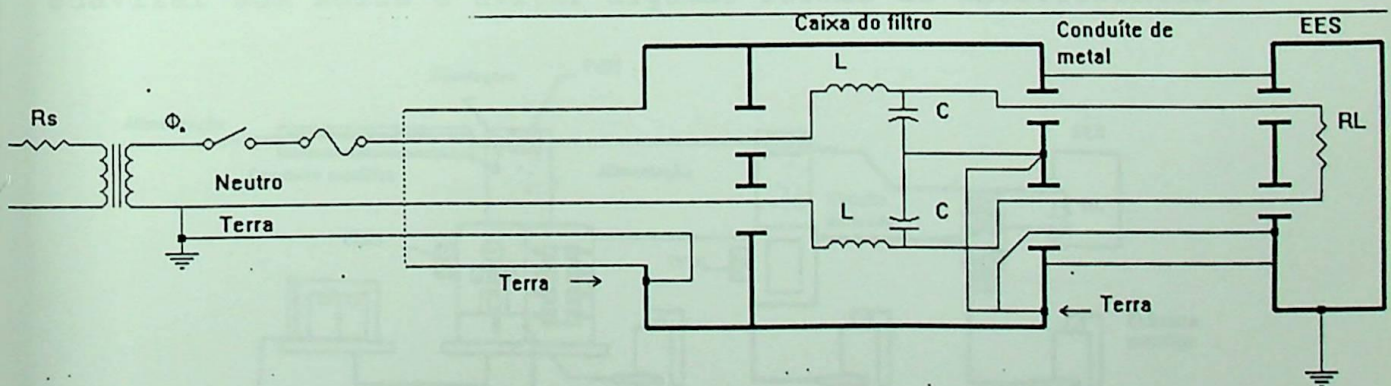


Fig 2.13 - Tipo de filtro através da linha [32].

2.6.3.3 - MODOS DE INTERFERÊNCIA

A interferência ou ruído nas linhas de alimentação pode ser de características normais e de modo comum. O ruído de modo comum é usualmente atribuído ao eletrodo que apresenta condutores de alimentação para o terra, ao condutor de aterramento do equipamento, ou algum outro ponto de referência.

Os sinais de interferência de tensão podem ter frequências em uma faixa bastante ampla que chega a atingir desde de [kHz] até [GHz] com magnitudes de [mV] até [kV]. Por outro lado as correntes podem ser medidas de [μ A] até [kA] sendo para a faixa de [kA] é mais características em sistemas elétricos de potência ou quando ocorre descargas elétricas. Operações como: chaveamento, partida de motor, etc, geralmente modificam a amplitude do sinal de alimentação, gerando diferentes formas de ruído; sendo o mais crítico, o de modo comum [32].

2.6.3.4 - MODO DIFERENCIAL DE FILTRAGEM

Os TVSS são dispositivos que devem ser conectados na proteção de circuitos AC, sendo geralmente recomendados para serem conectados em todas as combinações, tais como: fase para fase, fase para neutro. Estes dispositivos (TVSS) podem filtrar sinais de modo comum com as respectivas saídas convencionais e suavizar sua saída e evitar algumas formas de interferência.

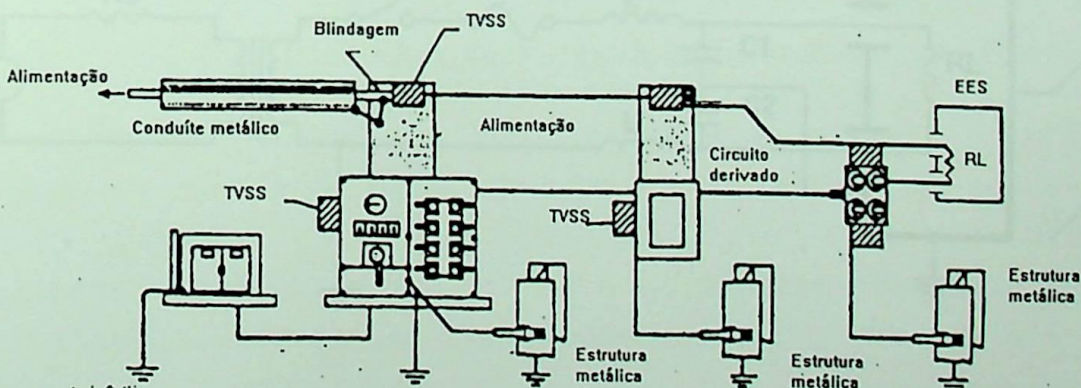


Fig 2.14 - Uso do TVSS em uma ligação de EES [31].

2.6.3.5 - CORRENTE DE TERRA DE EQUIPAMENTOS PARA ALTAS FREQUÊNCIAS

Um filtro de linha colocado entre o condutor de alimentação e o condutor de aterramento do equipamento fornece uma carga reativa no sistema de alimentação. A norma NEC [14] não limita o fluxo de corrente reativa no equipamento, fornecendo um aterramento permanente através do condutor de aterramento do equipamento. Porém o problema para a segurança humana ocorre quando a conexão de condutor de aterramento é violada ou não está presente. Os capacitores de filtro de linha formam um divisor de tensão entre a cobertura e o terra, incrementando o risco de choque com o tamanho do capacitor usados no filtros. Um circuito ilustrando o risco do choque é mostrado na figura 2.15. Se os capacitores $C1$ e $C2$ são equivalentes a diferença de potencial é de 60 [V]. Os capacitores são de 0.1 [μ F] e o fluxo de corrente reativa é em torno de 2 [mA], porém o limite para esta corrente é de 0.5 [mA].

Por causa da necessidade de aterramento, a NEC [14] acha que é necessário limitar o fluxo de corrente em capacitores dos filtros dos EES. Mas, o risco de choque aumenta com o tamanho do capacitor acima da especificação do qual é definido.

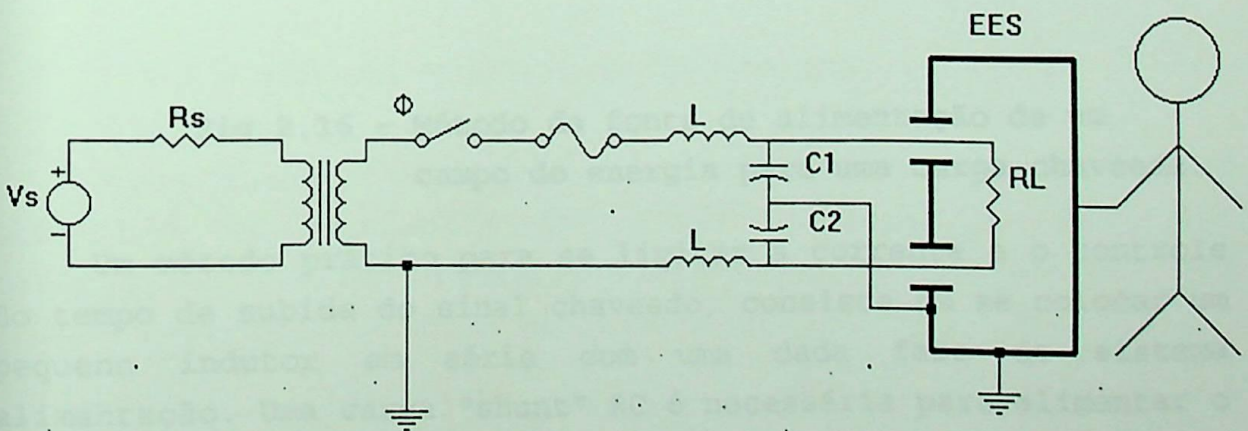


Fig 2.15 - Riscos de choque causados por filtros de linhas

2.6.3.6 - CONTROLE DE EMISSÃO CONDUTIVA PARA FREQUÊNCIAS DE POTÊNCIAS

Pontes retificadoras controladas (chaveadas por transistores retificadores, TRIAC, SCR, etc) são submetidos à cargas chaveadas, estes podem sofrer interferências de modo a danificar a operação.

Para ligações, o eletrodo de aterramento para equipamento, é então desejável fazer uma ligação da fonte com a seguinte característica no condutor de aterramento (figura 2.16).

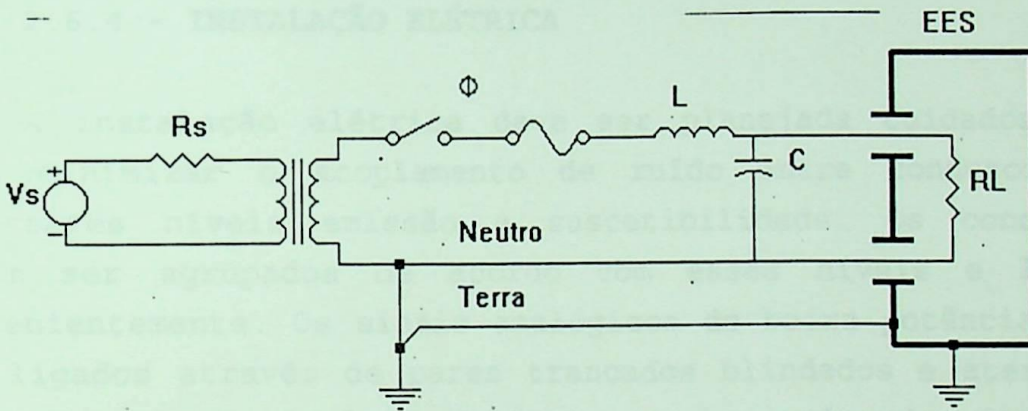


Fig 2.16 - Método da fonte de alimentação de um campo de energia para uma carga chaveada.

Um método prático para se limitar a corrente e o controle do tempo de subida do sinal chaveado, consiste em se colocar um pequeno indutor em série com uma dada fase do sistema alimentação. Uma carga "shunt" RC é necessária para alimentar o retificador dentro de uma baixa impedância como mostra a figura 2.17.

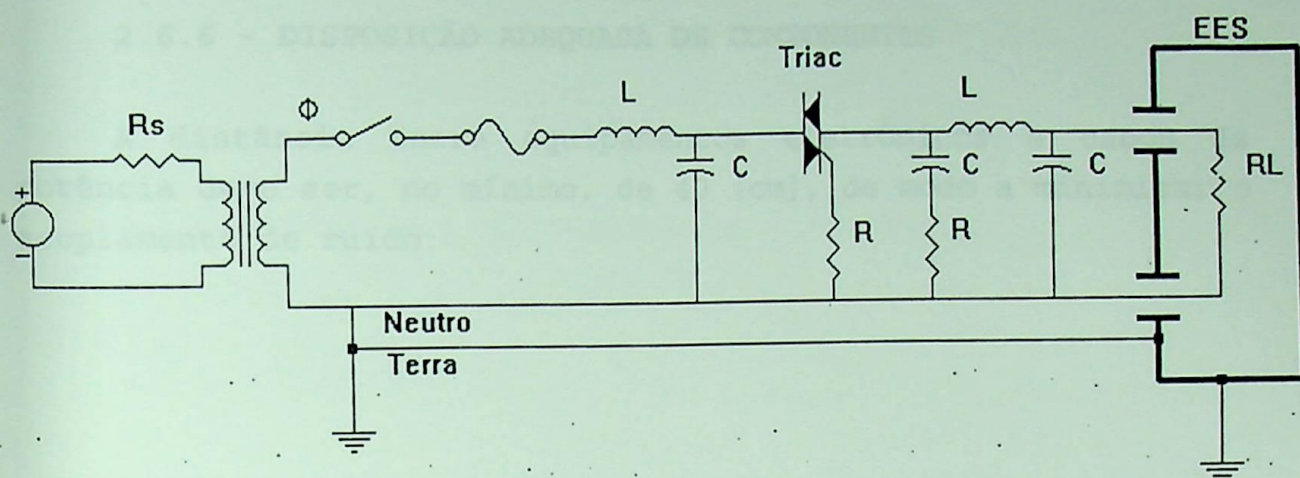


Fig 2.17 - Um filtro para uso com cargas retificadoras controladas [32].

2.6.4 - INSTALAÇÃO ELÉTRICA

A instalação elétrica deve ser planejada cuidadosamente para minimizar o acoplamento de ruído entre condutores de diferentes níveis emissão e suscetibilidade. Os condutores devem ser agrupados de acordo com esses níveis e ligados convenientemente. Os sinais analógicos de baixa potência devem ser ligados através de pares trançados blindados e aterrados, além de existir isolação elétrica entre cada circuito e um único circuito em cada eletrodo.

2.6.5 - ESCOLHA ADEQUADA DE COMPONENTES

A escolha e o uso corretos de componentes contribuem para prevenção da ocorrência de muitos problemas de EMI. Por exemplo, o uso em circuitos eletrônicos de capacitores com baixas resistências série minimiza a geração EMI.

2.6.6 - DISPOSIÇÃO ADEQUADA DE COMPONENTES

A distância entre equipamentos eletrônicos e cabos de potência deve ser, no mínimo, de 40 [cm], de modo a minimizar o acoplamento de ruído.

CAP III

ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS SENSÍVEIS

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo verifica-se métodos de aterramento de EES, como um dos itens importante para se obter operação eficientes destes sistemas.

3.2 - PERTURBAÇÕES NAS CARGAS ELÉTRICAS

A eletrônica de potência embora usada em grande escala, apresenta obstáculos sob o ponto de vista da qualidade da energia elétrica. Os dispositivos de potência tais como: SCR, TRIAC, GTO, IGBT, etc, são bastante utilizados nos sistemas de inversão e retificação. Por outro lado, a operação normal de tais equipamentos fica a desejar no que se refere a harmônicos de corrente e tensões geradas.

3.3 - QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Qualidade de energia elétrica é um critério usado para medir a qualidade de potência com níveis aceitáveis de perturbações. Sistemas elétricos de potência operam com uma tensão com valor eficaz (RMS) praticamente constante, alimentando uma variedade de equipamentos de energia, que, é gerada, transportada e distribuída. A transmissão é feita em altas tensões, o que deve exigir um transporte eficiente e econômico da energia e a utilização final é em 127 [V], normalmente, nos sistemas residenciais e acima para os industriais, sendo que nestes casos é comum o uso até

13,8 [kV]. Porém estas transmissões estão sujeitas a certos tipos de distúrbios que são descritos a seguir.

3.3.1 - ORIGEM DOS DISTÚRBIOS

Os distúrbios em uma rede elétrica são originados tanto internamente como externamente ao sistema em operação. Os distúrbios podem ser descritos como: descargas elétricas, chaveamento de carga, faltas no sistema e cargas não lineares. O mecanismo envolvendo o distúrbio (perturbação) geralmente determina quando a ocorrência pode ser aleatória ou permanente. A tendência geral dos usuários é atribuir os problemas de distúrbios às empresas fornecedoras de energia elétrica, porém existem muitas outras fontes de distúrbios. Geralmente as fontes de distúrbios ou erros do sistema são atribuídas e associadas com a alimentação do sistema, tais como: descargas eletrostáticas, cabos, EMI, diferença de potencial entre neutro e terra e até erro do operador. A figura 3.1 a seguir ilustra os modelos de interferência.

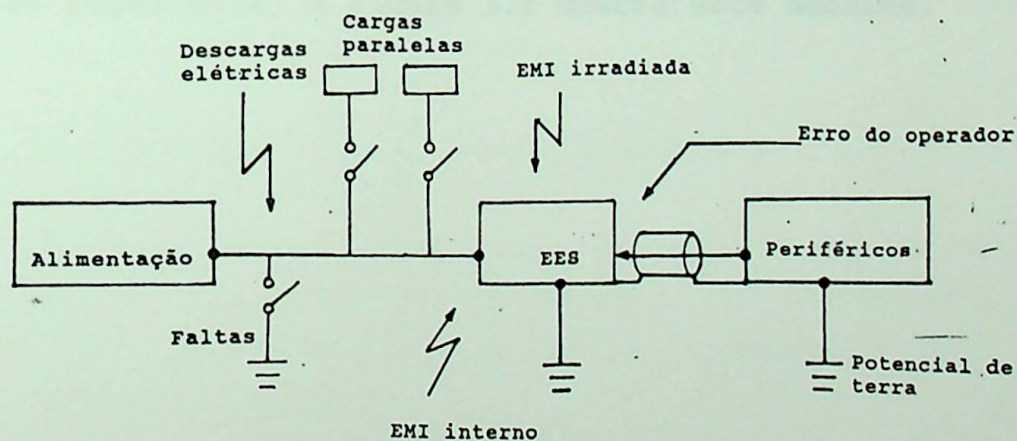


Fig 3.1 - Exemplos de fonte de interferência
Fontes de distúrbios

Alguns distúrbios ocorrem de forma aleatória não sendo previsíveis para uma dada situação, e quanto a sua ocorrência devem ser avaliados com auxílio de informações estatísticas [31].

3.3.2 - PROTEÇÃO CONTRA DISTÚRBIOS

O conceito de proteção implica em um confronto com um ambiente sujeito a EMI e a susceptibilidade do equipamento. A proteção do equipamento contra ambiente sujeito a EMI é uma meta da tecnologia da compatibilidade eletromagnética. A discussão da necessidade para a proteção, no entanto, se faz em dois aspectos:

- Caracterização do ambiente.
- Caracterização da susceptibilidade do equipamento.

O nível de susceptibilidade do equipamento, contudo é um assunto bastante vinculado à divulgação da informação pelos fabricantes do mesmo. No entanto, o processo consensual tem produzido um gráfico dos níveis típicos de susceptibilidade, e níveis de tolerância. A figura 3.2 mostra este detalhe.

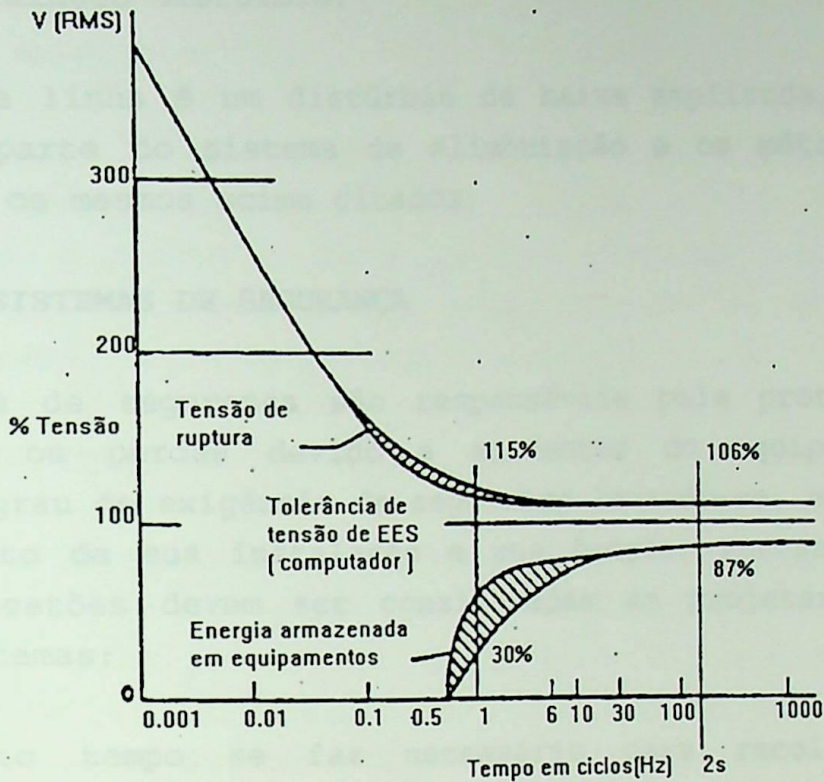


Fig 3.2 - Magnitude da tensão em relação a duração do distúrbio [31].

O gráfico enfatiza a magnitude da tensão com a correspondente duração do distúrbio.

3.3.3 - PROTEÇÃO FONTES IMPULSOS E RUÍDOS

Impulsos e ruídos originados por tensão causam muitos defeitos em equipamentos e até mesmo a sua destruição. Uma proteção anti-distúrbios e ruídos no equipamento pode ser conseguida de três maneiras:

- Eliminação das causas do impulsos.

- Construção de equipamento imune para algum nível de impulso.

- Procurando fabricantes que forneçam garantia operacional para um determinado distúrbio.

Ruído de linha é um distúrbio de baixa amplitude, sendo normalmente parte do sistema de alimentação e os métodos de proteção são os mesmos acima citados.

3.4 - SISTEMAS DE SEGURANÇA

Sistemas de segurança são responsáveis pela proteção à vida, danos ou perdas devido a acidentes do equipamento. Define-se o grau de exigência de segurança levando-se em conta o conhecimento da sua instalação e sua função. Portanto as seguintes questões devem ser consideradas ao projetar estes tipos de sistemas:

- Quanto tempo se faz necessário para recolocar o equipamento em operação e qual o custo?

- O equipamento terá o mesmo desempenho independente do local de operação ?

- A perda de um componente importante do equipamento poderá resultar na interrupção da operação?

Sistemas de seguranças podem ser simples (operação manual em condição de emergência) ou complexos. À medida que a complexidade dos sistemas aumenta, a probabilidade do sistema falhar fica mais elevada. Estes sistemas incluem as seguintes funções:

- Proteção contra fogo.

- Controle ambiental.

- Segurança.

- Emergência de descarga.
- Extintor de incêndio.

A segurança do sistema é única para cada instalação e exige um projeto adequado o qual deverá ser mantido ou modificado com o mínimo de gasto. Os distúrbios na alimentação do sistema de segurança podem causar parada do mesmo e, conseqüentemente, falha no sistema de proteção.

3.5 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

São classificados em equipamentos que incorporam pelo menos duas partes: uma porta de dados (entrada e saída de sinais) e uma outra porta para alimentação. A porta de dados pode ser ligada à rede pública de telefonia, em um terminal dedicado, barramento de comunicação ou EES.

O circuito de dados é sempre aterrado através de uma ligação de baixa impedância para o terra do equipamento (chassis) e alguns destes sistemas usam terra de referência. Os outros usam pares balanceados que devem ter a sua própria referência.

No entanto para a alta frequência associada com distúrbios, todas as partes dos circuitos são acoplados capacitivamente para o terra, e acoplados indutivamente para circuitos adjacentes. O ruído, as vezes, pode ser injetado pelos circuitos de dados, pelo terra do sistema de alimentação, corrente de falta, interferência eletromagnética, descargas elétricas e outros fatores.

As soluções para problemas de ruído propostos pelos especialistas são algumas vezes modificadas em relação aos requisitos em função da exigência do aterramento, de acordo com os seguintes pontos de vista:

- Faltas do sistema de potência.
- Proteção dos circuitos devido descargas atmosféricas.

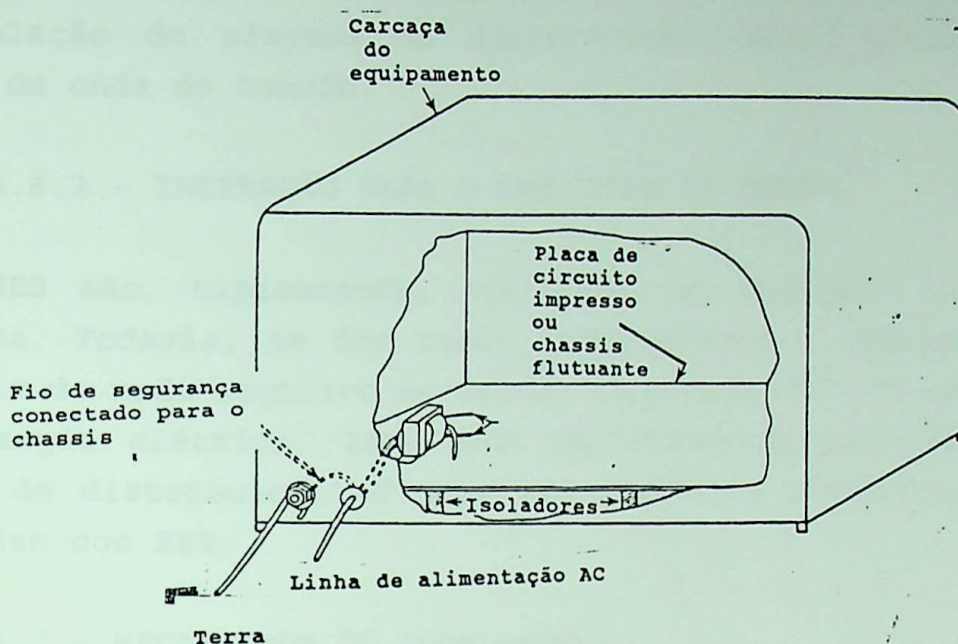


Fig 3.3 - Aterramento em equipamentos de baixa frequência [11].

3.6 - INTERAÇÃO ENTRE A REDE DE SUPRIMENTO DE ENERGIA E CARGA

Interações entre EES, suas alimentações, e seu ambiente de operação resultam em um transitório ou distorção estável na forma de onda do sistema de alimentação.

3.6.1 - CARACTERÍSTICAS DOS TRANSITÓRIOS DA REDE DE SUPRIMENTO DE ENERGIA

Considera-se distúrbio na forma de onda de tensão, o conjunto de variações de tensão nos circuitos em questão. Estes distúrbios são:

- Forma de onda não senoidal para a frequência industrial da fonte de alimentação do EES.

- A interação entre a fonte de alimentação e carga com a instalação do sistema de distribuição, geram distúrbios na forma de onda de tensão.

3.6.2 - INTERAÇÃO PARA O REGULADOR DE TENSÃO

EES são, tipicamente, equipados com regulador de tensão interna. Todavia, se for usado indevidamente o regulador pode influir de modo negativo na tensão alternada (AC) de suprimento de energia elétrica. Isto pode amplificar as perturbações na linha de distribuição AC para uma oscilação descontrolada nas entradas dos EES.

3.7 - MECANISMOS DE ACOPLAMENTO

Mecanismos de ligação para um impulso de curta duração são classificados em : espaço livre e campo distante.

3.7.1 - ACOPLAMENTO DE ESPAÇO LIVRE

Ligações podem ser divididas em duas medidas:

Campo próximo - Acoplamento em campo próximo de energia envolve condutores que estão eletricamente próximos a cargas indutivas e capacitivas.

Campo distante - Acoplamento campo distante de energia envolve radiações de ondas electromagnéticas e caracteriza-se por dois tipos: indutiva e capacitiva.

3.7.2 - INTERAÇÃO ENTRE CABOS SUBTERRÂNEOS

Análises e medidas em cabos subterrâneo ([31]), indicam que transitórios de tensão induzida são funções dos parâmetros tais como: profundidade, blindagem, material isolante, profundidade do cabo e resistividade do solo, etc.

A resistividade do solo é importante na determinação de impulsos originados por descargas atmosféricas[31].

3.7.3 - IMPACTOS DE POTÊNCIA

Dependendo da severidade do impulso e da susceptibilidade do EES podem existir vários tipos de ocorrências, tais como:

- Destruição dos dados: Os sinais digitais são suceptíveis à interferência do impulso: por condução, indução, acoplamento capacitivo e radiação eletromagnética. Este sinal tem as seguintes características um nível "alto" e um nível "baixo", que são sujeitos a interferência de ruídos.

- Danos de circuito eletrônico: Uma simples descarga elétrica, freqüentemente, contribui para uma falha dos dispositivos eletrônicos. Então, uma gradual exposição significativa a impulsos, pode ocasionar uma deterioração nos sistemas eletrônicos.

3.8 - SISTEMAS DE ATERRAMENTO

EES devem ser compactamente aterrados, isto é, conectados diretamente com a terra, como é exigido por normas cabíveis ([31], e [14]). O projeto de sistemas de aterramento de EES pode ser dividido em três subsistemas:

- subsistema de proteção pessoal/falta.
- subsistema de proteção devido às descargas atmosféricas.
- subsistema de referencial do sinal.

Estes subsistemas funcionais são compactamente interconectados para um subsistema com um respectivo eletrodo de terra.

3.8.1 - SUBSISTEMA COM ELETRODO DE TERRA

Este subsistema estabelece a referência de terra para uma descarga elétrica e risco de choque. O processo de transporte do sinal e o sinal interno do equipamento não são beneficiados por este sistema, sendo que nenhuma conexão é normalmente feita para o ponto de segurança NEC [15]. Os critérios para projetos específicos de subsistemas de eletrodo de terra são fornecidos pela NEC [15].

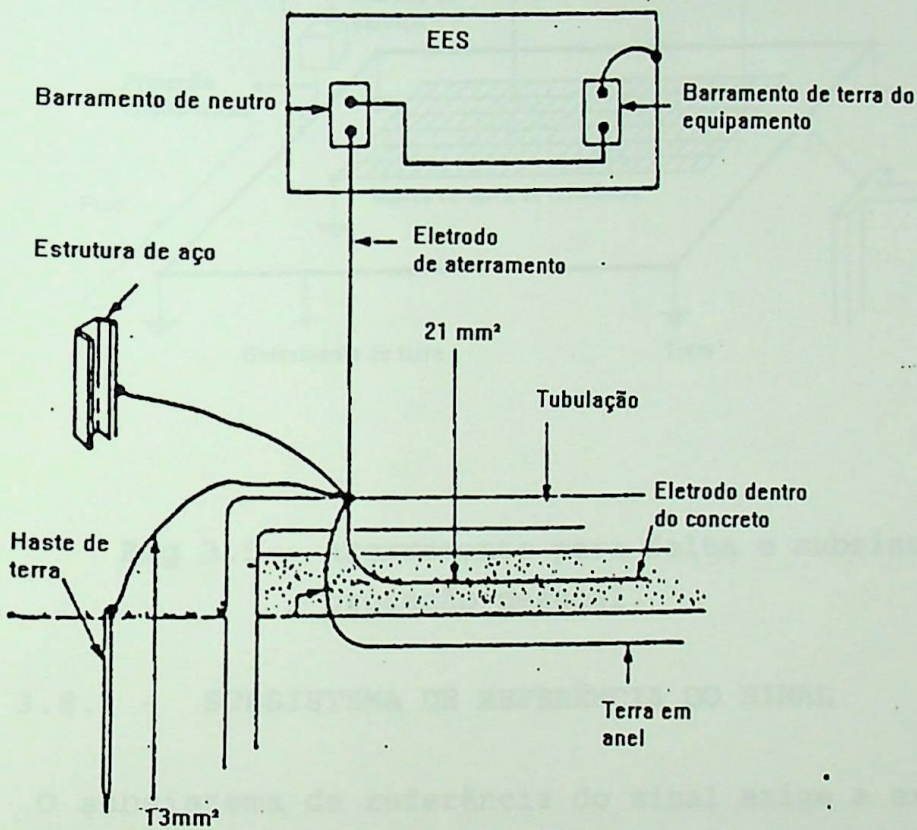


Fig 3.4 - Eletrodos de terra [14].

3.8.2 - ATERRAMENTO PARA SUBSISTEMA DE PROTEÇÃO PESSOAL OU FALTA

Este subsistema é conhecido ([31]) como sistema de aterramento de equipamento e sua finalidade é a segurança. A figura 3.5 a seguir, mostra a configuração do subsistema citado.

O sistema de aterramento de proteção pessoal ou contra falta é empregado ao longo dos condutores de aterramento; onde as altas frequências estão presentes e exibem alta impedância nos alcances de frequências de interesses.

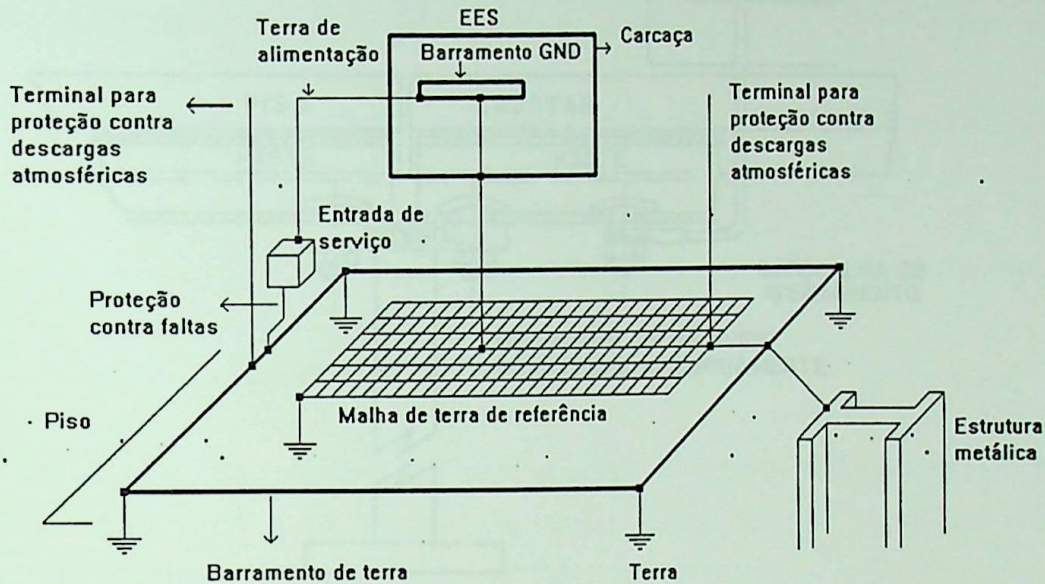


Fig 3.5 - Aterramento para falta e subsistema de proteção pessoal.

3.8.3 - SUBSISTEMA DE REFERÊNCIA DO SINAL

O subsistema de referência do sinal exige a existência de uma estrutura que consegue ser aplicada no plano equipotencial de terra através de uma frequência de ajuste, conforme mostrado na figura 3.6. Esta estrutura de plano de terra consegue baixas impedâncias através de medidas de frequências pela alocação de circuitos conectados.



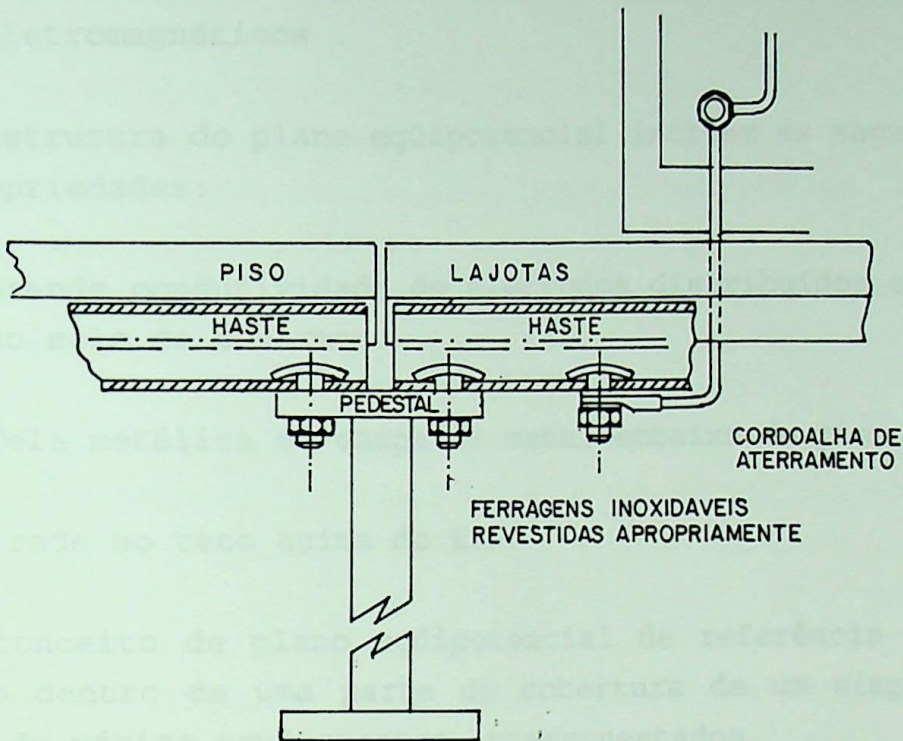


Fig 3.6 - Subsistema de aterramento de referência do sinal [33].

3.8.4 - PLANO EQÜIPOTENCIAL

Consiste de diversos elementos de material condutivo que ao serem conectados, fornecem uma baixa impedância para o fluxo de corrente para faixa de frequência de 0 [DC] a [kHz]. As vantagens do plano eqüipotencial são [31]:

- Baixa impedância no retorno para correntes de circuitos de RF.
- Eliminação (minimização) de campos eletromagnéticos (ruídos) entre suas fontes (cabos, etc) e o plano.

- Blindagem dos EES adjacentes ou equipamentos.
- Uma melhor filtragem devido ao efeito dos campos eletromagnéticos .

A estrutura do plano eqüipotencial incluem as seguintes propriedades:

- Grande condutividade de eletrodos distribuídos ou presos no solo de concreto.
- Tela metálica ou chapa de metal embaixo do piso falso.
- Grade no teto acima do EES.

O conceito de plano eqüipotencial de referência pode ser aplicado dentro de uma parte da cobertura de um simples EES, através de vários equipamentos interconectados.

3.8.5 - SUBSISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

O solo é um ponto terminal natural para descargas atmosféricas e, dada suas características possui meios de prover uma difusão segura das correntes e elas associadas pelos condutores do sistema de aterramento.

A norma [14], não estabelece limites de impedância para valores particulares de corrente de descargas atmosféricas, no entanto, aconselha-se, para redução do perigo a elas associados que se use um número maior de condutores de aterramento dentro da própria instalação.

3.9 - INSTRUMENTAÇÃO

3.9.1 - LIGAÇÕES E ATERRAMENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Os problemas ocorridos em sistemas industriais ou comerciais podem ter origem em conexões mal feitas (mal contato) e no aterramento. O grande número de (fiação) ligações são encontrados na alimentação e em particular em circuitos derivados. Os seguintes passos são recomendações práticas para um estudo do sistema de distribuição:

- Fazer uma verificação da fiação das fases da tensão, corrente, sequência de fase, balanço de carga, impedância de neutro, e a presença da ligação terra-neutro para equipamentos de serviço.

- Testes de erro de ligação, verificando os seguintes itens: falta de conexões entre condutores de terra, condutores de fase e condutores de neutro.

- Teste para conexões impróprias, identificando a péssima qualidade das conexões através da continuidade, tensão e medida de impedâncias.

- Inspeção da medida adequada da corrente eficaz [RMS] para neutro e o condutor de fase.

3.9.2 - CASOS PRÁTICOS DE ATERRAMENTO E ALIMENTAÇÃO DE EES [31]

PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA [31]

Muitas redes elétricas estão localizadas em áreas onde as descargas elétricas ocorrem com frequência. Estas tempestades causam principalmente faltas de terra nas linhas de transmissão e distribuição. Conseqüentemente, os aparelhos elétricos

ligados à linha entram em pane. Alguns dos principais problemas são citados abaixo:

- Arcos de tensão atribuídos às faltas da distribuidora de energia elétrica.

- Impulsos de tensão causados pela variação do fator de potência, pois usuários freqüentemente subtraem ou adicionam capacitância no seu sistema de transmissão para conseguir níveis de tensão desejáveis.

- Impulsos gerados por chaveamento.

- Cargas eletrônicas que são caracterizados pela geração de harmônicos de correntes. Estes circulam dentro do sistema de distribuição contribuindo para o aumento das perdas internas do sistema e causando distorção na forma de onda de tensão. Casos típicos são: sistemas no break (entrada e saída não filtrada) e automações de escritórios.

- Interação entre os fatores de potência (capacitores, reguladores de tensão e cargas eletrônicas), que podem causar falhas devido a utilização de bancos de capacitores como protetores de sobrecorrente.

- Descontinuidade do terra, normalmente, ocasionando problemas típicos de radiação EMI.

3.10 - DISPOSITIVOS DE MELHORIA DE ALIMENTAÇÃO

Existem vários tipos de dispositivos que tendem a melhorar a qualidade e a confiabilidade exigidas na alimentação dos EES. As principais funções destes dispositivos são a eliminação de ruído, estabilização da tensão e frequência.

3.10.1 - TRANSFORMADOR DE ISOLAÇÃO

Função - Atenuador de perturbações de modo comum nos condutores de alimentação.

Descrição - transformadores com diferentes ligações do primário/segundário freqüentemente tem campo eletrostático simples ou múltiplos, visando uma melhor redução do ruído de modo comum.

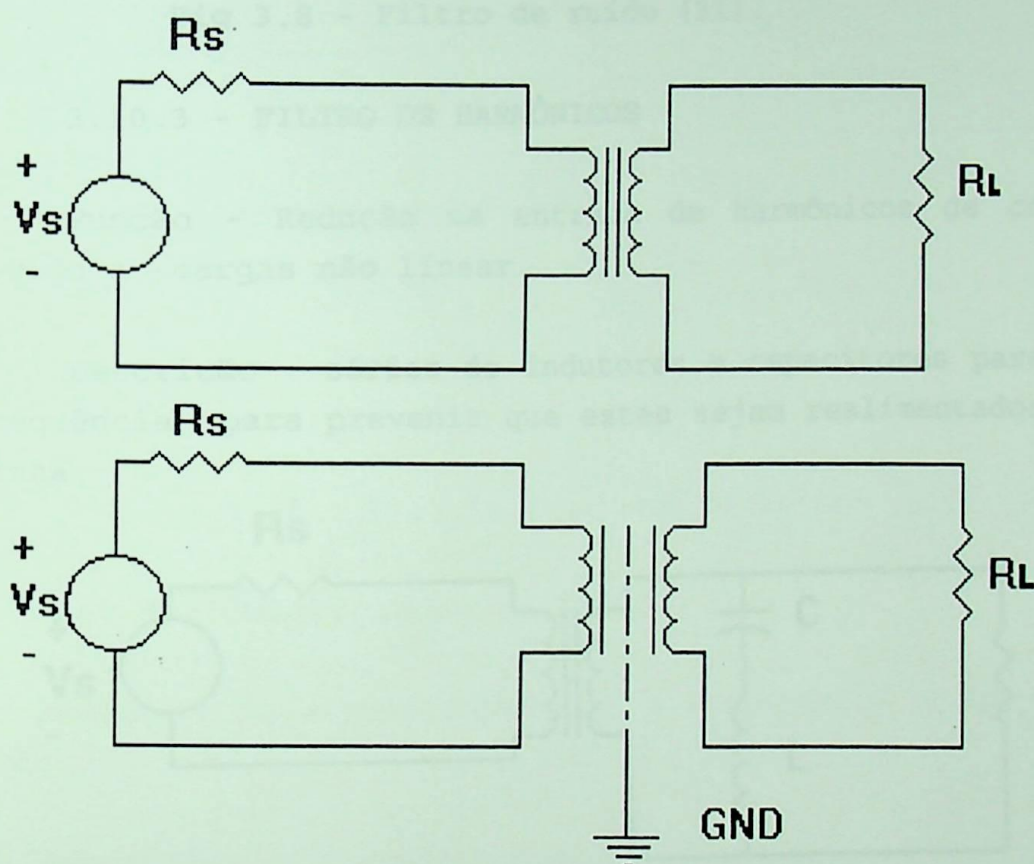


Fig 3.7 - Transformador de isolação e de blindagem [31].

3.10.2 - FILTRO DE RUÍDO

Função - Comum ou redutor de modo transversal com atenuação de largura de faixa variando com projeto de filtros.

Descrição - Séries de indutores com capacitores em paralelos.

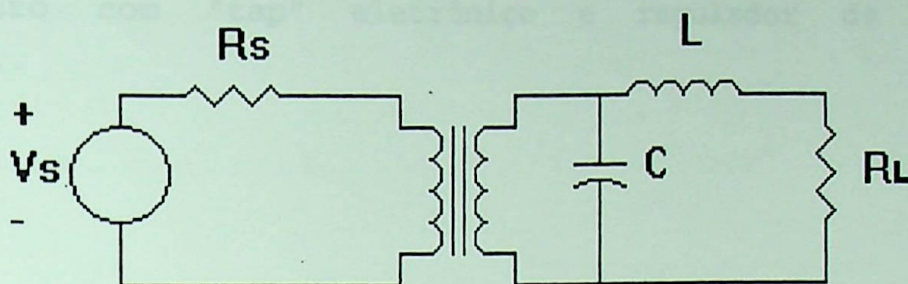


Fig 3.8 - Filtro de ruído [31].

3.10.3 - FILTRO DE HARMÔNICOS

Função - Redução na entrada de harmônicos de correntes devido a cargas não linear.

Descrição - séries de indutores e capacitores para certas frequência para prevenir que estes sejam realimentados para a linha.

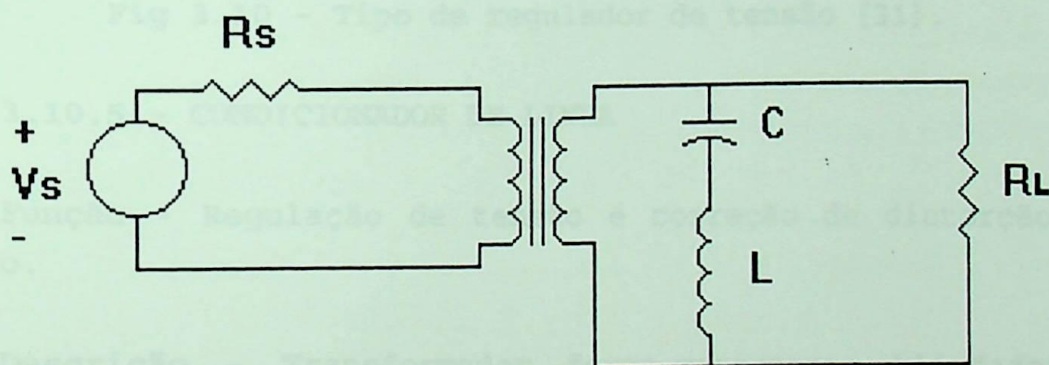


Fig 3.9 - Filtros harmônicos [31].

3.10.4 - REGULADOR DE TENSÃO

Função - Fornece um nível de tensão estável de saída para uma tensão de entrada variável. Muitos distúrbios de baixa frequência pode ser eliminados pela aplicação de um regulador de tensão.



Descrição - São usadas uma variedade de técnicas de regulação de tensão. As técnicas mais comuns incluem transformadores em sistema ferro-ressonante, transformadores de chaveamento com "tap" eletrônico e regulador de reator saturável.

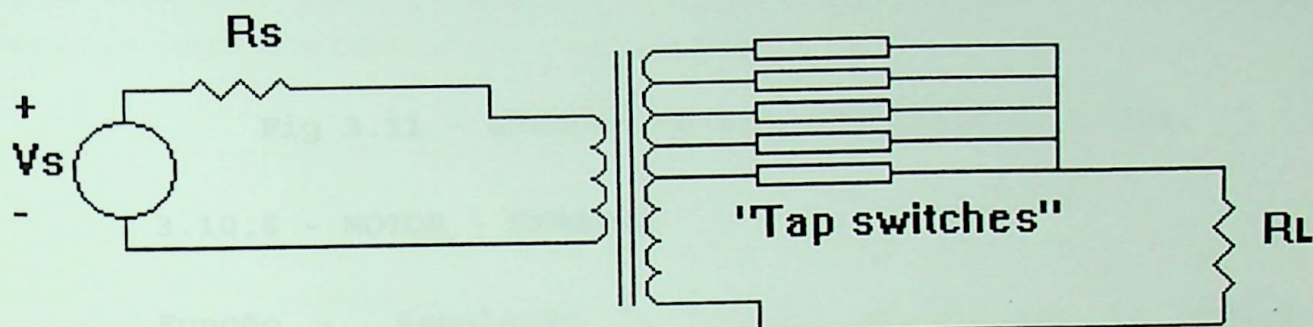


Fig 3.10 - Tipo de regulador de tensão [31].

3.10.5 - CONDICIONADOR DE LINHA

Função - Regulação de tensão e correção de distorção de tensão.

Descrição - Transformador ferro-ressonante blindado ou transformador com "taps" de carga, incluindo supressores de impulsos e filtros.

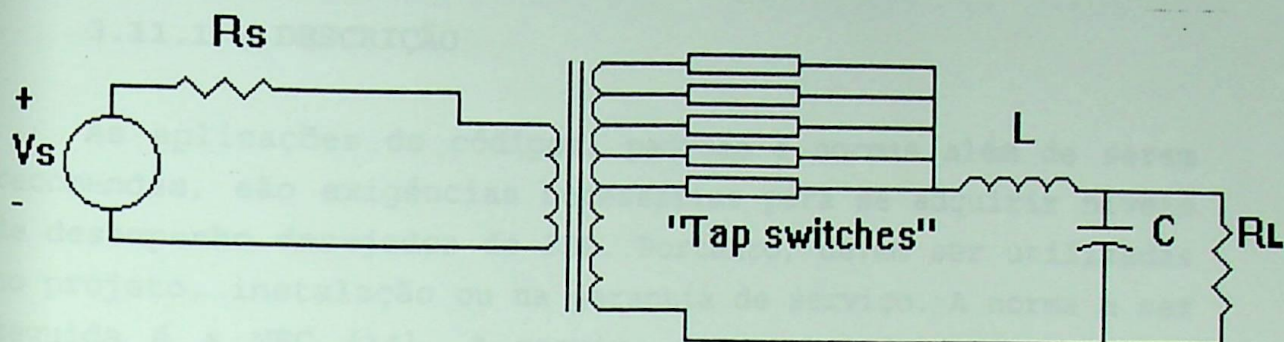


Fig 3.11 - exemplo de condicionador de linha.

3.10.6 - MOTOR - GERADOR

Função - Regulação de tensão, eliminação de impulsos, ruídos e correção da forma de onda (corrige distorção de tensão).

Descrição - Frequentemente consiste em dois dispositivos um motor e um alternador (gerador). O motor AC fornece a função de um condicionador de linha e faz a transformação de uma frequência de entrada para uma determinada frequência que é exigida pela carga.

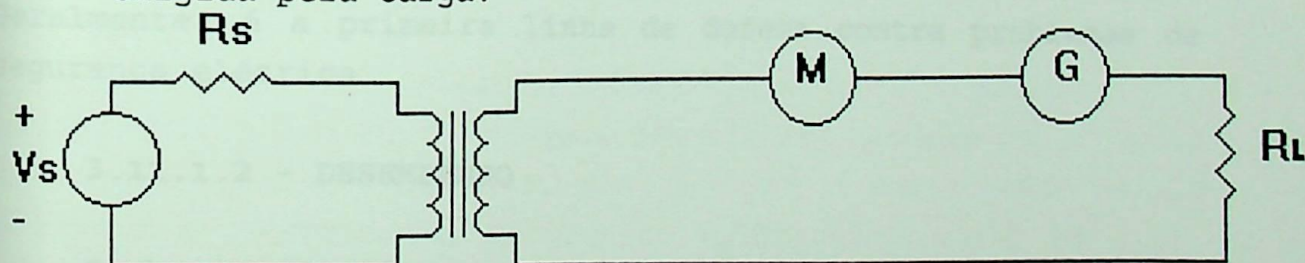
**M-Motor****G-Gerador**

Fig 3.12 - Motor gerador [31].

3.11 - RECOMENDAÇÕES DE PROJETOS E PRÁTICA DE INSTALAÇÃO

3.11.1 - DESCRIÇÃO

As aplicações de códigos, padrões e normas além de serem recomendadas, são exigências necessárias para se adquirir níveis de desempenho desejados de EES. Portanto, devem ser utilizadas no projeto, instalação ou na garantia de serviço. A norma a ser seguida é a NEC [14]. A seguir, comenta-se os itens que são essenciais para um bom projeto de engenharia.

3.11.1.1 - SEGURANÇA

A segurança em eletricidade é de suma importância, sendo basicamente gerenciada por códigos elétricos e padrões adotados por agências governamentais, entidades comerciais, e pelo bom senso dos projetistas. Um equipamento pode ser feito para operar de uma maneira satisfatória sem violar a exigência de segurança, com aplicações de uso normal. No entanto, o equipamento deve ser propriamente modificado pelo fabricante original, e deve ser autorizado pelo pessoal da engenharia. O uso exclusivo do equipamento elétrico eletrônico é definido por um teste de segurança do produto, que, por sua vez, é limitado. Geralmente, é a primeira linha de defesa contra problemas de segurança elétrica.

3.11.1.2 - DESEMPENHO

O desempenho do equipamento eletrônico é freqüentemente restringido ao seu método de instalação. Os interesses particulares são exigências para que a fonte de alimentação externa e aterramento sejam conectados no equipamento. Equipamentos e sistemas de aterramento incompatíveis são mais comuns nas ligações elétricas.

Grandes variações existem através das exigências dos fabricantes, para parâmetros de instalação. Em certas instâncias, o fabricante entra em conflito com as exigências de

aplicação de segurança para a instalação. Quando isto ocorre, a exigência de segurança deve ser justificada em razão do desempenho dos equipamentos.

3.11.1.3 - SISTEMA TRIFÁSICO COMPARADO COM SISTEMA MONOFÁSICO

Equipamentos eletrônicos as vezes são operacionais apenas em um sistema trifásico enquanto outros trabalham com sistema monofásico. O sistema trifásico oferece certas vantagens por operar na mesma potência com correntes inferiores ao monofásico, assim quando possível, geralmente, é o mais adequado.

3.11.1.4 - SELEÇÃO DOS SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Faz-se a seleção via entrada de serviço, escolhendo uma distribuição interna, de acordo com a respectiva tensão nominal do nível desejado de utilização do equipamento, que é normalmente de 110/127 [V] para sistemas monofásicos e 220 [V] para sistemas trifásicos [23].

3.11.1.5 - ATERRAMENTO E LIGAÇÃO EM SALAS DE COMPUTADORES

A ligação de salas de computadores, que conforme [14], artigo 645, permitem ao projetista utilizar métodos de ligações flexíveis dentro da sala que de outra forma não seriam permitidos. Informações do projeto estão relacionadas em [31]. As recomendações práticas para salas de computadores [14] e [31] são criadas e mantidas quando grandes sistemas eletrônicos sensíveis ou sistemas de processamento de dados devem ser instalados.

3.11.1.6 - CIRCUITOS DEDICADOS

- CIRCUITOS DEDICADOS DE CARGAS

As recomendações práticas do projeto de sistemas de ligação para equipamento são para separar diversos tipos de carga, pela colocação de circuitos dedicados e circuitos derivados. São citados no apêndice 1 os detalhes destas ligações.

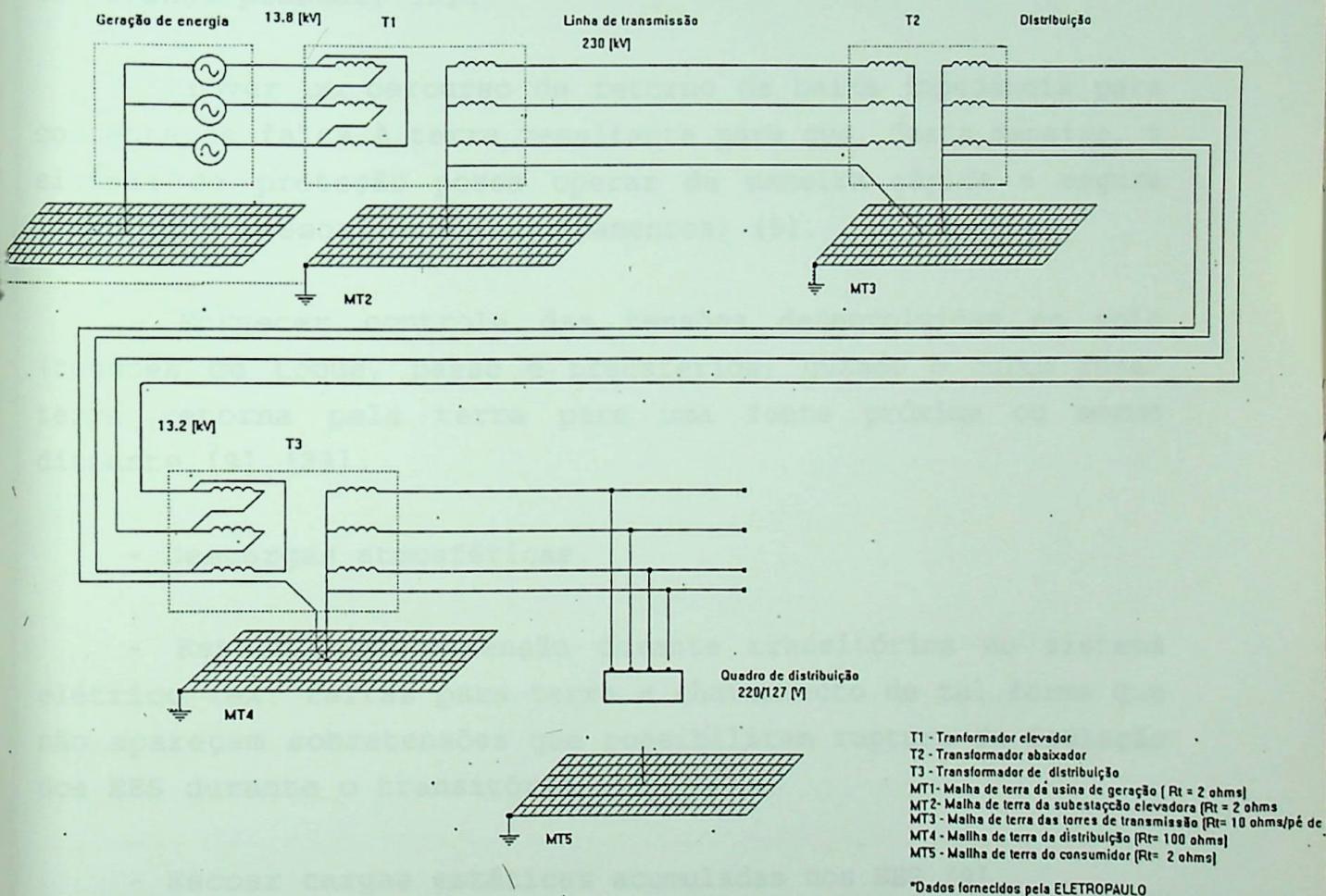


Fig 3.13- Recomendações para separação da distribuição da alimentação do EES da distribuição da alimentação do equipamento de suporte.

3.12 - OBJETIVOS E TIPOS DE ATERRAMENTO PARA EES

Todos objetos metálicos se comportam como condutores elétricos, são ligados para serem energizados de acordo com as correntes elétricas (circuitos de falta, descarga eletrostática, e descargas elétrica) e devem ser aterrados pelas seguintes razões:

- Escoamento pelo condutor de aterramento da corrente devida a falha de isolamento dos EES, protegendo o operador (segurança pessoal) [9].

- Prover um percurso de retorno de baixa impedância para corrente de falta à terra resultante para que, desta maneira, o sistema de proteção possa operar de maneira rápida e segura (segurança pessoal e dos equipamentos) [9].

- Fornecer controle das tensões desenvolvidas no solo (tensões de toque, passo e transferida) quando o curto fase-terra retorna pela terra para uma fonte próxima ou mesmo distante [9], [23].

- Descargas atmosféricas.

- Estabilizar a tensão durante transitórios no sistema elétrico (ex: faltas para terra e chaveamento de tal forma que não apareçam sobretensões que possibilitem ruptura da isolamento dos EES durante o transitório [9].

- Escoar cargas estáticas acumuladas nos EES [9].

- Fornecer plano de referência sem perturbações, fundamental ao bom desempenho do EES.



3.12.1 - ATERRAMENTO EM ESTRUTURA DE AÇO

Quando possível, toda estrutura de aço deve ser eletricamente aterrada e ligada a uma massa condutiva simples. O aterramento e as ligações devem ser conectados na estrutura principal através de soldas, rebites (tomada de terra), revestimento ou pela ligação de pontes ("jumpers"). Neste caso, é sempre recomendado a ligação da alimentação para entrada de serviço, no sistema de aterramento do equipamento e no sistema principal da tubulação metálica de encanamento. A instalação em estrutura de aço deve ser aterrada das seguintes formas:

- Através do sistema de eletrodo de terra de aterramento, ou ligação por pontes ("jumpers").

- Diretamente pelo terra ou por um eletrodo na instalação da estrutura de aço.

- Através de um sistema de eletrodo de aterramento em anel.

(Obs: As figuras 3.4, 3.6 e 3.14 ilustram este tipo de aplicação).

3.12.2 - SISTEMA DE ATERRAMENTO EM ANEL

É um método de aterramento dos EES, com terra em anel. O terra em anel deve ser freqüentemente ligado no sistema de estrutura metálica. A figura 3.14, ilustra como deve ser um sistema de aterramento em anel fixado em uma estrutura metálica, com piso falso.

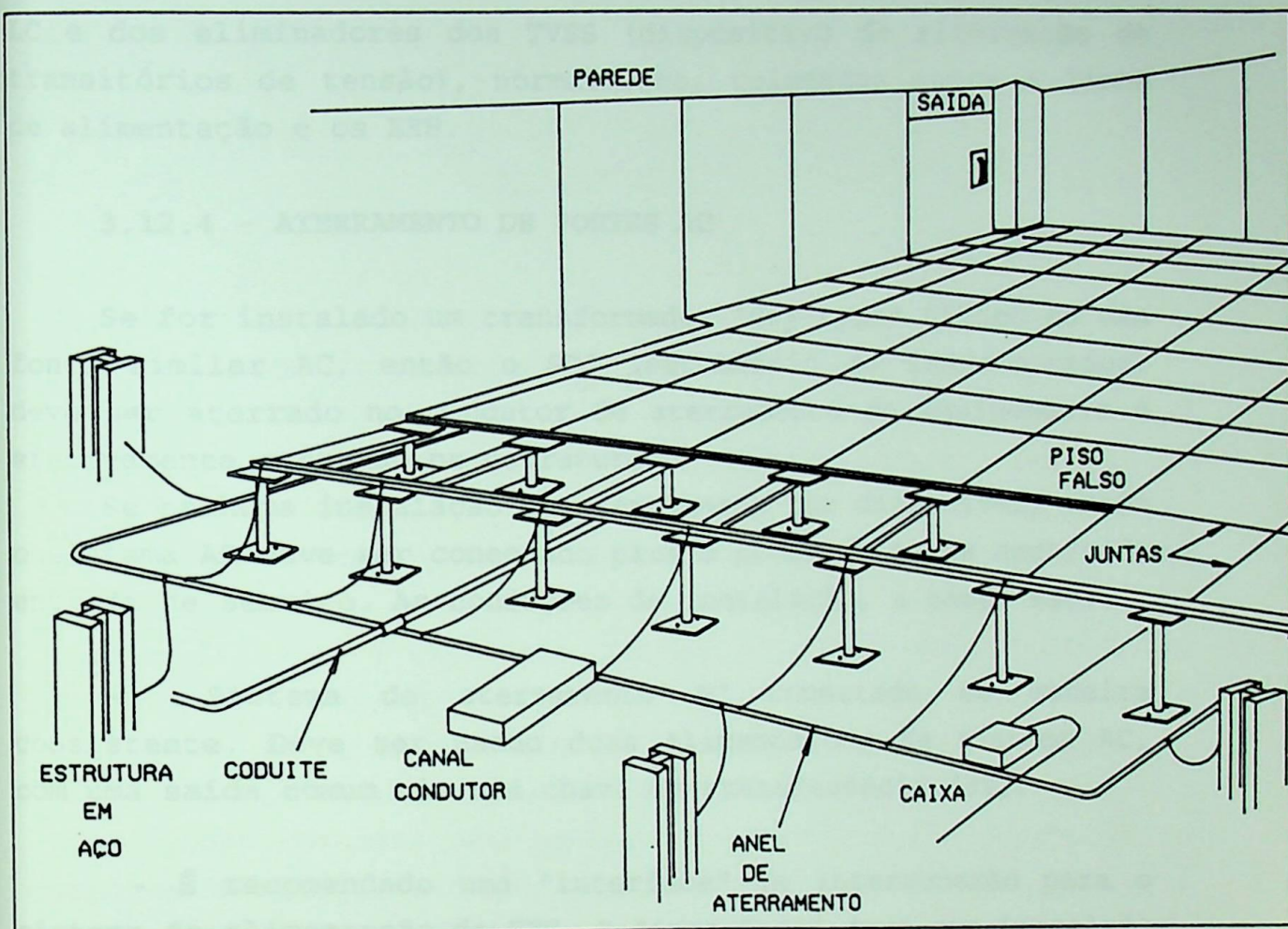


Fig 3.14- Um aterramento em anel usado em um sistema de "piso falso" na sala de computador.

3.12.3 - ATERRAMENTO DE SISTEMAS E SERVIÇOS AC

Os sistemas das redes de alimentação AC são aterrados devido a segurança elétrica e problemas com fogo. Acrescenta-se ainda, o problema do controle do ruído de modo comum e descarga de corrente. Sob o ponto de vista de desempenho, quando sistemas de corrente alternada estão alimentando equipamentos

eletrônicos sensíveis, então um aterramento eficiente, sólido, é a recomendação prática.

O principal benefício, deste tipo de aterramento é a existência de um caminho de retorno das correntes dos filtros LC e dos eliminadores dos TVSS (dispositivo de eliminação de transitórios de tensão), normalmente, colocados entre a linha de alimentação e os EES.

3.12.4 - ATERRAMENTO DE FONTES AC

Se for instalado um transformador "dry-type" típico ou uma fonte similar AC, então o SDS (secundário do transformador) deve ser aterrado no condutor de aterramento do equipamento e efetivamente aterrado na estrutura.

Se nenhuma instalação de aterramento for disponível, então o sistema AC deve ser conectado para o ponto de terra neutro da entrada de serviço. As condições de instalação, a saber são:

- Sistema de aterramento AC conectado de maneira consistente. Deve ser usado duas alimentações de sistema AC, com uma saída comum via uma chave de transferência [31].

- É recomendado uma "interface" de interconexão para o sistema de alimentação de EES. A "interface" deve ser instalada tendo por referência um transformador de isolação (figura 3.15). O transformador de isolação é recomendado quando os dois sistemas AC não possuem a mesma referência de terra do sistema HF (alta frequência).

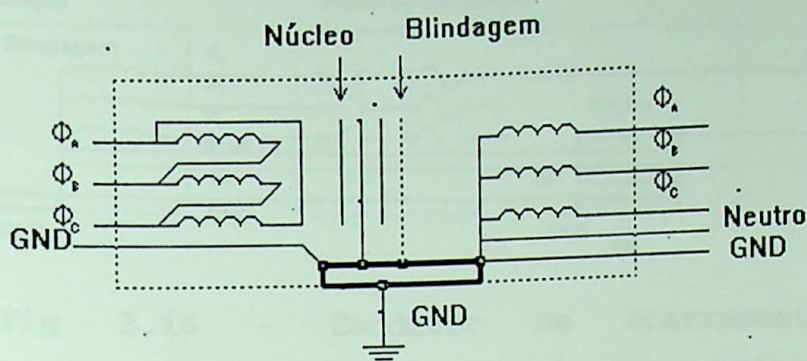


Fig 3.15 - Transformador de isolação para EES [31].

3.12.5 - MÉTODO DE ATERRAMENTO ISOLADO (IG)

O método de aterramento isolado pode ser usado como um meio de se obter redução de ruído elétrico de modo comum ao circuito o qual é utilizado. Devido a utilização de condutores isolados, o método IG prevê ligações diretamente sobre a cobertura metálica dos EES. A concepção do método exige que todas as carcaças (invólucros metálicos) e barra de terra dos EES fossem isoladas das carcaças do painel ou da estrutura de suporte dos mesmos, sendo ligados através de cabos isolados a um sistema de eletrodos de aterramento (malha de terra) independente, situado em local distante da malha de força.

O painel metálico de suporte dos equipamentos deverá ser obrigatoriamente, ligado à malha de terra de alimentação, já que em geral existe uma alimentação de potência para o mesmo.

3.12.5.1 - LIGAÇÕES IG

Circuitos derivados ligados em sistemas metálicos podem ser configurados na forma de circuito IG. Neste caso é exigido condutores isolados quando de contacto com dispositivos metálicos. A figura 3.16 ilustra um sistema isolado.

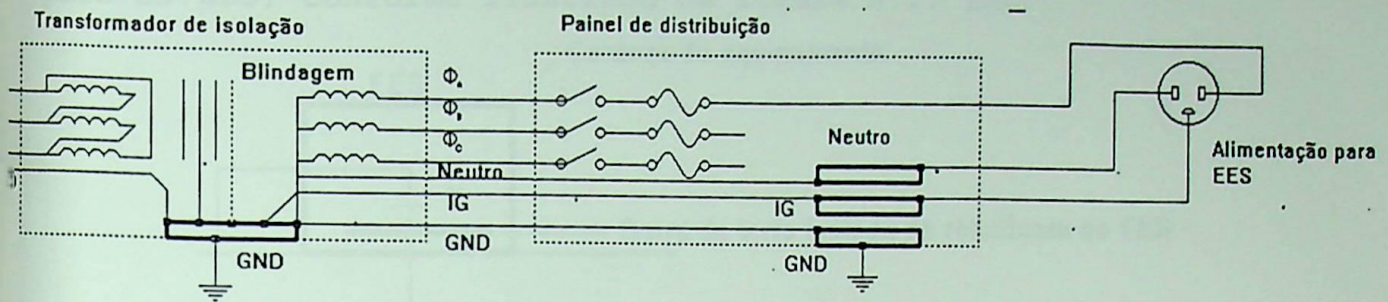


Fig 3.16 - Condutor de aterramento isolado ligado através de um painel de distribuição [31].

3.12.5.2 - INCONVENIÊNCIAS DO MÉTODO DO SISTEMA ISOLADO (IG)

Os principais motivos das inconveniências do sistema isolado (IG) são descritos a seguir:

- O aterramento da carcaça ou invólucro metálico do painel dos equipamentos não é equalizado com aterramento dos EES. Na eventualidade de curto-circuito ou descargas atmosféricas na malha de alimentação, surge uma diferença de potencial entre as duas malhas e, portanto, entre as partes metálicas a elas conectadas. Existem riscos de que uma pessoa seja submetida a esta diferença de potencial desde de que seu pé, por exemplo, esteja na malha de alimentação e sua mão na malha do equipamento eletrônico. Portanto, este tipo de malha contraria o requisito de segurança pessoal constante de qualquer norma de instalação.

- Projetar uma malha de terra "isolada" da malha de alimentação é um método difícil. Pois o solo, mesmo o de elevada resistividade, é condutor. Assim existe um acoplamento resistivo (para baixas frequências) e capacitivo (para altas frequências) entre os dois sistemas considerados isolados [9].

Este acoplamento reduz drasticamente a eficácia do sistema isolado, principalmente durante os transitórios de altas

frequências (descargas atmosférica) que são de grande perigo para os EES, conforme ilustrado na figura 3.17 [9].

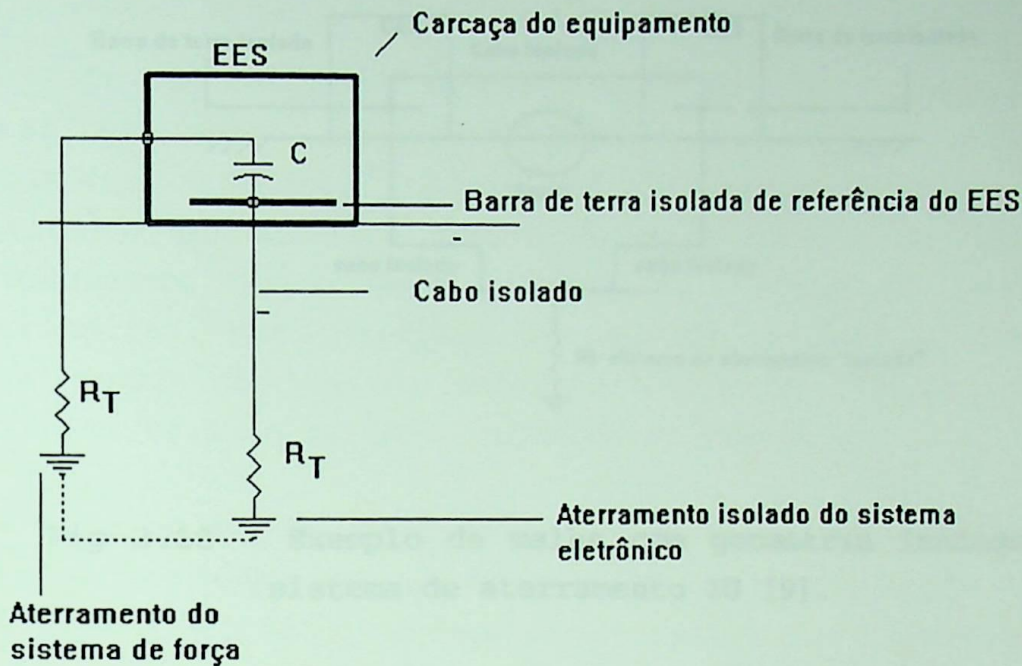


Fig 3.17 - Acoplamento capacitivo e resistivo entre os sistemas de alimentação e EES, na utilização do método IG [9].

Não tendo sofrido alteração na sua geometria, a malha apresenta ainda deficiências construtivas, como condutores longos, incapazes de equalizar altas frequências, principalmente, quando de malhas industriais. Estas malhas possuem uma grande limitação, pois campos eletromagnéticos atravessando geram forças eletromotrizes que provocam correntes circulantes nos condutores isolados, conforme é mostrado na figura 3.18 [9].

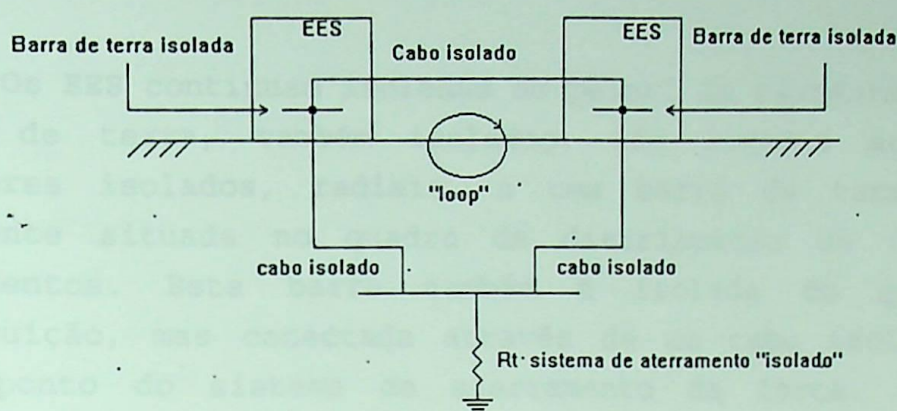


Fig 3.18 - Exemplo de malha com geometria inadequada no sistema de aterramento IG [9].

3.12.6 - ATERRAMENTO DE PONTO ÚNICO [9]

Este método foi um passo na evolução dos sistemas de aterramento dos EES. Elimina do sistema isolado (IG), mais avançado, sua principal desvantagem, que é a falta de segurança pessoal originada da diferença de potencial que pode aparecer entre as duas malhas. O método está ilustrado na figura 3.19.

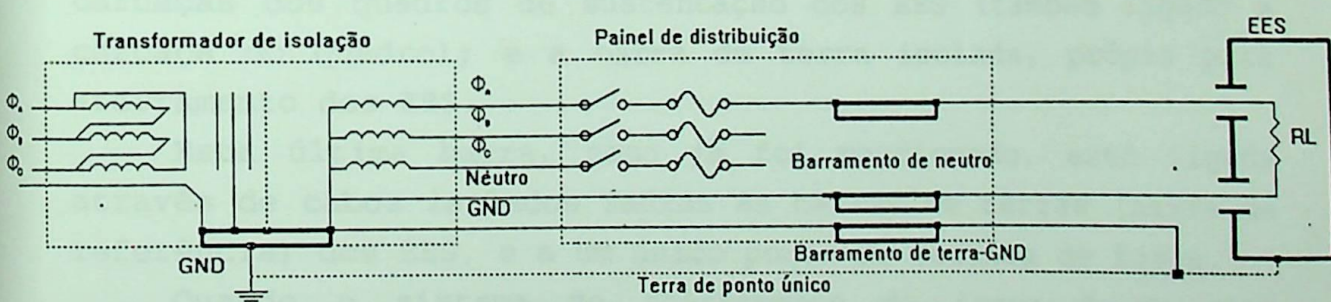


Fig 3.19 - Sistema de aterramento de ponto único para EES [9].

As características principais deste tipo de aterramento são:

- Os EES continuam isolados do painel de sustentação. Suas barras de terra, também isoladas, são ligadas através de condutores isolados, radiais, a uma barra de terra geral, comumente situada no quadro de distribuição de força dos equipamentos. Esta barra também é isolada do quadro de distribuição, mas conectada através de um cabo isolado a um único ponto do sistema de aterramento de força. Portanto, equalizam-se duas malhas através desta conexão.

- As carcaças dos painéis de sustentação são ligadas ao sistema de aterramento de força de forma convencional, isto é, de forma permitir o retorno de correntes de curtos-circuitos originados pela falha na isolação da alimentação de força dos EES.

Quando existe um quadro de distribuição de força único para os referidos equipamentos, a melhor forma é aterrar suas carcaças através de cabos isolados ligados radialmente à barra de terra do quadro de distribuição.

Este quadro pode possuir, portanto, três barras de aterramento: a barra de neutro, ligada à carcaça do quadro; a barra de terra que recebe os cabos radiais de aterramento das carcaças dos quadros de sustentação dos EES (também ligado à carcaça do quadro); e a barra de terra isolada, própria para aterramento dos EES.

Esta última barra, como já foi mencionado, está ligada através de cabos isolados radiais às barras de terras (barra de referência) dos EES, e a um único ponto do sistema de força.

Quando o sistema de aterramento de força é de alta resistência (maior que $5 \cdot [\Omega]$), pode-se utilizar sistemas de eletrodos auxiliares local para os EES, com finalidade de diminuir a resistência total de aterramento. A barra de terra dos EES, situada no quadro de distribuição, deve ser ligada a estes eletrodos através de cabo isolado. No entanto, a filosofia de ponto único deve ser observada, isto é, manter uma

ligação única entre o sistema de aterramento de força e o sistema de aterramento de referência dos EES.

3.12.6.1 - INCONVENIÊNCIAS DO MÉTODO DO SISTEMA PONTO ÚNICO [9]

A conexão descrita é um reconhecido avanço da metodologia de aterramento dos EES, mas ainda possui inconvenientes. O maior deles é a incapacidade dos condutores de aterramento longos de equalizar as barras de terra nos casos em que são percorridos por correntes de frequência elevada.

Outro inconveniente é o acoplamento capacitivo entre o terra do EES e a carcaça do painel de sustentação, já que são localmente isolados. Este acoplamento pode formar malhas ("loops"), para altas frequências, resultando em correntes circulantes que produzem ruídos, alterando o potencial da barra de referência.

3.12.7 - MALHA DE REFERÊNCIA DE TERRA (MTR) EM ALTA FREQUÊNCIA (HF)

Uma malha de referência estrutural (MRS) deve ser aplicada como meio básico para se conseguir uma boa referência de terra em alta frequência (HF), para todo equipamento dentro de uma área contínua. A MRS pode ser constituída na forma de uma MTR, que é portanto, recomendada para sistemas de EES [31].

O uso de uma ligação blindada ou uma chapa de metal é uma forma ideal de uma MRS, mas é, freqüentemente, caro. Uma forma prática é a MTR, que é uma recomendação prática para grandes instalações de EES. No estágio atual é a mais nova técnica de aterramento de EES. O objetivo básico é o de cancelar o inconveniente, grave, de outros tipos de malhas de aterramento, no que concerne da incapacidade destas de equalizar as barras de terras dos diversos equipamentos eletrônicos para altas frequências, o que permite a entrada de ruídos indesejáveis nestes equipamentos [9], [31].

Como foi abordado, as fontes de ruídos são bastantes diversificadas incluindo-se RF e frequências mais elevadas na faixa de [MHz] provocadas, por exemplo, pelos próprios EES ou periféricos (tipicamente na ordem de 66 [MHz] a 150 [MHz] para microcomputadores atuais) [9], [34].

A construção da MTR é baseada nas pesquisas de condução de sinais de HF em cabos condutores (linhas de transmissão). Pesquisas estabelecem que "se o comprimento do condutor não é maior que $1/10$ a $1/20$ do comprimento de onda do sinal transmitido, então a diferença de potencial estabelecida entre as extremidades do condutor é praticamente desprezível".

Para um sinal de 30 [MHz], um vigésimo do seu comprimento de onda equivale a cerca de 60 [cm]. Assim, se for montada uma grade de condutores espaçados entre si com esta distância e interconectados em seus cruzamentos, será criado um grande número de circuitos paralelos de baixa impedância, os quais funcionarão praticamente com curtos-circuitos para o espectro de frequências desde de 60 [Hz] (frequência industrial) até [MHz] [9].

Pode-se perceber imediatamente que uma chapa equalizaria qualquer frequência por mais elevada que fosse, porque seria o limite da grade para espaçamentos nulos dos condutores.

Estudos indicam que o condutor ideal para altas frequências é a fita. Logo, a MTR deve em princípio ser executada com condutores deste tipo. No entanto, a execução física da MTR com fitas é mais trabalhosa e requer equipamentos de saída de solda mais difíceis de serem encontrados. Estrutura da MTR em piso falso é ilustrada na figura 3.20.

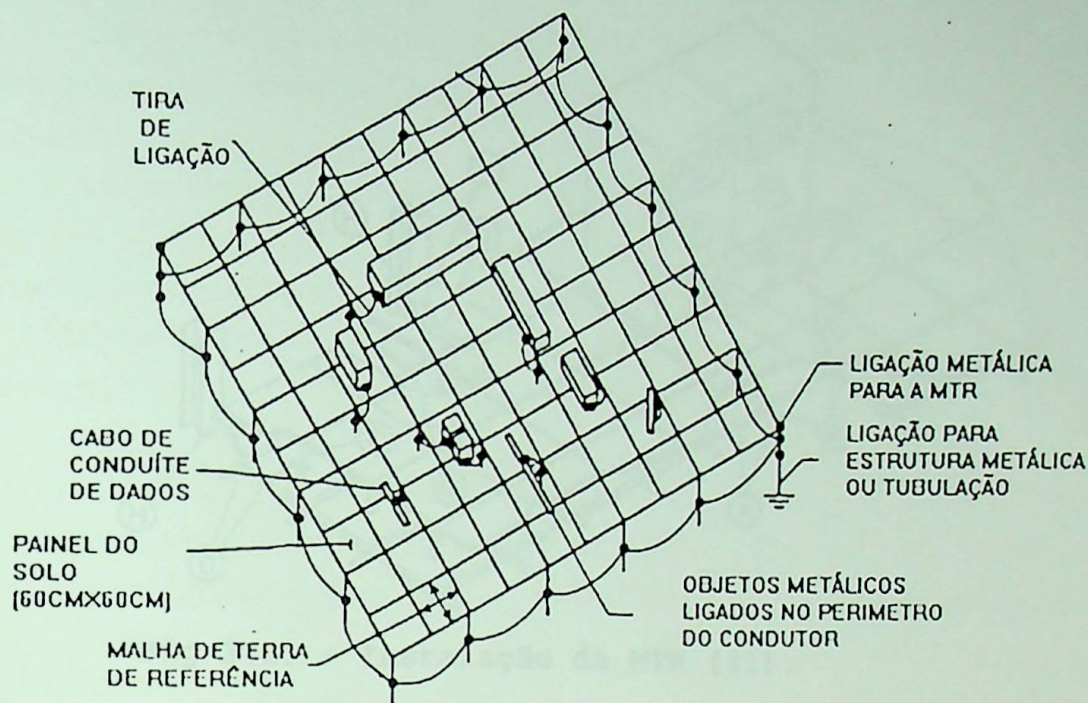


Fig 3.20 - Estrutura de MTR [31].

A função básica da MTR é a equalização de potenciais e não condução de correntes de curto circuitos. Isto significa que os condutores de proteção para retorno de curto-circuitos fase terra continuam existindo, dimensionados segundo as normas de instalação.

O local ideal para instalação da MTR é sob os equipamentos, preferencialmente no piso falso, embora possa ser instalada sob a lage, desde que o comprimento das cordoalhas de conexão dos equipamentos não seja longo (em torno de 40 a 60 [cm]), pode-se utilizar os suportes do piso falso. A figura 3.21, ilustra a MTR em sistema de EES.

- Fitas de cobre 0.025 [cm] x 10.16 [cm].
- B- Conexão soldada, tira-tira
- C- Conexão soldada, tira-pedestal
- D- Conexão soldada, tira-correia de ligação
- E- Tira de ligação de baixa impedância
- F- Conexão soldada, tira-correia de ligação (equipamento)
- G- Unidade de distribuição de potência-condutor de aterramento
- H- Conexão soldada à estrutura de aço

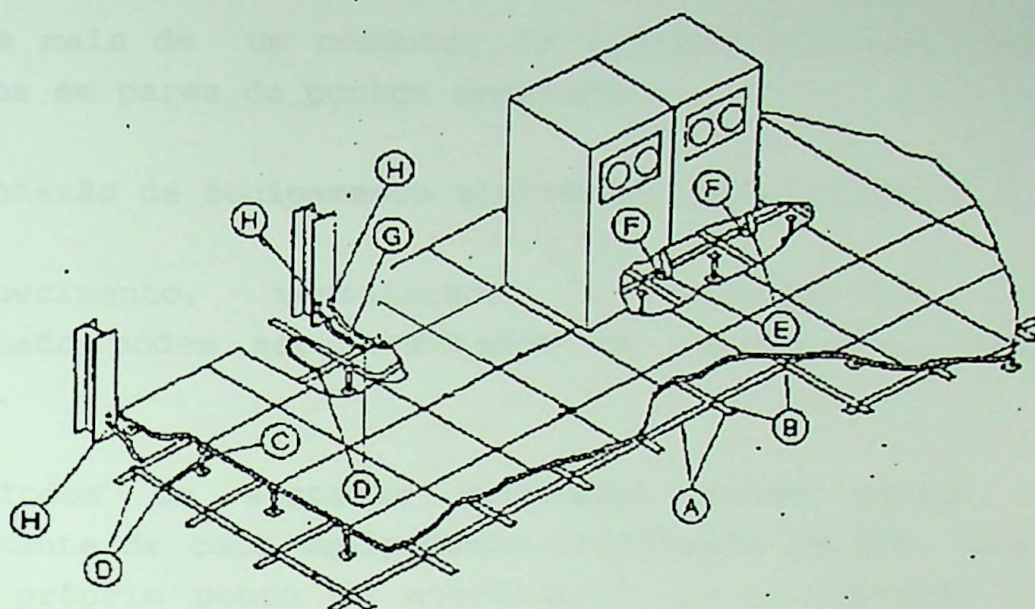


Fig 3.21 - Instalação da MTR [31].

A exigência de segurança indica que o MTR deve ser conectado a um terra apropriado. A seguir cita-se normas, para instalação da MTR.

3.12.7.1 - SUMÁRIO DE RECOMENDAÇÃO PRÁTICA PARA MTR E SUAS INSTALAÇÕES [31]

- Seguir os códigos e padrões para aterramento de segurança, para não haver conflito entre o aterramento de segurança, o pessoal e o aterramento HF (alta frequência) para EES.

- Selecionar uma MTR apropriada e assumir que esta foi instalada adequadamente.

- Ligação permanente da MTR para todo acesso e toda ligação metálica.

- Se existe um simples ponto de entrada, fazer a ligação para o metal da estrutura em questão.

- Ligar o MTR para cada pedaço do EES.

- Se mais de um condutor de ligação é usado, devem ser conectados em pares de pontos separados.

- Conexão de equipamento eletrônico para a MTR.

- Aquecimento, ventilação, e equipamentos de ar condicionado podem ser conectados em conjunto no "grid" do condutor.

- Todos os sistemas derivados devem estar ligados separadamente de cada equipamento localizado na MTR, que deve ter seu próprio ponto de aterramento de alimentação (neutro para o terra).

- Todo aquecimento, ventilação, ar condicionado associado à rebitagem, metal, quadro de chave e equipamento similar dentro de uma área protegida, deve ser ligado para a MTR.

- Nenhuma conexão deve ser feita para o remoto ou pontos de aterramento de dados, tentando-se evitar os caminhos de terra-neutro.

- A documentação deve ser completa e detalhada incluindo aterramentos próprios, aterramento do aquecimento, ventilação e equipamentos de ar condicionado, rebitagem, cabos e outros similares.

3.12.7.2 - LIGAÇÃO DE TIRAS DO EQUIPAMENTO PARA O MTR

EES devem ser conectados na MTR com condutores de baixa indutância. Por conseguinte, recomenda-se utilizar fitas metálicas. Piso ou qualquer outra superfície de contacto deve ser removida antes de ser ligada com tiras, e, as tiras devem ser curtas possibilitando o mínimo de reatância indutiva.

Geralmente usa-se duas outras tiras para melhor reduzir a reatância.

3.12.7.3 - EXEMPLO DE UM SISTEMA MTR APLICADO A EES

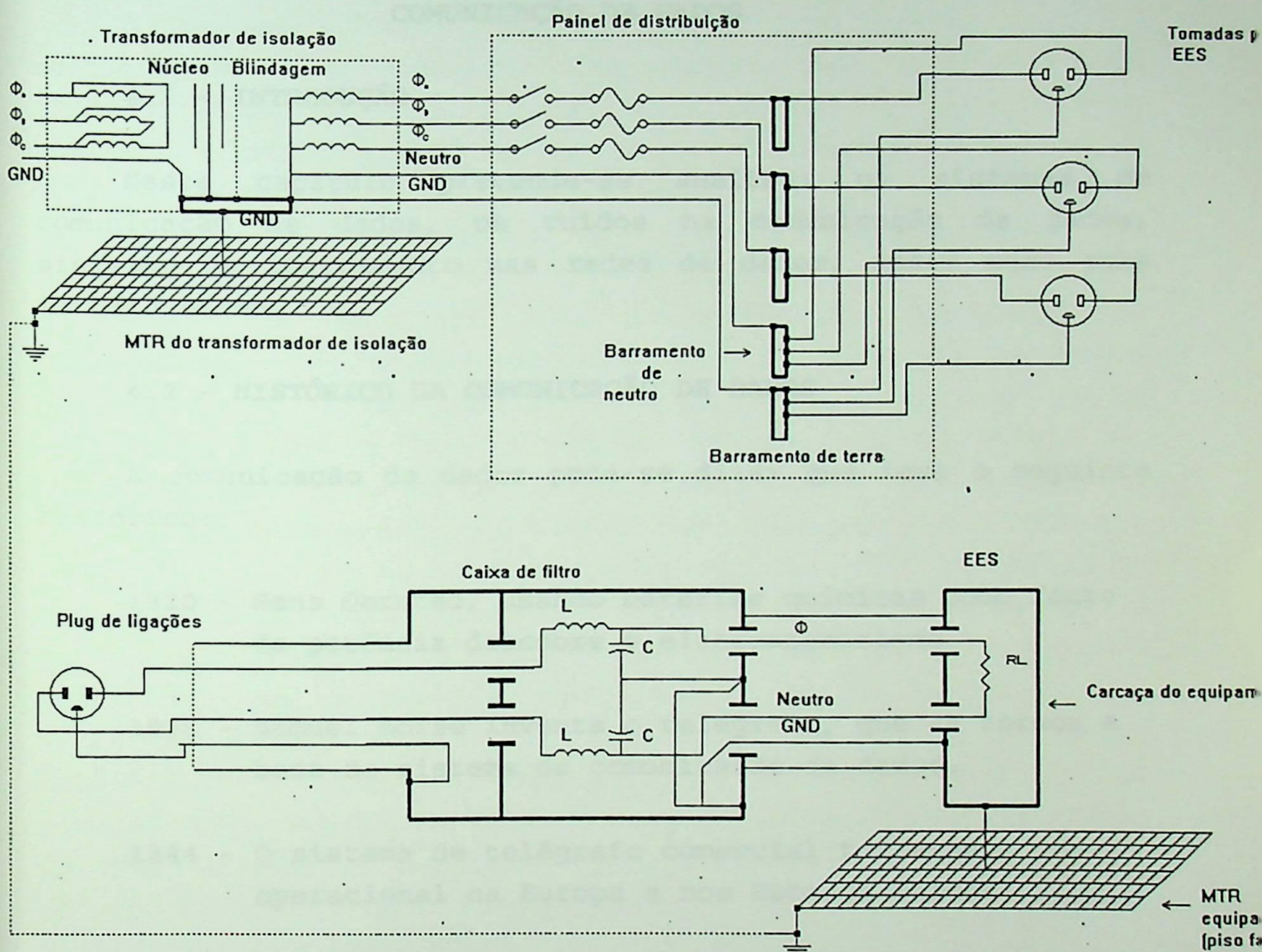


Fig 3.22 - Exemplo de um sistema de aterramento de EES usando o sistema MTR

CAP IV

COMUNICAÇÃO DE DADOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se analisar os sistemas de comunicação de dados, os ruídos na comunicação de dados, sistemas de aterramento nas redes de dados, assim como suas interconexões.

4.2 - HISTÓRICO DA COMUNICAÇÃO DE DADOS

A comunicação de dados pode-se dizer que teve o seguinte histórico:

- 1820 - Hans Oersted, usando baterias químicas como fonte de potência descobre o eletromagnetismo.
- 1838 - Samuel Morse inventa o telégrafo, que se tornou a base do sistema de comunicação de dados.
- 1844 - O sistema de telégrafo comercial torna-se operacional na Europa e nos Estados Unidos.
- 1851 - A Inglaterra é ligada à França por cabos telefônicos.
- 1858 - Deita-se o cabo submarino entre a Inglaterra e Estados Unidos.
- 1876 - Alexandre Graham Bell inventa o telefone que torna o telégrafo obsoleto.

1900 - Marconi inventa a telegrafia por rádio.

1925 - O presidente dos Estados Unidos fala à nação por rádio. Desenvolve-se o teletipo.

A Segunda Guerra Mundial muito contribuiu para a sofisticação e a cobertura das comunicações. Nesta época, diversas técnicas eram postas em prática e, mais tarde, formaram a base da moderna comunicação de dados. Entre estas técnicas podem-se citar multiplexagem, computadores digitais, transmissão de microondas e técnicas sofisticadas de processamento de sinais.

A década de 1950 viu a introdução comercial de computadores e uma grande expansão da malha de telefonia. Com o acréscimo do fluxo de informação, implementam-se novas tecnologias como a multiplexagem por divisão de tempo e, conseqüentemente, maior habilidade da rede de comunicação em transportar informações. Os sinais dos teletipos passaram a ser conduzidos através da malha de telefonia ao invés das ondas de rádio. Com a popularização comercial dos computadores a quantidade de informação processada digitalmente se elevou. A necessidade de se conectar computadores tornou-se crítica no final da década de 1950 e no início da década de 1960. Inicialmente, ligações ("link's") especiais permitiam que os grandes computadores da época se comunicassem. Ainda na década de 1960, a rede de telefonia simples começava a ser utilizada na comunicação entre computadores e a corrida para mover informações eletronicamente começava.

A comunicação de dados continua atualmente em expansão. A tecnologia digital provou ser mais resistente a erros do que a analógica, permitindo o aparecimento de malhas de comunicação de dados em microcomputadores em larga escala, tal como no interior de um avião ou de um automóvel.

4.3 - CONCEITOS DE INFORMAÇÃO E CAPACIDADE DE CANAL

"Informação" é um conceito importante em comunicação e depende da relação entre dois elementos: a quantidade e predibilidade da mensagem.

"Canal" ou "linha de comunicação" é definido como o caminho elétrico estabelecido entre duas ou mais estações, podendo ser constituído por um par de fios, um grupo de fios ou uma porção especial do espectro de frequência. A finalidade do canal é transmitir uma informação de um ponto para outro. Existem três tipos:

Simplex - O sinal vai da origem para o destino sem um retorno [16].

Half dúplex - O sinal é transmitido da origem para o destino e vice versa, porém não simultaneamente [16].

Full dúplex - Sinal poderá ser transmitido simultaneamente entre as duas extremidades, em ambos os sentidos [16].

4.4 - CAPACIDADE DE UM CANAL DE COMUNICAÇÃO

Claude Shannon provou em 1948 que a máxima capacidade de um canal de comunicação pode ser calculada pela equação :

$$C_c = W \cdot \ln (1 + S/N_c) \quad (4.1)$$

$$\text{ou } C_c = 3.32 \cdot W_c \cdot \log(1+S/N_c) \quad (4.2)$$

Onde :

C_c : capacidade do canal em bits/s

W_c : largura de faixa do canal em Hertz

S : potência do sinal

N_c : potência do ruído

Todas as quantidades do lado direito da equação anterior são mensuráveis e conhecidas. Ao invés de se medir diretamente a potência do sinal e do ruído, usualmente mede-se a relação entre intensidade da relação sinal-ruído S/N_c , desde que se conheça a largura de faixa do canal. Usualmente, calcula-se a máxima quantidade de informação que um canal pode transportar.

A comunicação de dados é a transmissão de informação que pode ser representada por pulsos digitais. Como qualquer informação pode ser representada desta forma, a comunicação se torna mais facilmente compreensível e eficiente pois os pulsos são praticamente quadrados (sistemas digitais) [16].

A figura 4.1 mostra o circuito equivalente do sistema de comunicação e tensão contínua.

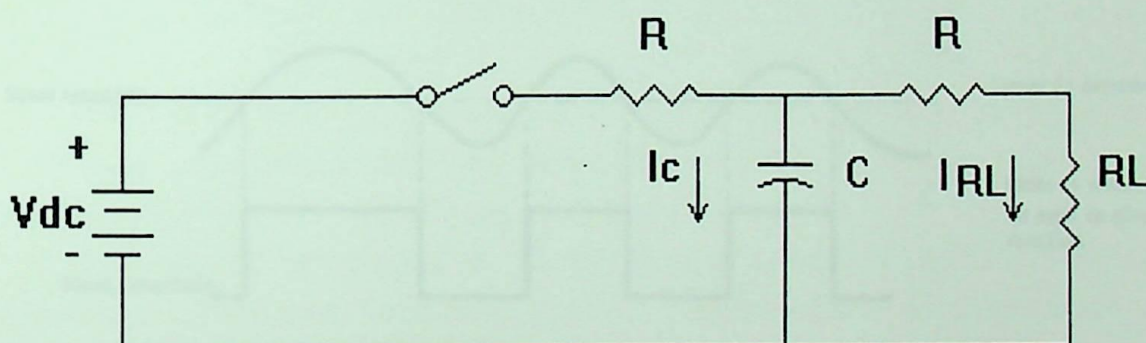


Fig 4.1 - Circuito equivalente do sistema de comunicação DC [21].

4.5 - DISTORÇÃO [21]

As próprias imperfeições da linha de transmissão distorcem o sinal transmitido. Obviamente o sinal a ser transmitido deve ser interpretado corretamente. Portanto, existe a necessidade de se trabalhar esta distorção.

A distorção tem duas fontes principais: a linha de transmissão e detector de sinais. É importante compreender a contribuição tanto linha de transmissão de dados como do detector na distorção do sinal, necessitando-se, portanto, de medidas apropriadas para minimizá-la.

A distorção ocorrendo numa malha de transmissão, afeta a habilidade de reconstruir com precisão o sinal transmitido. Considerando na figura 4.2, um detector de sinal perfeito monitora um sinal de distorcido. Se o limiar de detecção (nível do sinal no qual o detector chaveia "ligado e desligado") está precisamente entre o níveis de sinais recebidos máximo e mínimo, o sinal transmitido pode ser reconstruído com precisão, embora com um retardo de tempo, que de um modo geral pode ser significativo em certas aplicações.

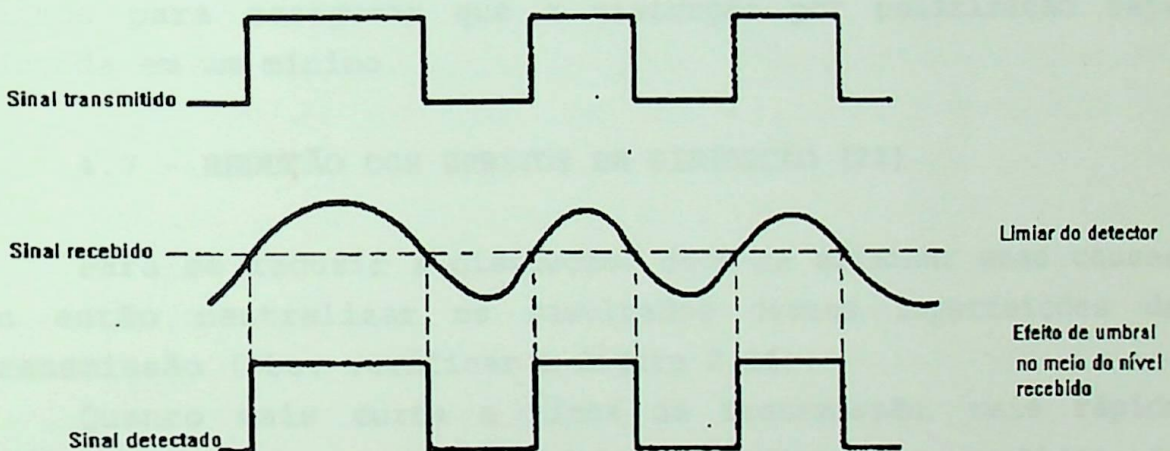


Fig 4.2 - Efeito de "umbral" (menor valor de tensão que produz o mínimo de resposta detectável) sobre o sinal recebido.

4.6 - POLARIZAÇÃO DA DISTORÇÃO [21]

Em telegrafia de tensão contínua, um pulso de corrente ou de tensão positiva é chamado de "marca". Um pulso de corrente ou tensão negativa é chamado de "espaço". Este espaço não é o espaço que aparece entre palavras de uma página, mas sim um

termo que vem do início da telegrafia Então, quando um sinal era recebido, fazia com que o aparelho receptor construísse uma marca no papel; a ausência do sinal não fazia marca, sendo denominado "espaço".

Se o detector não está ajustado por exemplo, se estiver muito acima do nível médio, ele tende a ligar com atraso e produz espaços que são mais largos do que aqueles enviados originalmente. Esta condição é denominada distorção de polarização de espaço.

De modo inverso, se o detector é ajustado muito abaixo, ele produz um pulso que tem marcas que são mais largas do que as transmitidas. Isto é chamado de polarização de marca.

Qualquer dos dois tipos de distorção é indesejável, pois reduz a tolerância do circuito receptor para erros causados por faltas na linha e distorção. Portanto, esforços devem ser feitos para assegurar que a distorção por polarização seja mantida em um mínimo.

4.7 - REDUÇÃO DOS EFEITOS DE DISTORÇÃO [21]

Para se reduzir a distorção, deve-se eliminar suas causas ou então neutralizar os resultados destas imperfeições da transmissão (Obs: verificar a figura 2.11).

Quanto mais curta a linha de transmissão, mais rápido pode-se sinalizar através dela, resolvendo o problema da velocidade. Porém, a menos que se aproxime o transmissor e o receptor dificilmente se resolveria o problema de distorção.

A distorção introduzida por uma linha de transmissão contínua é dada pela equação:

$$RC=LG$$

(4.3)

Para se minimizar a distorção deve-se elevar a indutância ou diminuir a capacitância. A capacitância do cabo é usualmente minimizada através de espaçamento dos pares e da escolha da isolação durante sua construção. Assim, a solução comum é aumentar a indutância.

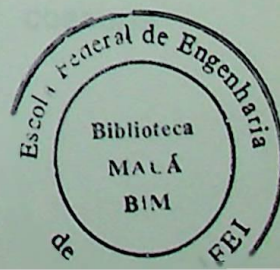
4.8 - TRANSMISSÃO VIA TELEFONE

A maioria dos sistemas de comunicação existentes não são sistemas de sinalização digitais, mas sistemas analógicos projetados para transmitir sinais de tensão alternada de baixo nível. Estas são as características das redes telefônicas.

Os telefones atualmente operam de forma semelhante em todas as partes do mundo, graças à padronização da transmissão de dados digitais.

4.9 - CARREGAMENTO DE LINHA DE TRANSMISSÃO

Carregando-se um cabo de transmissão com tensão de corrente contínua, pode-se aumentar a máxima velocidade de comunicação naquele cabo pela diminuição da atenuação do cabo na frequência de interesse. A figura 4.3 mostra os efeitos da adição da bobina de carga em uma linha de transmissão de corrente contínua de baixa frequência. Note que, enquanto o carregamento reduz a atenuação nas frequências mais baixas em relação ao cabo não carregado, aumenta-se a atenuação nas frequências mais altas. Transforma-se, portanto, o cabo que, previamente, tinha as características de um filtro passa-baixa em um outro com as características de um filtro passa-alta. O benefício é tal, que as frequências que pretende-se evitar são atenuadas, obtendo-se assim uma grande vantagem.



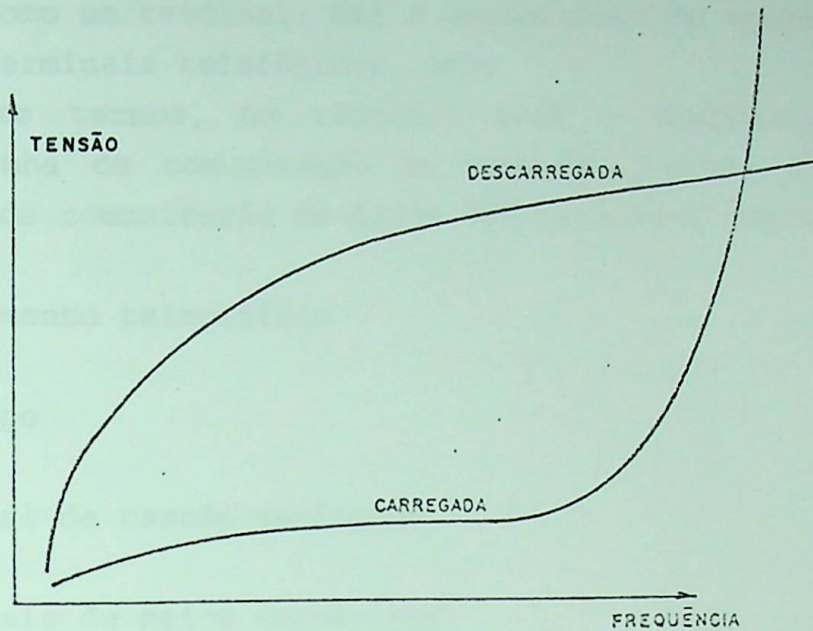


Fig 4.3 - Efeitos do carregamento em cabo AC [27].

Existem 2 (dois) métodos para transmissão de dados que são: série e paralelo. As transmissões série e paralelas são afetadas pela velocidade de transmissão. Isto é determinado por dois fatores: a taxa de fluxo e o volume de informação a ser enviado. Portanto, informações de mesma taxa enviadas em condutores paralelos, tornam o processo mais ágil fazendo com que se possa manusear mais volumes no mesmo período de tempo.

Considerando a velocidade de transmissão de outro modo observa-se que a transmissão de dados em quatro condutores paralelos a 2.5 [bits/s] é tão rápida como transmitir dados em um condutor série a 10 [bits/s]. A distância também é um fator crítico. Por exemplo, se o dado deve viajar por uma distância longa, a transmissão série usualmente é escolhida, enquanto que para pequena distância é escolhida a transmissão paralela.

4.10 - TERMINAIS PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS

Terminal é o dispositivo que leva a mensagem ao meio de comunicação. No campo das comunicações tornou-se costume

referir-se a qualquer dispositivo conectado em uma linha de comunicação como um terminal; daí a denominação de terminais de microondas, terminais telefônicos, etc.

Em outros termos, um terminal será o dispositivo que conecta a linha de comunicação ao usuário. Vários tipos de equipamentos de comunicação de dados são citados a seguir:

- Equipamento telegráfico
- Teletipo
- Terminal de cartão perfurado
- Terminais de meios magnéticos

Outros tipos de terminais :

- Terminais baseados em CRT (tubos de raios catódicos).
- Terminais de processos de transformação de material gráfico em sinais elétricos.

4.11 - COMUNICAÇÃO DE COMPUTADOR PARA COMPUTADOR

A maioria das comunicações de dados necessita de computadores para trocar informação. Existem três tipos:

- Mainframe ou grande computadores
- Minicomputadores
- Microcomputadores

Mainframe - Os computadores mainframes, fisicamente, são grandes máquinas, requerendo muito espaço, potência e refrigeração. Processam grandes quantidades de dados rapidamente. São utilizados principalmente para contas

bancárias, administração pessoal, computação científica e, em tempo real, para sistemas complexos.

Minicomputadores - São menores que os mainframes, em tamanho e capacidade, sendo, portanto, mais baratos. Os minicomputadores trouxeram a capacidade de processamento para um mercado muito maior que o abrangido pelos mainframes.

Microcomputadores - Um microcomputador é fisicamente menor (ocupa uma pequena mesa) tem menos capacidade do que um minicomputador, porém os atuais tem maior capacidade de processamento que muitos mainframes de vinte anos atrás e são mais adaptáveis, mais utilizáveis e poderosos. Os microcomputadores surgiram em 1975.

A comunicação de dados não depende apenas do computador, deve ser agrupada com "hardware" adequado (denominado "unidade terminal de linha" ou "módulo de comunicação de dados") e com um software próprio. Somente então o computador pode se comunicar diretamente com qualquer outro que esteja similarmente equipado e que use códigos e procedimentos comuns.

4.12 - TIPOS DISPOSITIVOS - PADRÕES PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS

São os seguintes padrões de interface para estabelecer conexão entre o computador e periféricos:

IEEE - 488 (GPIB) [27]

A interface GPIB ("General Purpose Interface Bus") ou Interface IEEE - 488, constitui-se em um padrão desenvolvido para interfaceamento de uma variedade de EES. Embora tenha sido baseada essencialmente nas cinco categorias usuais de instrumento (medida, display, processadores e dispositivos de armazenamento, excitação), a interface GPIB não exclui a possibilidade de conexão com outros tipos de instrumentos.

Atualmente, a grande maioria dos fabricantes internacionais de EES, incorpora em seus produtos uma interface IEEE - 488.

O padrão de comunicação GPIB apresenta dois tipos: o paralelo, no qual oito bits são transmitidos simultaneamente, e o serial no qual os bites são transmitidos em seqüência, como no padrão CENTRONICS. Entretanto o padrão GPIB é bidirecional e permite que equipamentos compartilhem dados, sendo que dois equipamentos não podem transmitir dados simultaneamente. O padrão especifica 16 sinais de dados, "handshaking" e utiliza um cabo com 24 fios. Este padrão permite operar com uma taxa de transferência de dados até 1 [Mb/s] para distâncias de até 20 [m]. Para distâncias maiores é aconselhável a utilização de ligação por fibra óptica.

CENTRONICS [27]

Utiliza-se um conector de 36 pinos para implementar a comunicação de oito linhas de dados, sinais de "handshaking" e de terra. Os níveis de tensão são compatíveis com os integrados da linha TTL, ou seja, nível abaixo ou inferior a 0,8 [V] e nível alto superior a 2,4 [V] e menor que 5 [V]. Nesses níveis, o comprimento do cabo de comunicação não pode ser muito grande. Alguns fabricantes permitem que o cabo chegue próximo a 20 [m], enquanto outros não permitem comprimentos maiores do que 3 [m]. Essas diferenças devem-se às características dos circuitos eletrônicos utilizados no acionamento das linhas de sinais. Este padrão é utilizado quase exclusivamente para comunicação de dados de EES para uma impressora ou outro tipo de periférico.

4.13 - CONEXÃO A REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

As normas "interface" de conexão padronizam a ligação entre o ETD (Equipamento Terminal de Dados) e o ECD (Equipamento de terminação dos barramentos de dados). A figura

4.4 ilustra os elementos básicos de comunicação destacando a rede de telecomunicação e os ECD's [15].

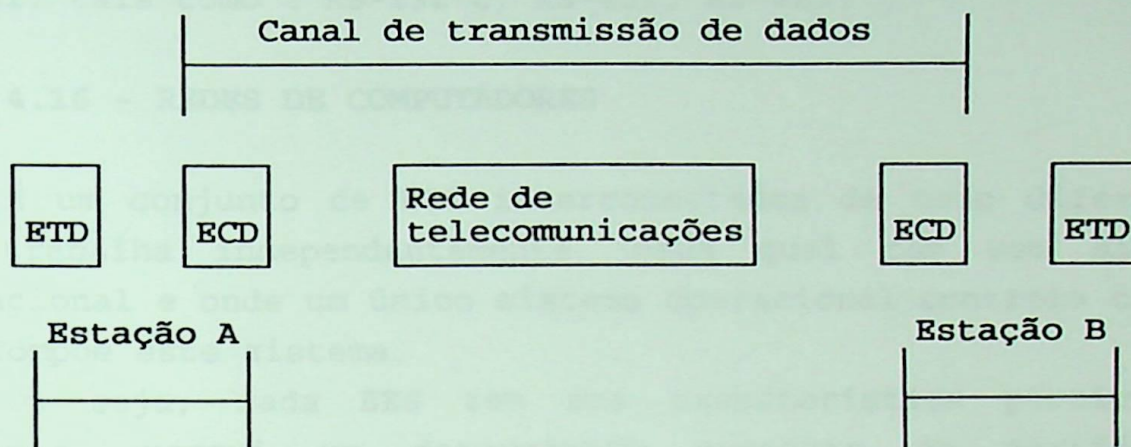


Fig 4.4 - Elementos básicos de comunicação [15].

4.14 - NÍVEIS DE SINAL

A CCITT recomenda que a potência aplicada por um sistema de modulação e demodulação ("modem") de dados de uma linha telefônica não deve ser maior que -10 [dbm], durante o tempo de ocupação. Se a proporção dos circuitos de dados no grupo portadora excede aproximadamente dez por cento dos circuitos totais, este valor é reduzido para -13 [dbm]. Os mesmos valores se aplicam a "modems" conectados às redes chaveadas (circuitos de discagem). Pode-se esperar que níveis similares de potência sejam recebidos pelo modem do equipamento multiplexador (dispositivo para efetuar uma transmissão simultânea de dois ou mais sinais sobre um meio comum de transmissão). Contudo, deve-se tomar cuidado e verificar se existem somente níveis recomendados. Quando existe uma grande proporção de circuitos de dados num sistema de portadora, pode-se mesmo necessitar de níveis mais baixos de sinais para evitar sobrecarga do sistema. Nestas circunstâncias somente a tentativa e erro determinará o nível apropriado.

4.15 - INTERFACES DE COMUNICAÇÃO - INTERFACE SERIAL

A maioria dos equipamentos de dados envia e recebe dados em série. Certos padrões definem a natureza da interface serial, tais como : RS-232-C, RS-422, RS-423.

4.16 - REDES DE COMPUTADORES

É um conjunto de EES interconectados de modo diferente, que trabalha independentemente, cada qual com seu sistema operacional e onde um único sistema operacional controla os EES que compõe este sistema.

Ou seja, cada EES tem sua característica particular, portanto, possui um determinado conjunto de periféricos (impressora, unidades de armazenamento, etc) e um determinado conjunto de software aplicativo. A maneira mais natural de se aproveitar todos os recursos existentes em diferentes EES seria interligar todos eles e explorar os recursos remotamente. A partir desta idéia surgiu o conceito de redes de computadores, um ambiente em que diversos EES estão interligados e dividem seus recursos [15].

Quanto às organizações de normas, nos EUA existem organizações de abrangência internacional que têm impacto significativo sobre o usuário de computadores com aplicação em comunicação de dados, que são: EIA, IEEE, ANSI, e CCITT [15].

4.17 - PROTOCOLOS PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS

A comunicação pode ser efetuada entre múltiplas camadas ("layers") com cada camada usando um protocolo específico. Os protocolos de comunicação de computadores usam as mesmas camadas funcionais. O modelo de referência OSI (Open Systems Interconnection) e ISO (International Standards Organization) identifica sete camadas funcionais. A ISO propôs tal modelo de referência para conexão de sistemas abertos em 1977, visando, no futuro, definir os padrões de sistemas distribuídos. O

modelo de referência OSI é aplicável às redes de grandes computadores.

4.18 CAMADAS ("LAYERS")

Os níveis de camadas são ilustrados na figura 4.5.

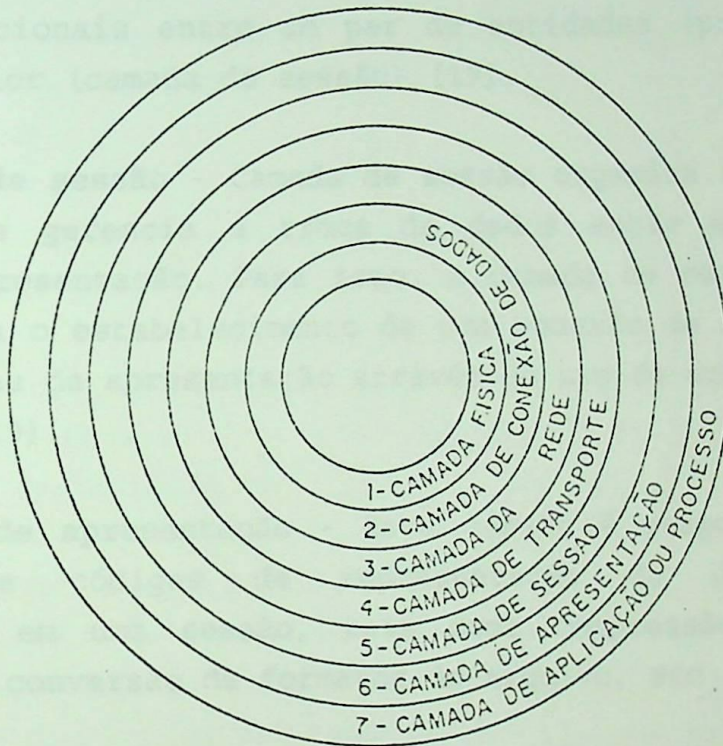


Fig 4.5 - Camadas do modelo OSI e ISO [15].

Camada física - Se encarrega das características elétricas, mecânicas, funcionais e de procedimentos [19].

Camada de conexão de dados - Define as características funcionais e de procedimentos a fim de manter e libertar conexões de enlace entre entidades da camada superior (camada de rede) [19].



Camada de rede - Define as características a fim de estabelecer, manter e liberar conexões de redes entre entidades da camada superior (camada de transporte). Uma conexão de rede permite a troca de unidades de informação entre um par de entidades da camada de transporte, isto é, uma conexão de rede é uma conexão ponto a ponto [19].

Camada de transporte - Fornece meios para estabelecer, manter e liberar conexões de transporte para transferência de dados bidirecionais entre um par de entidades (processos) da camada superior (camada de sessão) [19].

Camada de sessão - Camada de sessão organiza e sincroniza o diálogo, e gerencia a troca de dados entre entidades da camada de apresentação. Para isto, a camada de sessão fornece serviços para o estabelecimento de uma conexão de sessão entre duas entidades de apresentação através do uso de uma conexão de transporte [19].

Camada de apresentação - Esta camada é responsável pela conversão de códigos de representação de dados sendo transmitidos em uma sessão, tais como compressão de texto, codificação, conversão de formatos de arquivo, etc [15].

Camada de aplicação - O propósito da camada de aplicação é servir de "janela" entre "usuários" comunicantes no ambiente OSI, através da qual ocorre perda e troca de informação significativa para usuários. Cada usuário é representado para os demais pela sua entidade de aplicação correspondente [19].

Geralmente são programas de aplicação, do gênero de banco de dados distribuídos [15].

4.19 - INTERCONEXÃO DE REDES [15]

Atualmente existem diversos tipos de redes, com características bastante diferentes. Apesar do esforço de padronização que vem sendo realizado a nível internacional tanto para redes locais quanto para redes de longa distância, essa heterogeneidade deve continuar existindo devido a uma série de fatores como:

- Há um grande número de sistemas não OSI já instalados e que continuam sendo comercializados (SNA da IBM, TCP/IP/ LANs não - OSI, etc);

- Como computadores e redes estão ficando cada vez mais baratos, há uma tendência do usuário adquirir sua própria rede.

- Diferentes redes (ex: LAN e satélite) têm tecnologias, radicalmente diferentes, o que implicará em características igualmente diferenciadas.

Do ponto de vista técnico, a tarefa de interconectar redes é a de resolver os problemas de compatibilização entre as diferentes tecnologias.

As questões a serem abordadas ao se projetar essa interconexão incluem :

- Endereçamento e encaminhamento de mensagens.

- Fragmentação de mensagens.

- Detecção e recuperação de erros.

- Tipo de serviço: com ou sem conexão.

- Nível de interconexão.

- Controle de fluxo.

- Congestionamento.
- Segurança.
- Tarifação dos serviços.

Considerando as diferentes redes, pode-se imaginar os seguintes cenários de interconexão :

- 1 - LAN - LAN
- 2 - LAN - WAN
- 3 - WAN - WAN
- 4 - LAN - WAN - LAN

Obs : LAN = Local Area Network
WAN = Wide Area Network

A figura 4.6 a seguir ilustra os 4 tipos de interconexão. Em cada caso, há necessidade de se colocar uma "caixa preta" na junção entre as duas redes.

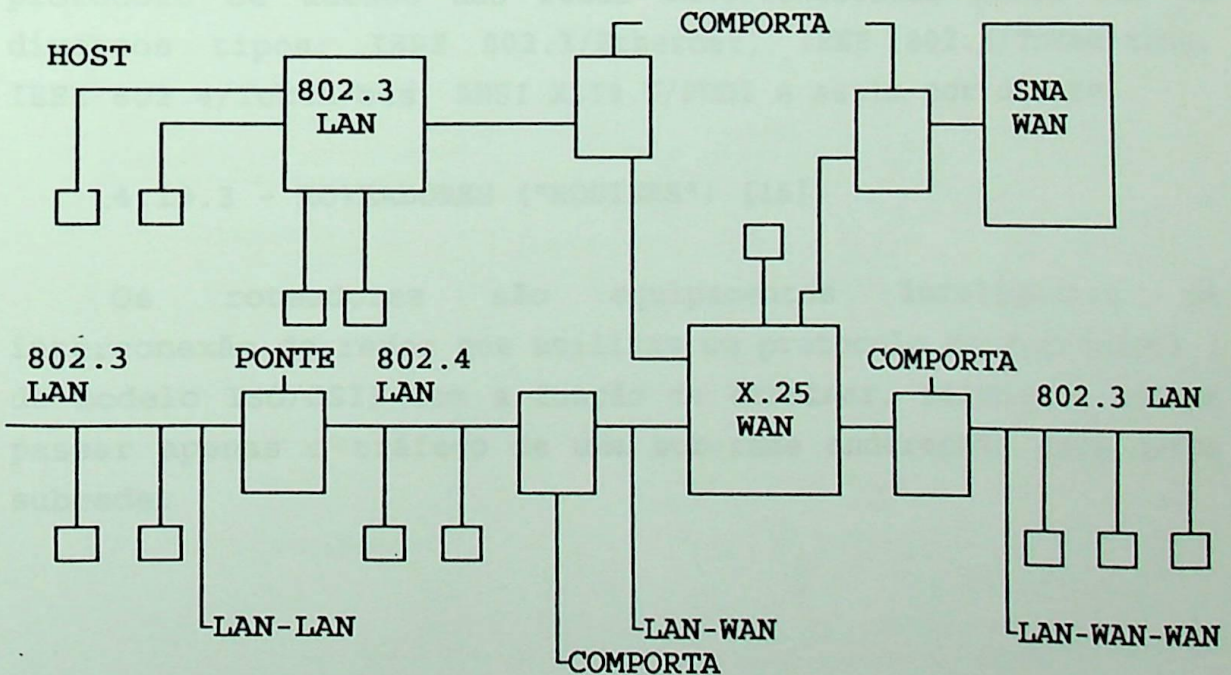


Fig 4.6 - Interconexão de redes [15].

Considerando o modelo OSI (divisão em níveis) as "caixas pretas" podem ser divididas em :

NÍVEL 1: repetidores ("Repeaters")

NÍVEL 2: pontes ("Bridges")

NÍVEL 3: roteadores ("Routers")

NÍVEIS SUPERIORES: comportas ("Gateways")

4.19.1 - REPETIDORES ("REPEATERS") [15]

Os repetidores são dispositivos que praticamente servem para amplificar sinais elétricos. Eles regeneram o sinal, permitindo que o comprimento do segmento pelo menos duplique a cada novo repetidor.

4.19.2 - PONTES ("BRIDGES") [15]

Os "bridges" são equipamentos que interconectam ao nível da camada de enlace (nível 2 do modelo OSI/ISO) duas ou mais redes com o intuito de permitir a passagem de quadros ("frames") entre estas. Diferentemente dos repetidores, o protocolo de acesso das redes interconectadas podem ser de diversos tipos: IEEE 802.3/Ethernet, IEEE 802.5/Token-ring, IEEE 802.4/Token-bus, ANSI X3T9.5/FDDI e assim por diante.

4.19.3 - ROTEADORES ("ROUTERS") [15]

Os roteadores são equipamentos inteligentes de interconexão de redes que utilizam um protocolo de rede (nível 3 do modelo ISO/OSI) com a função de examinar, filtrar e deixar passar apenas o tráfego de uma sub-rede endereçada para outra subrede.

4.19.4 - COMPORTAS ("GATEWAYS") [15]

Os "gateways" são equipamentos utilizados para interconectar redes com arquiteturas (protocolos) completamente diferentes através de uma conversão de protocolos.

Do ponto de vista de utilização prática, os "gateways" interconectam principalmente redes locais diferentes, redes locais com redes de longa distância e, por extensão, redes com "mainframes" da rede de terminais ou de uma rede proprietária.

4.20 - PROTEÇÃO DE TRANSIENTES E IMPULSO EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Os sistemas de comunicação como voz e transmissão de dados exigem proteção contra descargas elétricas.

A figura 4.7 ilustra um exemplo de sistema para proteção do sinal em transmissão de dados.

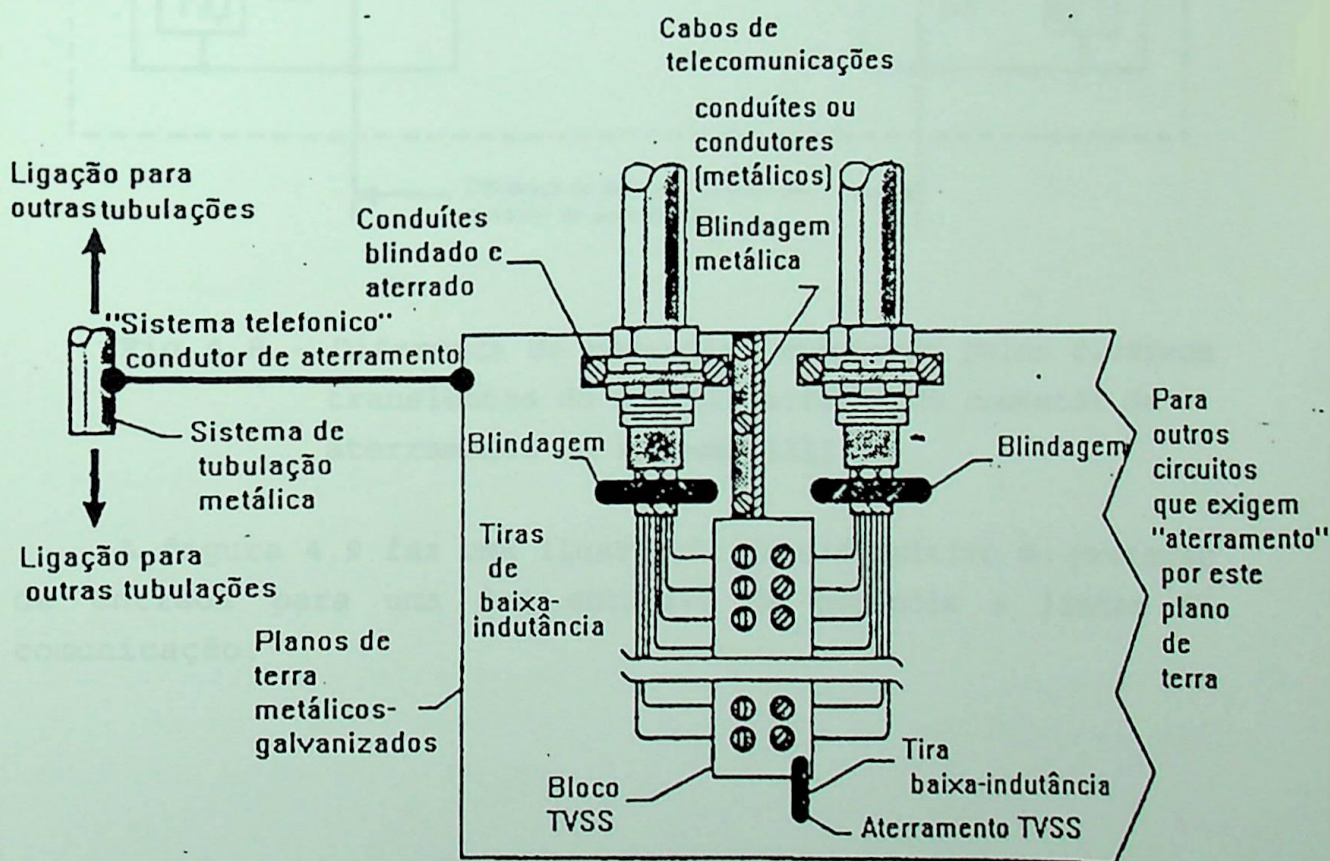


Fig 4.7 - Instalação recomendada para proteção do sinal [31].

Com a expansão do uso de produtos eletrônicos que têm conexão de porta de comunicação, deve-se ter uma proteção de circuitos na linha de potência e na linha de comunicação, ainda que o equipamento possa sofrer uma pane pela diferença de tensão originada durante o impulso. Então, uma conexão de circuitos é necessária para proteger o sistema. Na figura 4.8 ilustra a diferença de tensão entre as subunidades de potência nos diferentes circuitos derivados.

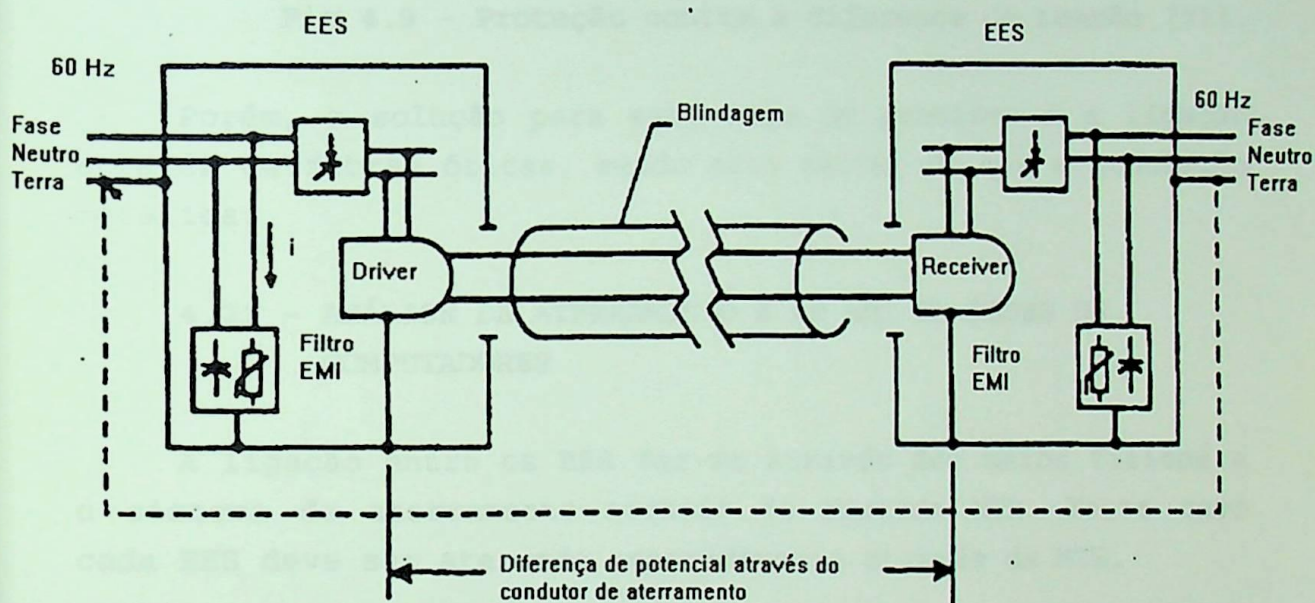


Fig 4.8 - Diferença de potencial originado pelos diversos transientes de energia através do condutor de aterramento do sistema [31].

A figura 4.9 faz uma ilustração do dispositivo de proteção de entrada para uma das entradas de potência e linhas de comunicação.

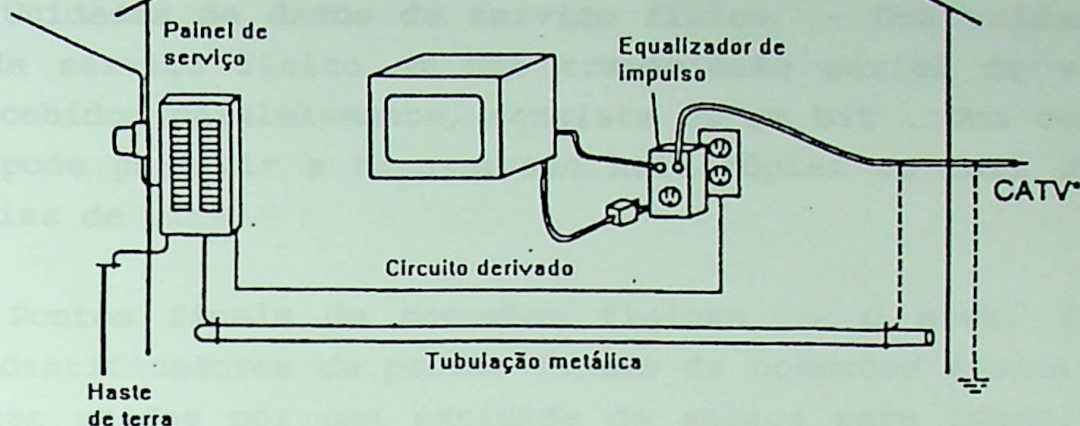


Fig 4.9 - Proteção contra a diferença de tensão [31].

Porém, a solução para este tipo de problema é a ligação através de fibras óticas, sendo esta melhor do que a tubulação metálica.

4.21 - ANÁLISE DE ATERRAMENTO E DE EMI EM REDES DE COMPUTADORES

A ligação entre os EES faz-se através dos meios físicos e o sistema de aterramento através do sistema MTR. Neste caso cada EES deve ser aterrado separadamente através da MTR.

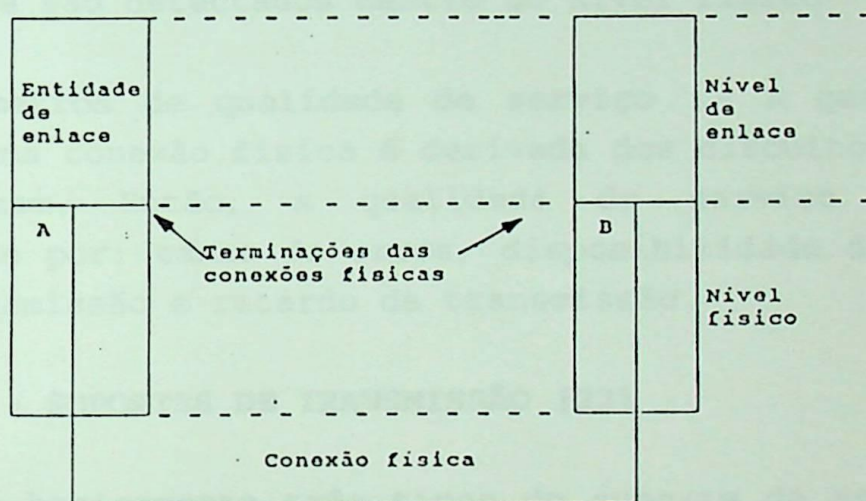
4.21.1 - NÍVEL FÍSICO

O nível físico tem como objetivo prover meios mecânicos, elétricos, funcionais e de procedimentos para ativar, manter e desativar conexões físicas para a transmissão de bits entre as quantidades de enlace. Uma conexão física pode envolver sistemas abertos intermediários, cada qual, encaminhando a transmissão dos bits no nível físico. As entidades físicas são interconectadas através de um meio físico. Segundo o modelo OSI, os seguintes serviços (ou elementos de serviço) devem ser providos pelo nível físico:

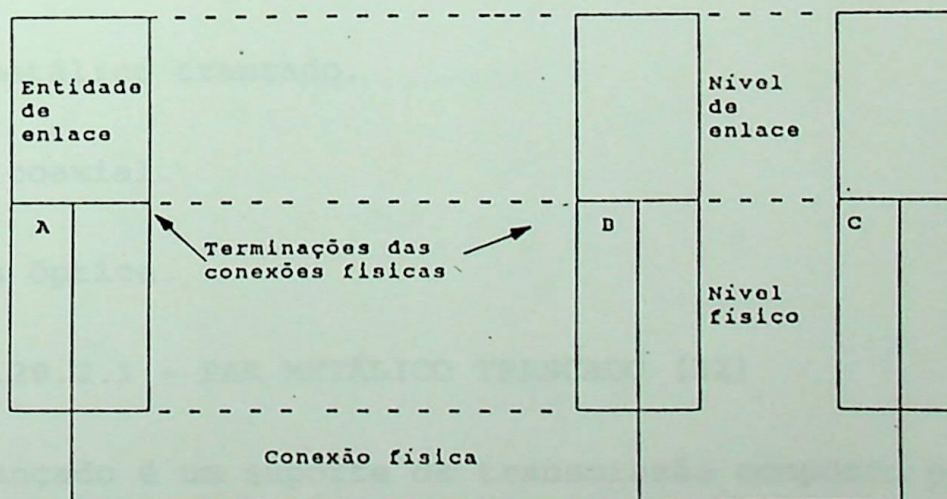
- Conexões físicas - O nível físico provê a transmissão transparente de cadeias de bit entre as entidades de enlace, através das conexões físicas.

- **Unidades de dados de serviço físico** - Uma unidade de dados de serviço físico em uma transmissão serial de vários bits recebidos paralelamente, consiste em um bit. Uma conexão física pode permitir a transmissão half dúplex ou full dúplex de cadeias de bits.

- **Pontos finais de conexões físicas** - O nível físico provê identificadores de pontos finais de conexões físicas que podem ser usados por uma entidade de enlace para identificar pontos finais de conexões físicas. Uma conexão física terá dois ou mais pontos finais, como ilustrado na figura 4.10.



Conexão ponto a ponto



Conexão de multiponto

Fig 4.10 - Exemplos de conexões físicas [15].

- **Identificação de circuitos de dados** - O nível físico provê identificadores que especificam circuitos de dados e entre dois sistemas abertos adjacentes. Esse identificador é usado pelas entidades de rede em sistemas abertos adjacentes para referir os circuitos de dados em seu diálogo.

- **Sequenciação** - O nível físico libera os bits na mesma ordem em que foram submetidos.

- **Notificação de condição de problema de operação** - As entidades são notificadas de condições de problemas de operação, que são detectados dentro do nível físico.

- **Parâmetros de qualidade de serviço** - A qualidade de serviço de uma conexão física é derivada dos circuitos de dados que a formam. Então, a qualidade de serviço pode ser caracterizada por: taxas de erros, disponibilidade de serviço, taxa de transmissão e retardo de transmissão.

4.21.2 - SUPORTES DE TRANSMISSÃO [22]

Existem basicamente três tipos de suporte de transmissão, usadas para os sistemas de transmissão em redes locais:

- Par metálico trançado.

- Cabo coaxial.

- Fibra óptica.

4.20.2.1 - PAR METÁLICO TRANÇADO [22]

Par trançado é um suporte de transmissão composto por dois fios metálicos (em geral, de cobre) enrolados em espiral. O trançado dos fios tende a manter constantes as propriedades elétricas ao longo do suporte, garantindo um melhor desempenho

na transmissão em relação a um par de fios em paralelo. Este tipo de suporte de transmissão é bastante tradicional nos sistemas telefônicos, o que implica uma grande disponibilidade. Em geral, um par trançado é disponível na forma de cabo telefônico, contendo vários pares (cabo multipar).

A capacidade de transmissão desse tipo de suporte é função de suas propriedades elétricas, tais como: resistência por unidade de comprimento, capacitância mútua por unidade de comprimento, etc. Estas propriedades, principalmente a resistência elétrica, dependem do diâmetro dos fios utilizados na formação do par trançado. Os pares trançados são encontrados em diâmetro ou bitolas já padronizadas, conforme a tabela 4.1 a seguir.

bitola (AWG)	19	22	24	26	28
diâmetro (mm)	0.912	0.644	0.511	0.405	0.320

Tabela 4.1 - Bitolas e diâmetros de fios metálicos [22].

Um exemplo de ligação com par trançado é ilustrado na figura 4.11.

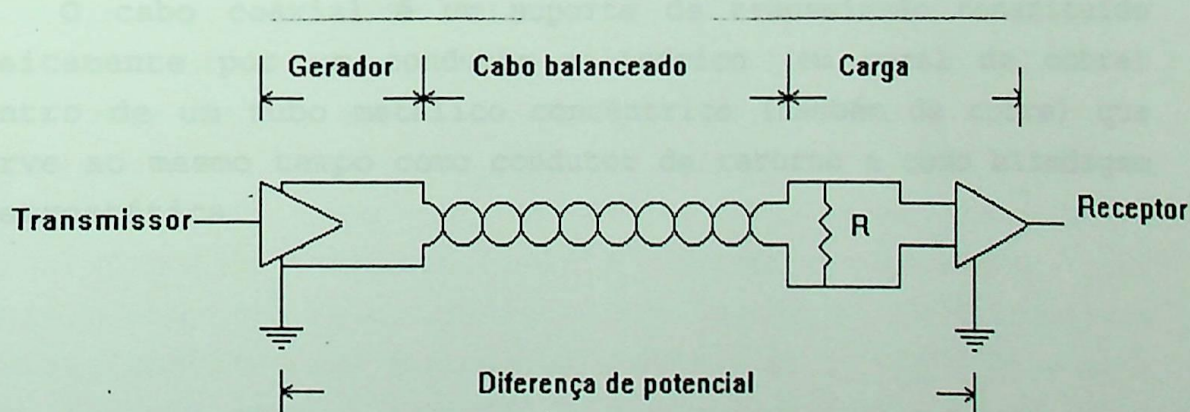


Fig 4.11 - Interface elétrica balanceada EIA RS 422 e CCITT V.11 OU X.27 [22].

O par trançado é considerado um suporte de transmissão com razoável imunidade ao ruído para sistemas operando em ambientes internos sem fontes importantes de ruído impulsivo. Uma limitação importante nos pares trançados decorre do fenômeno de diafonia ("crosstalk") quando se utiliza a transmissão em dois pares num mesmo cabo. Os problemas de diafonia podem ser reduzidos utilizando-se pares trançados blindados. A blindagem do cabo além de diminuir os efeitos dos ruídos elétricos externos, limita a emissão de radiofrequência pelo cabo.

Quanto às facilidades operacionais, o par trançado apresenta ótimas qualidades. É um suporte de transmissão de fácil manuseio devido a suas pequenas dimensões e grande maleabilidade, permitindo, portanto, uma instalação sem grandes transtornos. As dimensões sem encapsulamento plástico são ilustradas na tabela 4.1. A flexibilidade do cabo é maior quando os "fios" condutores do par são formados por feixes de fios de cobs encordoados. As conexões físicas dos transceptores com o par trançado são extremamente simples podendo constituir-se, por exemplo, na simples "soldagem" do par trançado

4.21.2.2 - CABO COAXIAL

O cabo coaxial é um suporte de transmissão constituído basicamente por um condutor cilíndrico (em geral de cobre) dentro de um tubo metálico concêntrico (também de cobre) que serve ao mesmo tempo como condutor de retorno e como blindagem eletrostática.



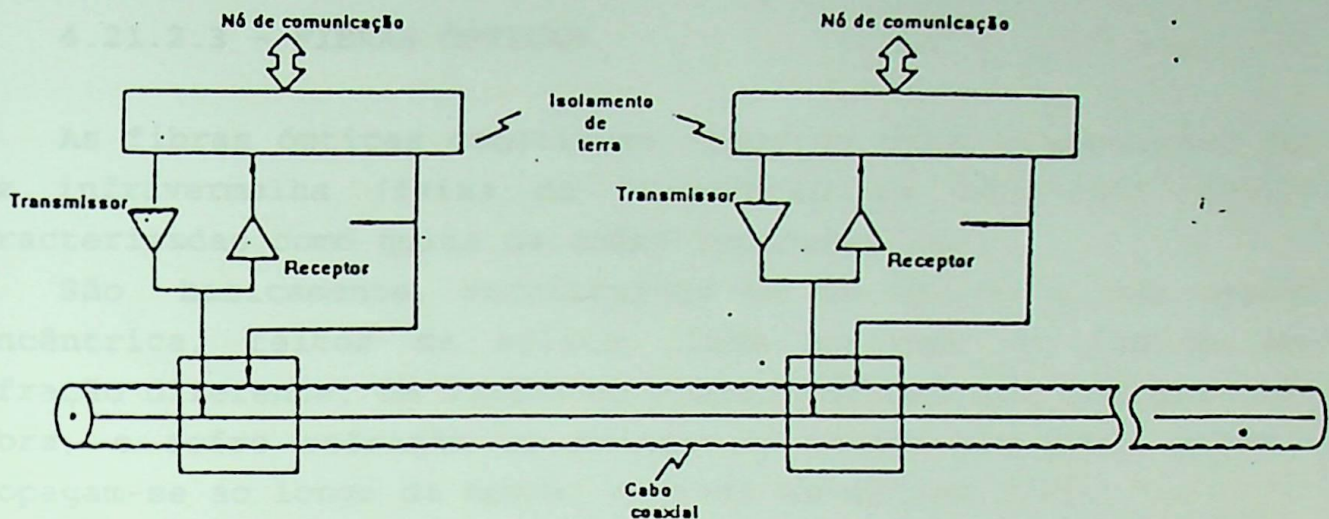


Fig 4.12 - Exemplo de utilização de cabo coaxial em redes de EES [22].

Os dois condutores são separados por um material dielétrico que pode ser o ar seco ou plástico. Normalmente, duas fitas de aço podem ser aplicadas em espiral sobre o condutor externo a fim de fornecer, além de proteção mecânica, uma eficiente blindagem magnética (cabos triaxiais). Isto aumenta a imunidade às diferenças de potencial entre os aterramentos nas extremidades do cabo.

A tecnologia de transmissão dos cabos coaxiais é determinada pela disposição geométrica dos condutores e pelas propriedades dos materiais utilizados, em particular do dielétrico entre os condutores. A partir desses parâmetros obtém-se as características de atenuação em função do comprimento do cabo que, em última análise determinam sua capacidade de transmissão. A estrutura mecânica mais consistente do cabo coaxial (homogeneidade dos parâmetros geométricos) e suas qualidades intrínsecas quanto à blindagem permitem um melhor controle e uma menor dependência com a frequência das suas constantes dielétricas. Disso resulta uma melhor capacidade de transmissão dos cabos coaxiais quando comparados com os pares trançados.

4.21.2.3 - FIBRAS ÓPTICAS

As fibras ópticas constituem suportes para transmissão de luz infravermelha (faixa de frequência de 1014-1015 [Hz]) caracterizadas como guias de ondas luminosas [22].

São basicamente, constituídas de um núcleo e uma casca concêntrica, feitos de sílica. Cada um tem um índice de refração diferente. Em função do sinal luminoso que ingressa na fibra, e sofre refração ao atingir a camada externa, estes, propagam-se ao longo da mesma, através do núcleo [22].

O índice de refração do núcleo pode variar discretamente ou continuamente, em relação ao índice de refração da casca. Quando o índice de refração do núcleo é constante (superior ao da casca), a luz incidente pode percorrer vários caminhos ao longo do núcleo, o que ocasiona um sensível alargamento do impulso luminoso emergente da fibra. Tais tipos de fibras são denominados fibras de índice degrau. Os diâmetros típicos usados neste tipo de fibra são de 200/380 [μm] (diâmetro do núcleo e casca, respectivamente).

Outro tipo de fibra é a de índice gradual, na qual o índice de refração do núcleo varia, crescendo da periferia para o núcleo. Neste tipo de fibra o alargamento do impulso luminoso é menor. As dimensões típicas utilizadas em fibras de índice gradual são de 50/125 [μm].

O terceiro tipo de fibra tem um núcleo de dimensão bem reduzida e, recebendo um determinado comprimento de onda de luz, transmite os fótons de um único modo ou caminho, o que reduz muito o alargamento do impulso luminoso emergente. Este tipo de fibra é denominado monomodal, cujas dimensões são de 8/125 [μm].

As figuras 4.13 e 4.14 ilustram uma fibra ótica e um sistema de transmissão da mesma.

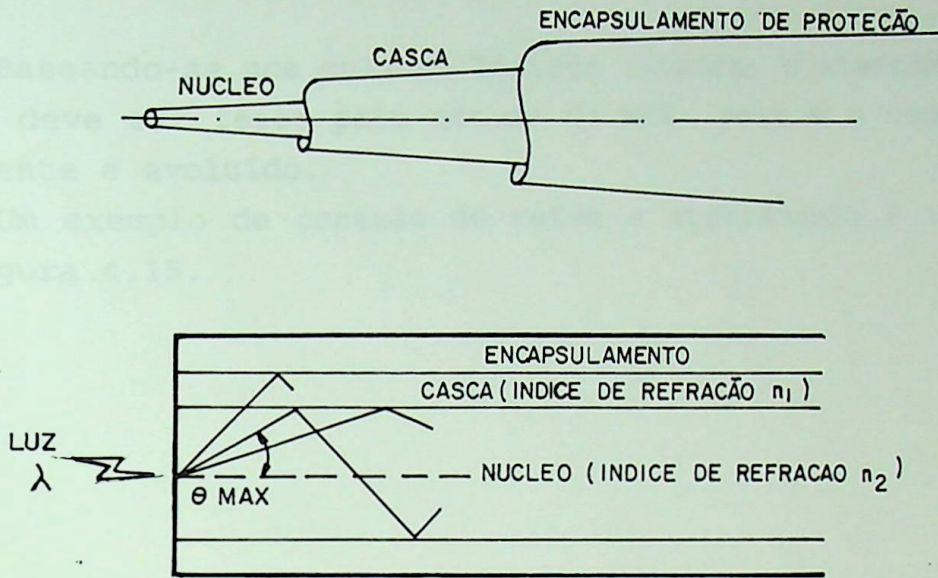


Fig 4.13 - Fibra óptica [22].

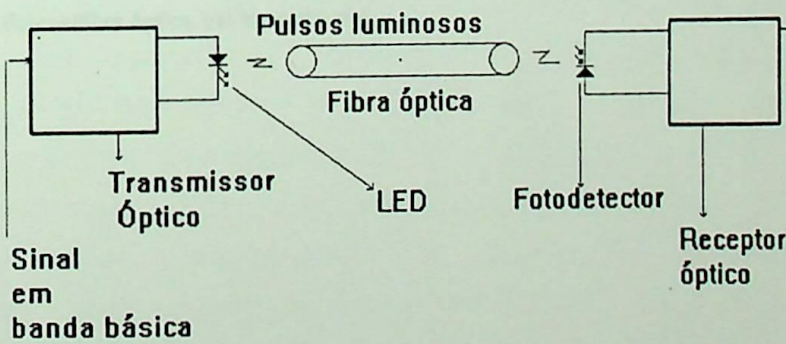


Fig 4.14 - Sistemas de transmissão ponto a ponto por fibras ópticas [22].

4.20.3 - ATERRAMENTO DE REDES

Baseando-se nos enlaces físicos citados, o aterramento das redes deve ser feito pelo método da MTR, pois é o modelo mais eficiente e evoluído.

Um exemplo de conexão de redes e aterramento é ilustrado na figura 4.15.

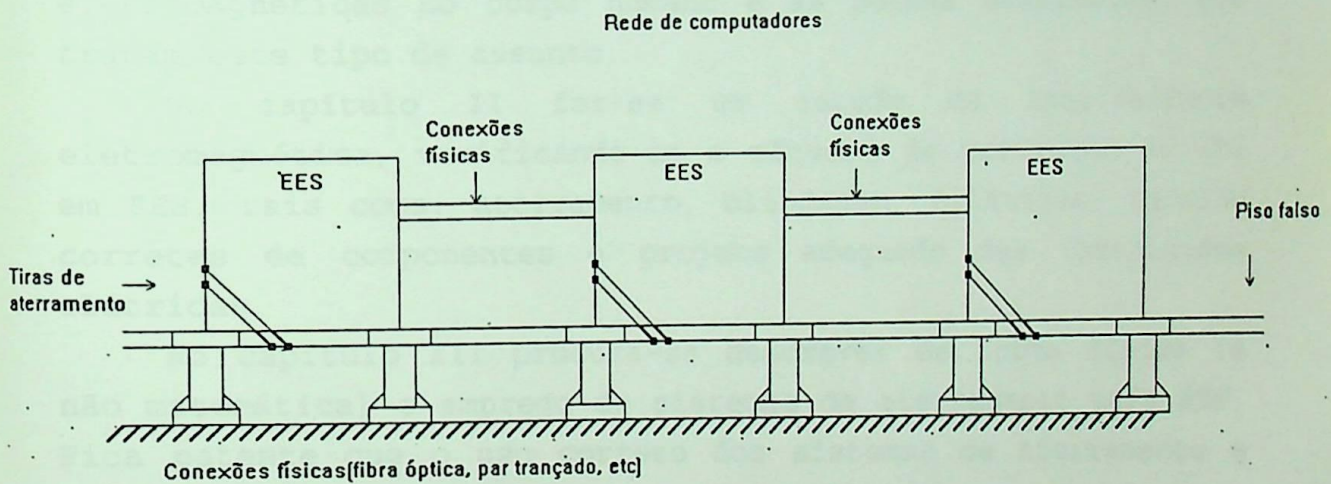


Fig 4.15 - Ligações e aterramentos de redes de EES.

CAP V

CONCLUSÕES E PROPOSTAS FUTURAS

Nesta dissertação fez-se um levantamento do estado da arte, terminologia, conceitos e métodos para controle de EMI em EES. Comentou-se os efeitos dos principais métodos de aterramento nas EMI/EMC. O resultado da análise destes métodos são de grande importância nas aplicações de EES e redes de computadores.

No capítulo I fez-se um estudo teórico dos principais tipos de aterramento, as influências de interferências eletromagnéticas no corpo humano e as normas brasileiras que tratam este tipo de assunto.

No capítulo II fez-se um estudo de interferência eletromagnética, verificando-se a métodos de prevenção de EMI em EES, tais como: aterramento, blindagem, filtragem, escolha corretas de componentes e projeto adequado das instalações elétricas.

No capítulo III procura-se descrever de forma física (e não matemática) o emprego de sistemas de aterramento para EES. Fica patente que o uso correto dos sistemas de aterramento é apenas uma das medidas de controle de EMI/EMC. Portanto, estas medidas devem observar os seguintes tópicos: aterramento, técnicas corretas de instalação e blindagem.

As descargas atmosféricas são responsáveis por uma alta porcentagem dos distúrbios e queimas dos dispositivos eletrônicos, requerendo atenção especial. Portanto, o emprego de supressores de tensão é uma metodologia correta de proteção contra descargas atmosféricas nos locais onde são empregados os EES.

Dos métodos citados para aterramento de EES, o sistema MTR (malha de terra de referência), é o mais eficaz sendo de excelente aplicação. Apresenta, por conseguinte um melhor

desempenho e maior segurança, em relação aos aterramentos de ponto único e o isolado (IG).

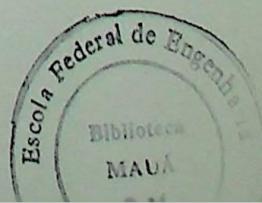
No capítulo IV faz-se uma apresentação de sistemas de comunicação de dados e os mesmos com redes de computadores, que na realidade são conjuntos de EES, e são aterrados com sistemas MTR, juntamente com enlace físico da rede.

Analizando-se os dados levantados ao longo deste estudo, é possível concluir que a aplicação do método MTR, para sistemas de aterramento de EES é uma ótima solução para minimizar EMI em tais sistemas.

Finalmente os futuros estudos de EMI/EMC em EES devem focar especificamente estudos de ligações com fibras ópticas, pois têm-se uma tendência de economia nos custos e, obviamente, melhor disponibilidade no mercado.

Referências Bibliográficas

- [1] ABNT. Comitê Brasileiro de Eletricidade. *Métodos de medição de perturbações eletromagnéticas na faixa de radio frequência*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-104:1)
- [2] _____. *Limites e métodos de medição de radiointerferência de aparelhos eletrodoméstico*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-105:1)
- [3] _____. *Limites e métodos de radiação de radiointerferência e luminárias*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-105:2)
- [4] _____. *Limites e métodos de medição de característica de radio interferência de receptores de televisão e radiodifusão e equipamentos associados*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-108:1)
- [5] _____. *Especificação de limites e métodos de medição de radio interferência de equipamentos ISM*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-109:1)
- [6] _____. *Limites e métodos de medição das características de perturbação de radiofrequência geradas por veículos, barcos a motor e equipamentos acionados por motor a combustão com ignição por centelha*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-110:1)
- [7] _____. *Métodos de medição de radio interferência*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-111:1)
- [8] _____. *Localização e correção de radiointerferência em redes de distribuição*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-112:2)



- [9] COSTA, Paulo Fernandes. Características e evolução dos sistemas de aterramento para Equipamentos Eletrônicos. *Eletricidade Moderna*, São Paulo, maio, p. 43-50, 1992.
- [10] LAMPARELLI, Claudia Condé; ALESSIO FILHO, Antonio; HERNANDEZ, Jesus Gonzalez. *Radiações de microondas e radiofrequência - Efeitos biológicos*. In: Seminário Internacional sobre Compatibilidade Eletromagnética, I, São Paulo, 20 de out. 1993, Anais..., São Paulo: ABRICEM, 1993. p. 23-28
- [11] HUGH, Denny W.. *Grounding for the control of EMI*. Gainesville: Don White Consultants, 1993.
- [12] VELLANO NETO, Victor. *Normalização e legislação brasileira sobre compatibilidade eletromagnética*. In: Seminário Internacional sobre Compatibilidade Eletromagnética, I, São Paulo, 20 de out. 1993, Anais..., São Paulo: ABRICEM, 1993. p. 1-9
- [13] *Aterramento de Sistemas Elétricos Sensíveis*. Itajubá: GSI-Engenharia e Comercio, 1993. (Relatório Técnico)
- [14] ANSI/NFPA. *National electrical code*. [s.l:s.n.], 1993. (70)
- [15] SALGADO, Antonio Ésio Marcondes & HASHIOKA, Mauro Hissao. *Redes de computadores: notas de aulas*. São José dos Campos: INPE, 1990. (Apostila).
- [16] RIBEIRO, José Antonio Justino. *Introdução as técnicas de sinalização: notas de aulas*. Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 1985. (Apostila).
- [17] RIBEIRO, José Antonio Justino. *Ruídos e interferências: notas de aulas*. Itajubá: EFEI, 1982. (Apostila)

- [18] MARDIGUIAN, Michel. *How to control eletrical noise*. Gainesville: Don White Consultants, 1983. p. ir.
- [19] MOURA, José Antonio Beltrão; SAUVÉ, Jaques Phillipe; GIOZZA, William Ferreira. *Redes locais de computadores- protocolo de alto nível e avaliação de desempenho*. São Paulo: MC GRAW HILL, 1986.
- [20] MÉTODOS de controle e prevenção de EMI. *Eletricidade moderna*, São Paulo, ago, 1994. p. ir.
- [21] RIBEIRO, José Antonio Justino. *Sinalização DC: notas de aulas*. Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 1985. (Apostila).
- [22] MOURA, José Antonio Beltrão; SAUVÉ, Jaques Phillipe; GIOZZA, William Ferreira. *Redes locais de computadores- tecnologia e aplicações*. São Paulo: MC GRAW HILL , 1986.
- [23] CONTRIN, Ademaro A.M.B. *Instalações Elétricas*, 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1992.
- [24] QUEVEDO, Carlos Peres. *Eletromagnetismo*. São Paulo: MC GRAW HILL, 1978.
- [25] EDIMINISTER, Joseph A. *Eletromagnetismo*. São Paulo, MC GRAW HILL, [198-].
- [26] DINIZ, Aroldo B. & FREIRE Gabriel F. O. *Ondas eletromagnéticas*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.
- [27] RIBEIRO, José Antonio Justino. *Comunicação de dados em paralelo: notas de aulas*. Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 1985. (Apostila).

- [28] GARCIA, R. T. Falhas em sistemas eletrônicos Causados por ruídos elétricos. *Boletim SOBRACOM*. São Paulo, ano v, maio/junho, 1989. p. 44-42

- [29] FALCÃO JÚNIOR, Roberto Menna de Barros. *Introdução à compatibilidade eletromagnética: aterramento e blindagem*. Rio de Janeiro: QALAB Proteção Eletromagnética, 1980. p.ir.

- [30] ABNT. Comitê Brasileiro de Eletricidade. *Instalações elétricas de baixa tensão*, 2. ed. Rio de Janeiro: C.Q. Ltda, 1990. (NB3)

- [31] IEEE. *Recomended pratical for powering and grounding sensitive eletronics equipament (emerald)*. [s.n : s.n], 1992. (STD 1100)

- [32] MORRISON, R. & LEWIS, W. H. . *Grounding and shielding in facilites*. New York: John Wiley, 1990.

- [33] KYRIAZIS, Gregory Amaral. Aterramento de sistemas de processamento de dados. *Eletricidade Moderna*, São Paulo, julho, p. 10-22, 1987.

- [34] *PC MAGAZINE DO BRASIL*, São Paulo, vol. 5, n. 7, 1995.

- [35] AURÉLIO, José & LEON Moreno. *Sistemas de aterramento*. São Paulo: ENRICO do Brasil comercio e industria, 1982.

- [36] *Fornecimento de energia elétrica - Tensão de subtransmissão 88/138 [kV]* - ELETROPAULO, São Paulo, 1988.

- [37] *Fornecimento de energia elétrica em tensão e edificações individuais* - CESP, São Paulo, 1989.

- [38] Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição -Instruções gerais -ELETROPAULO, São Paulo, 1985.
- [39] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. COMITÊ BRASILEIRO DE ELETRICIDADE. *Projeto de linhas aéreas de transmissão*. São Paulo:ABNT/ NBR 5422/85, 1985

Bibliografia

- [1] CATANI, Jean Pierre. *Sensibilização as agressões eletromagnéticas*. S.J. dos Campos: CTA/IFI/PROPESA, 1991. (apostila)
- [2] MORRISSON, Ralph. *Grounding and shielding in instrumentation*. New York: John Wiley, 1967. 145 p.
- [3] STANDLER, R.B. . *Protection of eletronic circuits for overvoltages*. New York: John Wiley ,1965.
- [4] SUNDE, E.D. . *Lightning Protection for Buried Tall Cable*. *Bell system technical journal*, [s.l.], n. 24, april, 1945.
- [5] IEEE . *Standart general requirements for liquid inversed distribution power and regulating transformers*. [s.l.:s.n.], 1987. (STD C. 57.1200)
- [6] ANSI/NFPA. *Standart of eletrical safety requeriments for employee workplaces*. [s.l.:s.n.], 1988. (70E)
- [7] ANSI. *National eletrical safety code*. [s.l.:s.n.], 1990. (ANSI C2)
- [8] _____. *American national standart for eletric power systems and equipment voltage ratings*. [s.l.:s.n.], 1989. (C 84.1)
- [9] UL. *Information technology equipment including eletrical bussines equipment*. [s.l:s.n], 1989. (1950)

- [10] UL. *Installation requirements for lighting protection systems*. [s.l. : s.n.], 1982. (96 A)
- [11] _____. *Secondary protectors for communications circuits*. [s.l.:s.n.], 1990. (497 A)
- [12] _____. *Protector for powred condutor communications circuits*. [s.l.: s.n.], 1991. (497)
- [13] ANSI/NFPA. *National eletrical code*. [s.l:s.n], 1990. (70)
- [14] _____. *Protection eletronic computer/data processing*. [s.l.:s.n.], 1992. (75)
- [15] _____. *Lighting protection code*. [s.l.:s.n.], 1992. (780)
- [16] **FEDERAL INFORMATION PROCESSING STANDART**. Guideline on eletrical power for ADP installations, [s.l.:s.n.] 1983.(publication 94)
- [17] RIBEIRO, José Antonio Justino. *Terminais para comunicação de dados: notas de aulas*, Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 1985 .
- [18] IIZUKA, K. *Teleprocessamento*. São Paulo: Atlas, 1985.
- [19] IEEE. *IEEE Recommend pratice for emergency and standby power systems for industrial and commercial applications (orange book)*. [s.l.:s.n.], 1987. (STD 446)
- [20] _____. *IEEE Recommend pratice on surge voltage in low-voltage AC powercircuits*. [s.l.:s.n.], 1991. (STD C62.41)



- [21] IEEE. *IEEE Guide for harmonic control and reactive compensation of static power converts*. [s.l.:s.n.], 1992. (STD 519)
- [22] _____. *IEEE Recommend pratice for grounding of industrial and commercial systems (green book)*. [s.l.:s.n.], 1982. (STD 142)
- [23] _____. *IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of ground system*. [s.l.:s.n.], 1983. (STD 81)
- [24] _____. *IEEE Guide on surge testing for equipment to low-voltage Ac power circuits (ANSI)*. [s.l.:s.n.], 1987. (STD C 62.45)
- [25] ANSI/ UL . *Lighthning protection components*. [s.l.:s.n.], 1985. (96)
- [26] CISPR. *Especification for radio interference measuring apparatus and measurement methods*. 2. ed. [s.l.:s.n.], 1987. (CISPR-A - Radio inteference measurements and statistical methods, 16).
- [27] _____. *Methods of measurement of the suppresion characteristtics of passive radio interference filters*. 1981. (CISPR-A - Radio inteference measurements and statistical methods, 17).
- [28] _____. *Limitts and methods of measurement of eletromagnetic disturbance characteristics of ISM radio-frequency equipment*. 2. ed. 1990. (CISPR-B - Interference from industrial scientific and medical apparatus (ISM), 11).

- [29] CISPR. *Determination of limits for ISM equipment*. 1987. (CISPR-B - Interference from industrial scientific and medical apparatus ISM, 23).
- [30] _____. *Guidance on the use of the substitution method for measurement of radiation from microwave ovens*. 1983. (CISPR-B - Interference from industrial scientific and medical apparatus ISM, 19).
- [31] _____. *Description of phenomena*. 1982. (CISPR-C - Interference from overhead power lines, high voltage equipment and electric traction systems, 18-1).
- [32] _____. *Methods of measurement procedure for determining limits*. 1986. (CISPR-C - Interference from overhead power lines, high voltage equipment and electric traction systems, 18-2).
- [33] _____. *Code of practice for minimizing the generation of radio noise*. 1986. (CISPR-C - Interference from overhead power lines, high voltage equipment and electric traction systems, 18-3).
- [34] _____. *Methods of measurement and procedure for determining limits*. 1990. (CISPR-D - Interference relating to motor vehicles and internal combustion engines, 12).
- [35] _____. *Interference to mobile radiocommunications in the presence of impulsive noise; methods of judging degradation and improve performance*. 1985. (CISPR-D - Interference relating to motor vehicles and internal combustion engines, 21).

- [36] CISPR. *Interference to mobile radiocommunications in the presence of impulsive noise; methods of judging degradation and improve performace*. 1985. (CISPR-D - Interference relating to motor vehicles and internal combustion engines, 21).
- [37] _____. *Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of sound and television broadcast receivers and associated equipment*. 2. ed. 1990. (CISPR-E - Interference characteristic of radio and TV receivers, 13).
- [38] _____. *Limits and methods of measurement of immunity characteristics of sound and television broadcast receivers and associated equipment*. 2. ed. 1990. (CISPR- E - Interference characteristic of radio and TV receivers, 20).
- [39] _____. *Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of household eletrical appliances, portable tools and similar eletrical apparatus*. 3. ed. 1993. (CISPR-F - Interference from household, ligthing apparatus and the like, 14).
- [40] _____. *Limits and methods of measurements of radio interference of fluorescent lamps and luminaires*. 2. ed. 1985. (CISPR-F - Interference from household, ligthing apparatus and the like, 15).
- [41] _____. *Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of information technology equipment*. 1985 (CISPR-G - Interference from information technology equipment, 22).

- [42] IEC. - *Eletromagnetic compatibility*. [s.l.:s.n.] [198-].
(Eletromagnetic compatibility of eletrical equipment including network - TC 77, 1000).
- [43] _____. *Considerations on reference impedance for use in determination the disturbance characteristics*. [s.l.: s.n.] [198-]. (Eletromagnetic compatibility of eletrical equipment including network - TC 77, 725).
- [44] _____. *Guide to voltage flutuation limits for hausehold appliances*. [s.l:s.n.] [198-]. (Eletromagnetic compatibility of eletrical equipment including network- TC 77, 725).
- [45] _____. *Flickermeter*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Eletromagnetic Compatibility of Eletrical Equipment Including Network - TC 77, 868).
- [46] _____. *Disturbance in supply caused by household appliances and similar*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Eletromagnetic Compatibility of eletrical equipment including network - TC 77, 555).
- [47] _____. *Guide on methods of measurements of short duration transients*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Eletromagnetic Compatibility of eletrical equipment including network - TC 77, 827).
- [48] _____. *General introduction*. [s.l:s.n.] [198-]. (Industrial-process measurement and control - TC 65, 801-1).
- [49] _____. *Electrostatic discharge requirements*. [s.l:s.n.] [198-]. (Industrial-process measurement and control - TC 65, 801-2).

- [50] IEC. *Radiated eletromagnetic fields requirements*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Industrial-process measurement and control - TC 65, 801-3).
- [51] _____. *Eletrical fast transient/burst requirements*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Industrial-process measurement and control - TC 65, 801-4).
- [52] _____. *Eletromagnetic compatibility of eletrical and eletronic installations in ships*. [s.l.:s.n.] [198-]. (Eletrical installations in ships - TC 18, 533).
- [53] ABNT. Comitê Brasileiro de Eletricidade. *Métodos de medição de perturbações eletromagnéticas na faixa de radio frequência*. [s.l.:s.n.], [197-]. (CE-104:1)
- [54] _____. *Instrumentos de medição de radio interferência na faixa de 0.15 Mhz a 30 Mhz - Padronização..* [s.l.:s.n.], 1983. (NBR 7875)
- [55] _____. *Linhas e equipamentos de alta tensão - medição de radio interferência na faixa de 0.15 Mhz a 30Mhz - Método de ensaio*. [s.l. s.n.], 1983. (NBR 7876)
- [56] _____. *Lâmpadas fluorescentes e luminárias - Medição de radiointerferência - Método de ensaio*. [s.l.:s.n.], 1983. (NBR 8184)
- [57] _____. *Televisão e radiodifusão sonora - medição características de radio interferência - Método de ensaio*. [s.l.:s.n.], 1985. (NBR 908)
- [58] _____. *Localização e remoção de focos de RI em linhas aéreas de alta tensão*. [s.l.:s.n.], 1987. (NBR 9890)

- [59] ABNT. *Receptores de televisão e radiodifusão sonora - interferência radiada e conduzida na faixa 30 Mhz a 1000mhz - Limites e método de medição.* [s.l.:s.n.], 1989. (NBR 10620)
- [60] _____. *Limites e métodos de medição de radio perturbação em equipamento para tecnologia da informação - (ETI).* [s.l.:s.n.], 1992. (NBR 1388)
- [61] _____. *Limites e métodos de medição de caraterísticas de radiointerferência e equipamentos industriais, científicos e médicos (ISM).* [s.l.:s.n.]. (Projeto 03: 109.01 - 001)
- [62] NORDGARD, J.D.& and CHEN C.L., *FAA LIGHTNING PROTECTION STUDY: LIGHTING INDUCET SURGES ON BURIED SHIELDED TRANSMISSION LINES; NUMERICAL ANALISES ANDRESULTS*, FAA REPORT # FAA-RD-77-83, FAA-Georgia Institut of Technology. Workshoop on Grounding and Lightning Technology. May 1,1977.
- [63] SUNDE, E. D. *Earth condution effects on transmisson systems.* [s.l.:s.n.]: Dover Publications, 1968.
- [64] OTT, Henry W.. *Noise reduction techniques in eletronic systems.* [s.l.:s.n], 1976.
- [65] LEWIS, W.H. *Shielding (Eletricity).* New York: John Wiley, 1985.

1 - ATERRAMENTO

Os sistemas de aterramento devem ser implantados no campo de trabalho de forma adequada para proporcionar a segurança das pessoas observadas as seguintes recomendações:

Corrente de fuga deve ser limitada a 5 mA para a tensão de 250 V e a 10 mA para a tensão de 500 V.

Resistência total do sistema de aterramento deve ser menor que 100 Ω para a tensão de 250 V e 200 Ω para a tensão de 500 V.

APÊNDICE 1

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Os sistemas de aterramento devem ser projetados de forma adequada para garantir a segurança das pessoas observadas as seguintes recomendações:

geração (usina) e a subestação de transmissão de energia elétrica devem estar próximos. Para isso, os condutores de aterramento devem ser dimensionados de acordo com a corrente de curto-circuito que pode ocorrer nos condutores de aterramento.

A figura 1 ilustra a configuração

1 - ATERRAMENTO DA GERAÇÃO E DAS SUBESTAÇÕES ELEVADORAS [36]

Os sistemas de geração são aterrados por malha de terra implantada no subsolo da usina, onde todo sistema é aterrado.

Para dimensionamento da malha de terra deverão ser observados os seguintes elementos:

- Corrente de curto-circuito fase-terra no barramento de entrada da estação.

- Resistência total da malha de terra não poderá ultrapassar 2 Ω , medida sem qualquer conexão com cabos pára-raios e com sistema de distribuição ligado.

Entre o sistema de geração e elevação de energia, geralmente, o sistema é considerado como multi-aterrado devido a localização dos dois sistema serem próximas. Normalmente, a geração (usina) e a subestação elevadora de uma concessionária, estão próximos. Por isso, interliga-se a malha de terra da geração e malha de terra da subestação de elevação através de condutores de cobre cru.

A figura 1 ilustra este sistema:

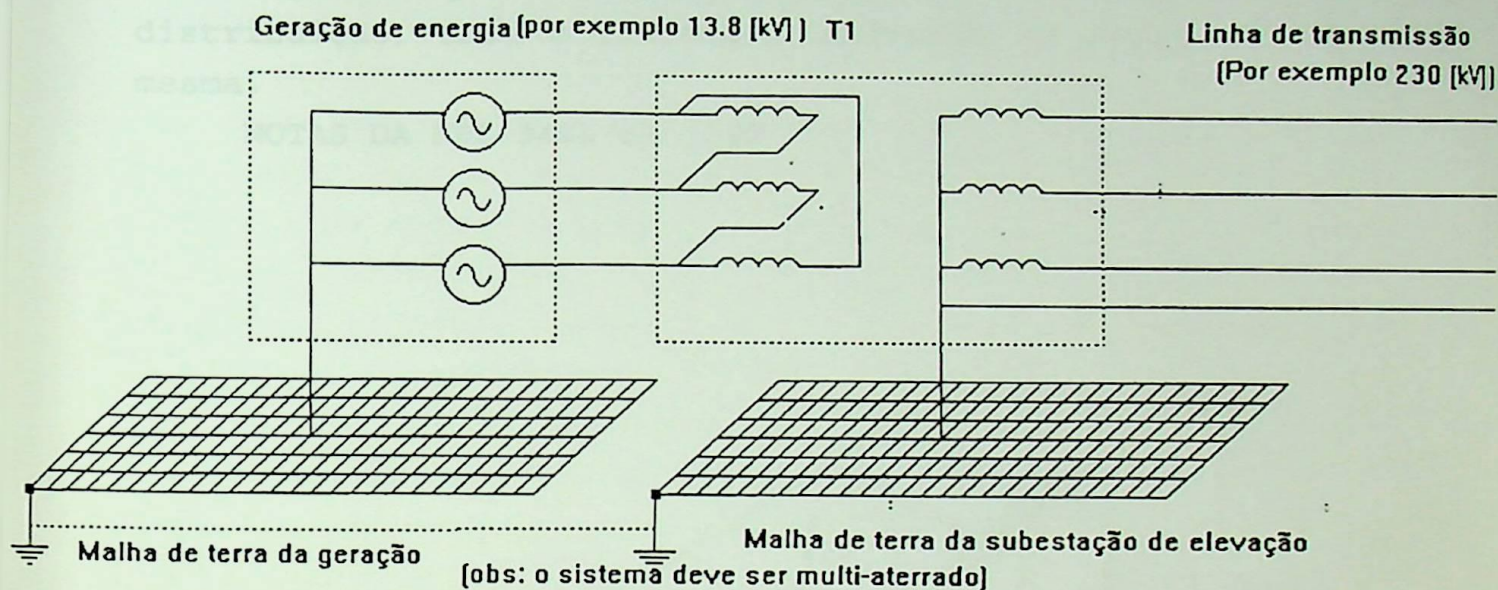


Fig 1 - Aterramento da geração e da subestação elevadora

2 - SISTEMAS DE ATERRAMENTO DA TRANSMISSÃO

As características do aterramento da transmissão são as seguintes:

- As torres de transmissão são multi-aterradas pelos cabos guardas.

3 - SISTEMA DE ATERRAMENTO DE DISTRIBUIÇÃO

Os tipos de aterramento de distribuição, são projetados e normalizados de acordo com o critério desejado de acordo com cada concessionária de distribuição de energia elétrica (CEMIG, ELETROPAULO, etc). O sistema a seguir é observado em normas de acordo com a ELETROPAULO.

O valor da resistência de terra, em qualquer época do ano, não deve ser superior a $10 [\Omega]$, observando-se que a malha de aterramento deve ser composta no mínimo de três eletrodos (hastes) de aterramento.

Na malha de aterramento, devem ser utilizados preferencialmente eletrodos cobreados, com $15 [\text{mm}]$ de diâmetro e $2.40 [\text{m}]$ de comprimento mínimo.

As distâncias de instalação entre eletrodos de aterramento devem ser iguais ou maiores que o comprimento dos eletrodos, observado o mínimo de $3.00 [\text{m}]$ para distâncias entre eletrodos de comprimento inferior a este valor.

Os eletrodos de aterramento devem ser eletricamente interligados por condutores de cobre cru, com secção igual à do condutor de aterramento de maior bitola.

Os condutores de aterramento devem em ser tão curtos e retilíneos quanto possível, sem emendas ou quaisquer dispositivos que possam causar sua interrupção.

As conexões entre condutores de aterramento e a malha de aterramento devem ser feitas no interior de caixas de inspeção de aterramento, por meio de conectores apropriados, não sendo permitido o uso de solda mole.

Todas as partes metálicas (massas), não destinadas a conduzir corrente, devem ser aterradas por meio de condutores de cobre, seção mínima de $25 [\text{mm}^2]$, interligadas a condutor de aterramento de mesmo tipo e seção.

O neutro deve ser interligado com a malha de aterramento, empregando-se, para esse fim, um condutor de cobre isolado (cabo isolado, ou barramento fixado em isoladores), até um terminal de cobre, tipo barra, onde deve ser conectado. Este terminal de interligação neutro-terra deve ser instalado sob a

terminal de interligação neutro-terra deve ser instalado sob a caixa de medidores e deve ser ligado diretamente à malha de aterramento.

As figuras seguintes ilustram estes tipos de aterramento.

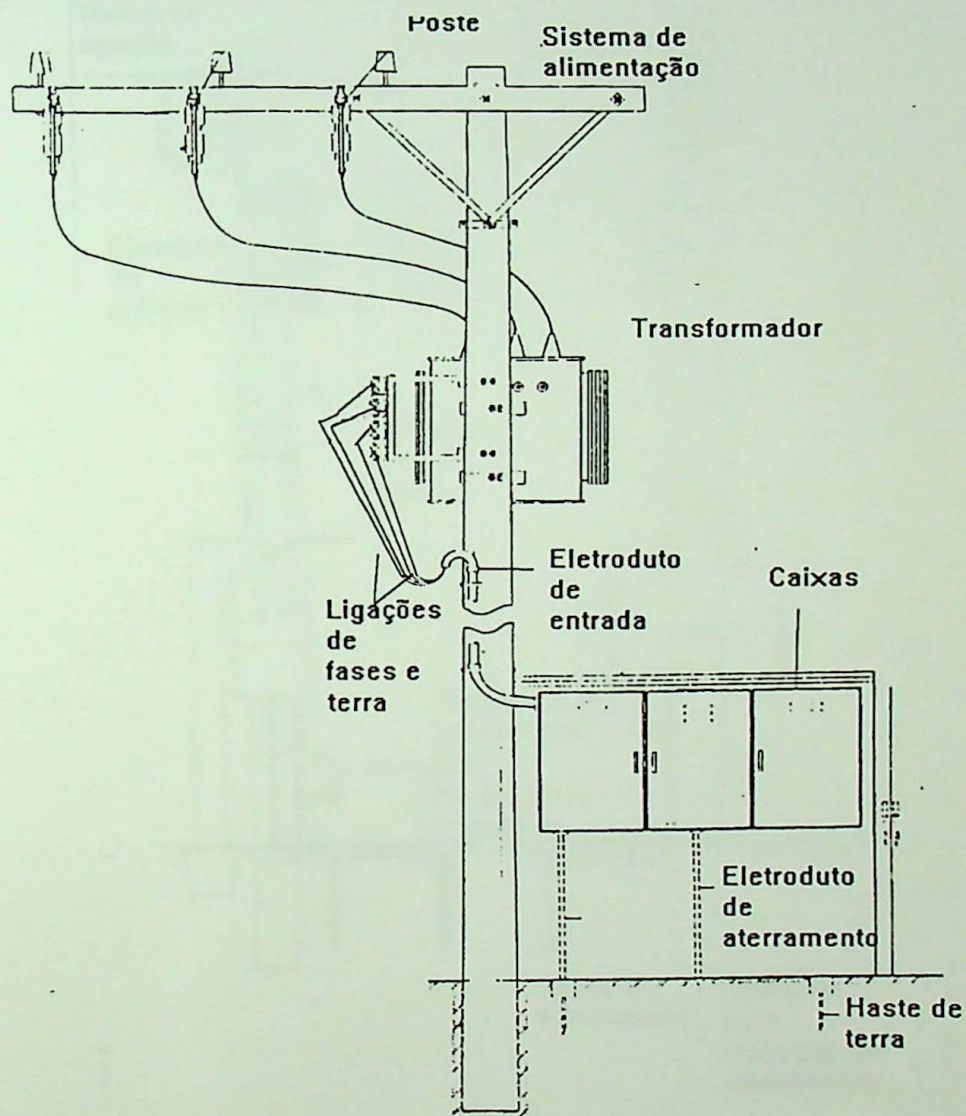


Fig 3 - Exemplo de distribuição de energia[37].

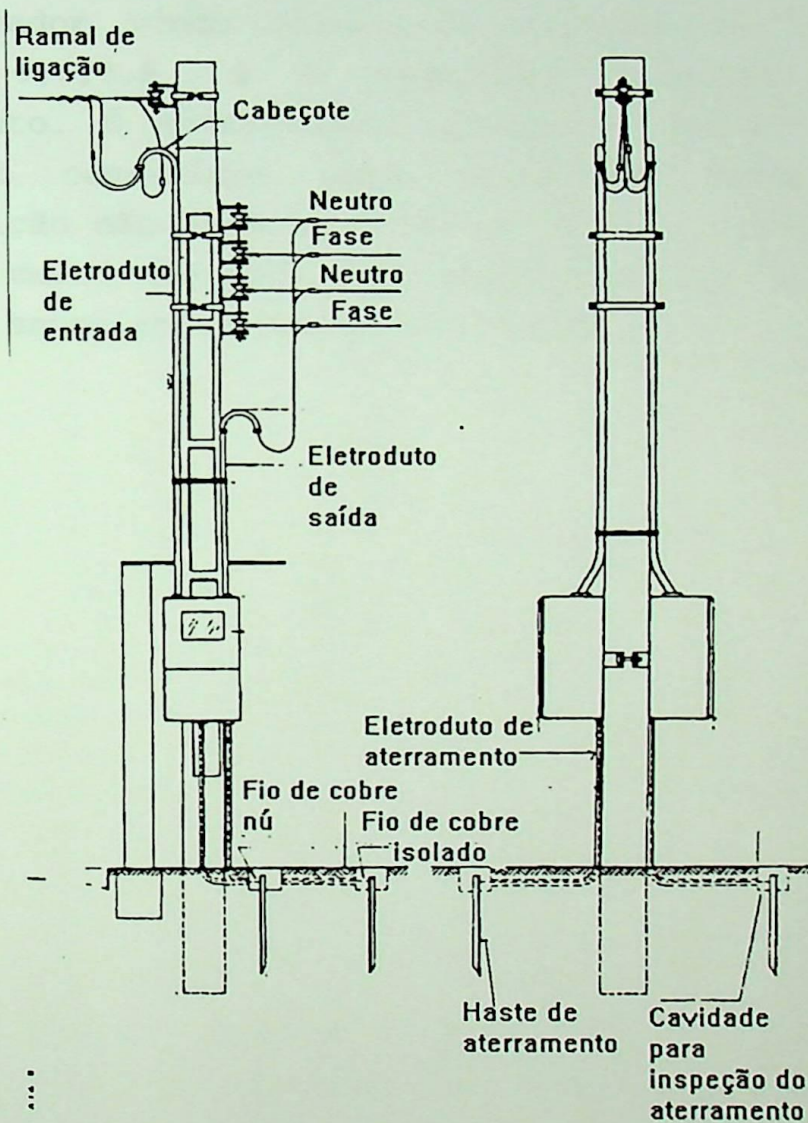


Fig 4 - Exemplo de distribuição de energia caixa tipo 1 [37].

4 - SISTEMA DE ATERRAMENTO DO CONSUMIDOR

O sistema de aterramento do consumidor é composto por uma haste de aterramento localizado abaixo do sistema de distribuição e interligado pelo mesmo através, de um fio de cobre cru. Esta conexão é interligada, com o terra do transformador vindo direto do sistema de distribuição. As figuras 5,6,7,8, e 9 seguintes ilustram este tipo de aterramento. É aconselhável quando a distância da malha de terra do consumidor para malha de terra do poste de distribuição não seja superior a 30 [m], neste caso o sistema deve ser multi-aterrado, colocando uma ligação de fio de cobre (10 mm^2) entre ambas malhas de terras.

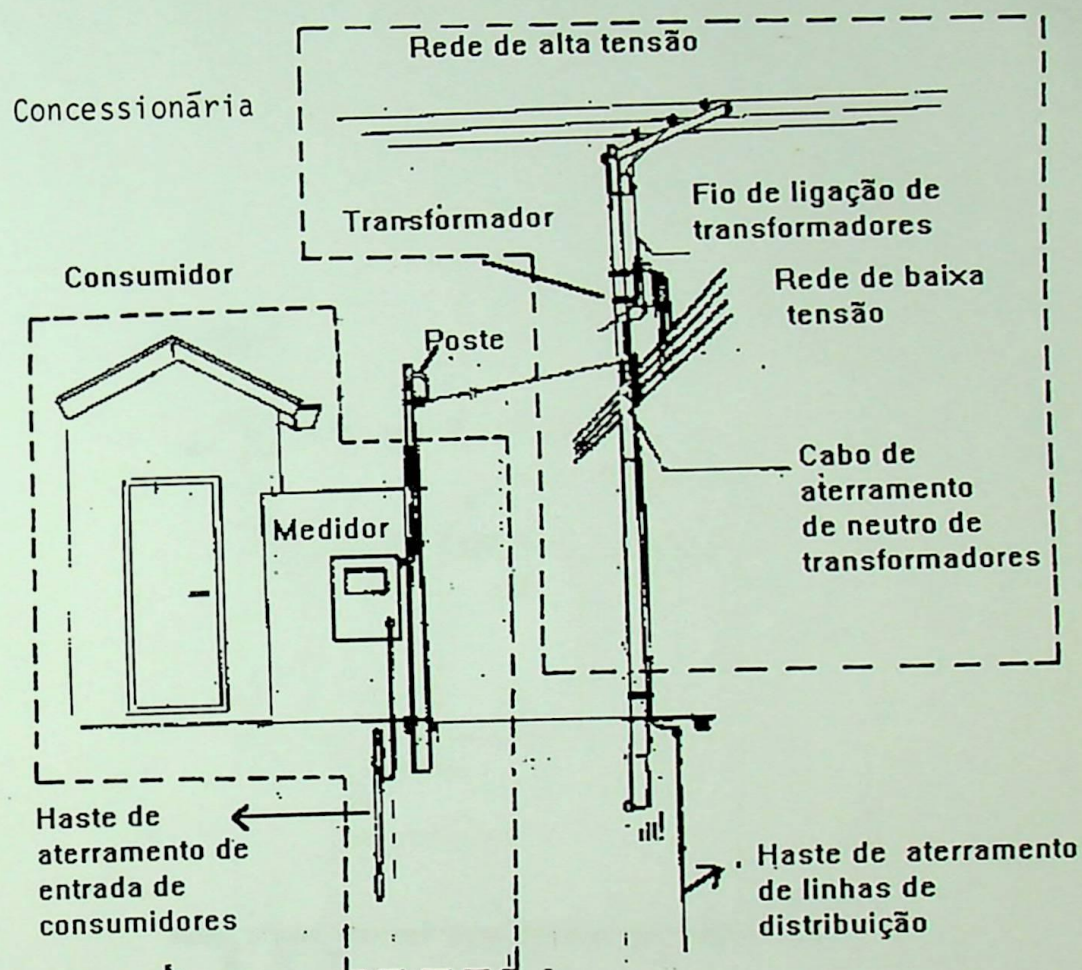


Fig 5 - Sistema de terra entre consumidor e poste de distribuição [38].

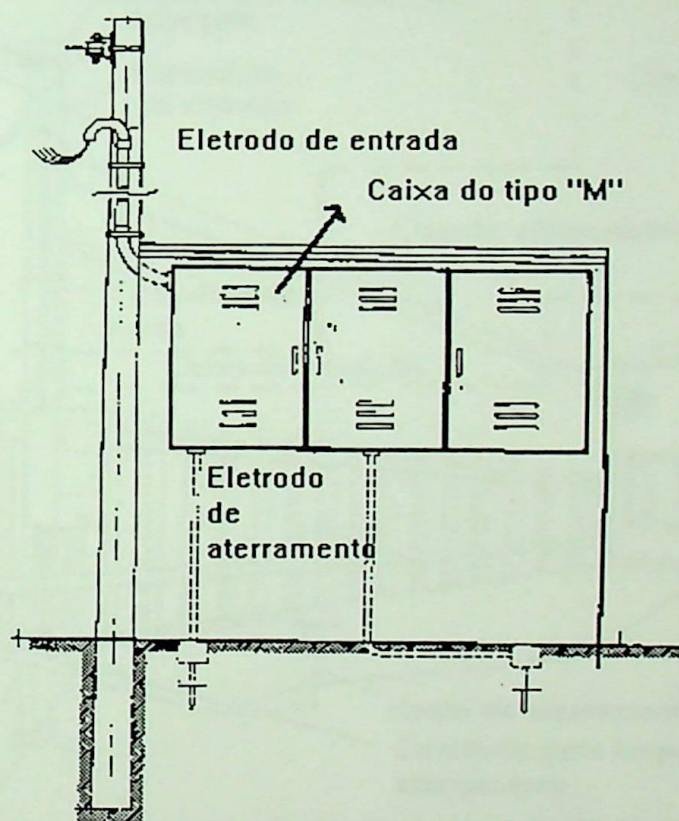


Fig 6 - Padrão de entrada tipo M [37].

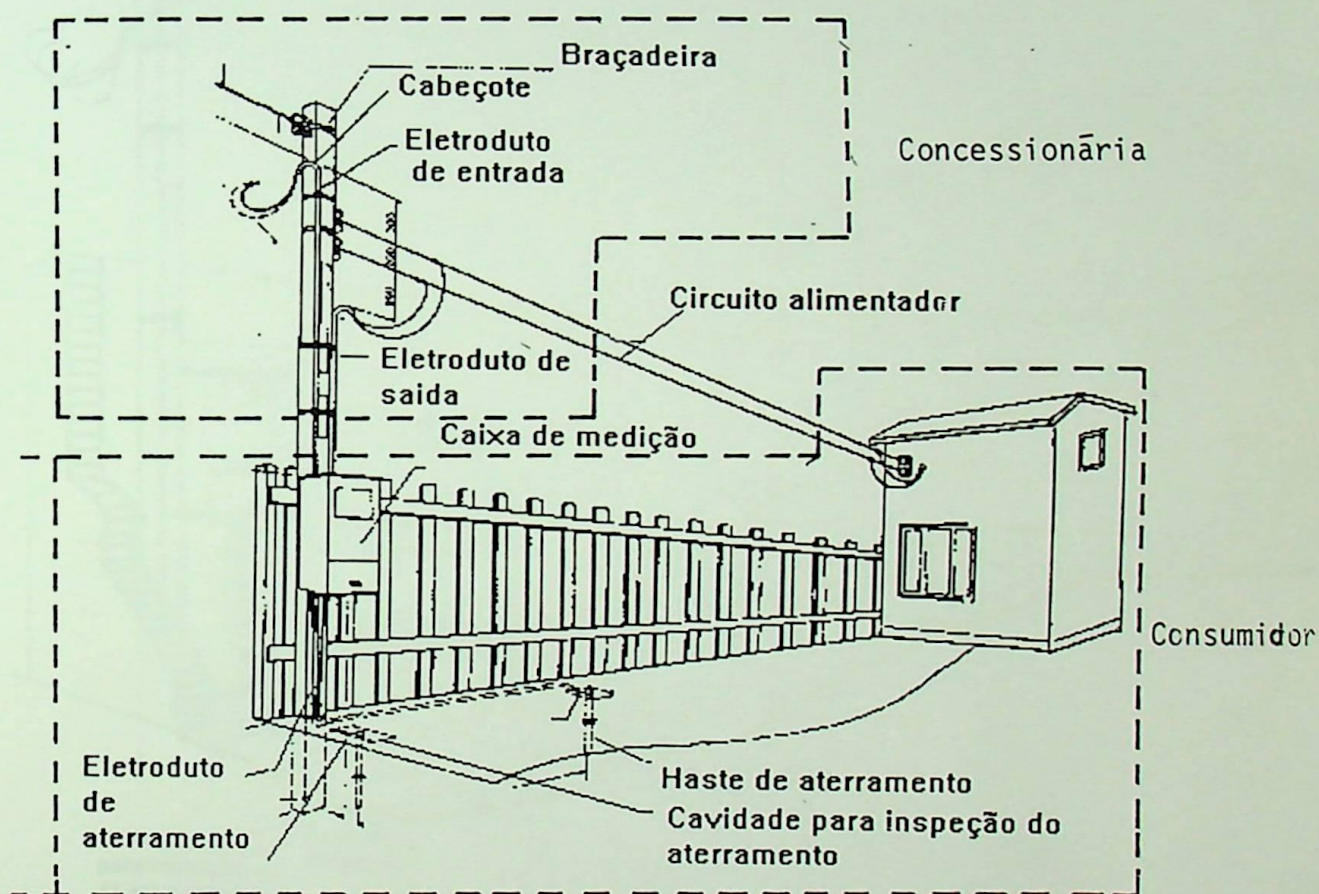


Fig 7 - Exemplo de terra de consumidor [37].

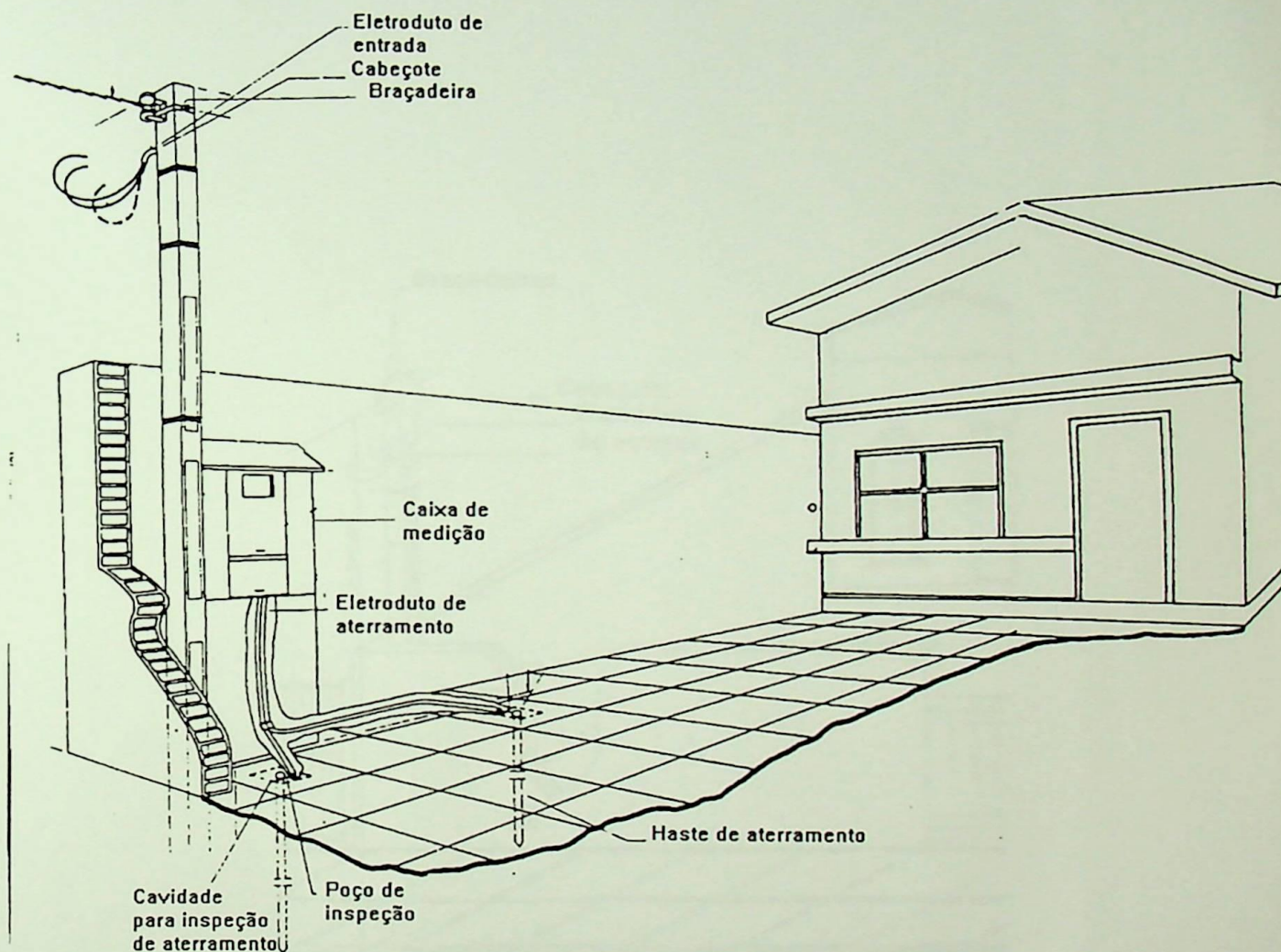


Fig 8 - Terra do consumidor [37].

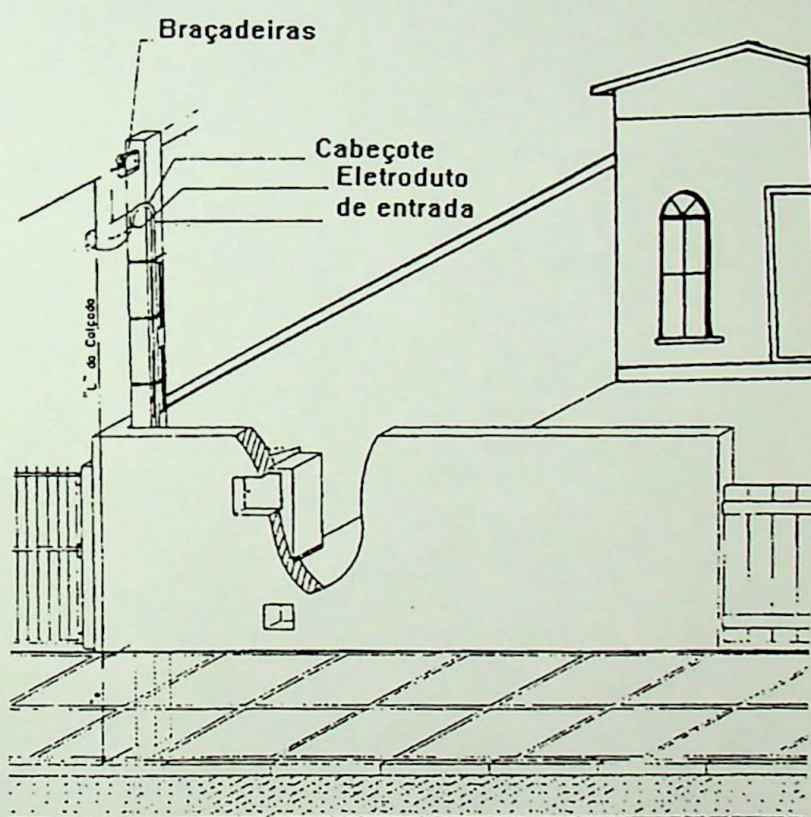


Fig 9 - Terra do consumidor [37].