

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**Estudo da Compatibilidade Eletromagnética em
Equipamentos Eletromédicos para Testes de Pré-
Conformidade de Imunidade Eletromagnética**

Antônio Marcos de Souza

Itajubá, Junho de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Estudo da Compatibilidade Eletromagnética em Equipamentos Eletromédicos para Testes de Pré-Conformidade de Imunidade Eletromagnética

Antônio Marcos de Souza

Dissertação submetida à Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - CPG-E da Universidade Federal de Itajubá, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientação: Dr. José Policarpo Gonçalves de Abreu

Universidade Federal de Itajubá

Co-orientação: Dr. Jocélio Souza de Sá

Universidade Federal de Itajubá

Itajubá, Junho de 2005

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

S719e

Souza, Antônio Marcos de

Estudo da compatibilidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos para testes de pré-conformidade de imunidade eletromagnética / por Antônio Marcos de Souza. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2005.

82 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Policarpo Gonçalves de Abreu

Co-orientador: Prof. Dr. Jocélio Souza de Sá

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá/ISEE.

1. Compatibilidade eletromagnética. 2. Equipamento eletromédico. 3. Imunidade eletromagnética. I. Abreu, José Policarpo Gonçalves de, orient. II. Sá, Jocélio Souza de, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

CDU 537.8(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Estudo da Compatibilidade Eletromagnética em Equipamentos Eletromédicos para Testes de Pré-Conformidade de Imunidade Eletromagnética

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ernani de Sousa Grell – INCOR/USP

Prof. Dr. Egon Luiz Müller - UNIFEI

Prof. Dr. Jocélio Souza de Sá - UNIFEI

Prof. Dr. José Policarpo Goncalves de Abreu - UNIFEI

Para a minha família, em especial para a minha mãe, que me mostrou a importância do caminho do estudo.

Agradecimentos:

A Deus pela dádiva da existência e pelos dons derramados sobre todos nós.

Aos professores José Policarpo Goncalves de Abreu e Jocélio Souza de Sá pela paciência e presença nos momentos certos desta caminhada e principalmente pelas orientações fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Ao amigo Rômulo Mota Volpato pela disposição incondicional em ouvir e discutir sobre os rumos desta pesquisa.

À minha mulher, pelo incentivo e apoio nas horas amargas.

SUMÁRIO

Dedicatória	IV
Agradecimentos	V
Sumário	VI
Resumo	IX
<i>Abstract</i>	IX
Lista de Acrônimos	X
Lista de Figuras	XII
Lista de Tabelas	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Relevância do tema	1
1.2 Objetivos do trabalho	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2. FUNDAMENTOS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	4
2.1. Considerações iniciais	4
2.2. Principais definições usadas em compatibilidade eletromagnética	4
2.3. Comparação entre os níveis de perturbação eletromagnética	6
2.4. Modos de propagação das perturbações eletromagnéticas	8
2.4.1 Acoplamento por meio de uma impedância comum	8
2.4.2 Acoplamento condutivo	9
2.4.3 Acoplamento por indução	10
2.4.4 Acoplamento por irradiação de campo eletromagnético	13
2.5. Principais tipos de perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica	14
2.5.1 Perturbações eletromagnéticas de baixa frequência	15
2.5.2 Perturbações eletromagnéticas de alta frequência e transientes	17
2.6 Considerações finais	21

3. ESTUDO COMPARATIVO DAS NORMAS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA PARA EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	23
3.1. Considerações iniciais	23
3.2. Características dos equipamentos e sistemas eletromédicos	24
3.2.1 Equipamentos de suporte à vida	24
3.2.2 Equipamentos acoplados ao paciente	24
3.2.3 Equipamentos de processamento de informações em aplicações médicas	25
3.3. Norma nacional NBR IEC 60601-1-2	25
3.3.1 Referências normativas	26
3.3.2 Prescrições e ensaios de emissões eletromagnéticas	26
3.3.3 Prescrições e ensaios de imunidade eletromagnética	27
3.3.4 Conclusões em relação à norma NBR IEC 60601-1-2	29
3.4. Norma internacional CISPR 11	30
3.4.1 Classificação dos equipamentos industriais, científicos e médicos	31
3.4.2 Limites das perturbações eletromagnéticas	31
3.4.3 Requisitos gerais para as medidas	32
3.4.4 Conclusões em relação à norma CISPR 11	35
3.5. Norma internacional IEC 1000-4-2	35
3.5.1 Definições	35
3.5.2 Métodos de aplicação da descarga eletrostática	36
3.5.3 Limites da descarga eletrostática	37
3.5.4 Configuração dos ensaios de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática	37
3.6. Norma internacional IEC 1000-4-3	38
3.6.1 Definições	38
3.6.2 Limites da intensidade de campos eletromagnéticos irradiados	40
3.6.3 Configuração dos ensaios de imunidade eletromagnética a campos eletromagnéticos irradiados	41
3.7. Norma internacional IEC 1000-4-4	42
3.7.1 Definições	43
3.7.2 Limites das amplitudes das rajadas rápidas de pulsos	44
3.7.3 Configuração dos ensaios de imunidade eletromagnética às rajadas rápidas de pulsos	45
3.8. Norma internacional IEC 1000-4-5	46
3.8.1 Definições	46
3.8.2 Limites para as amplitudes de surtos de tensão	48
3.8.3 Configuração dos ensaios de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão	49
3.9. Considerações finais	50

4. PROPOSTAS DE ENSAIOS DE IMUNIDADE ELETROMAGNÉTICA PARA EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS	51
4.1. Considerações iniciais	51
4.2. Testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática ESD	51
4.2.1 Características do gerador ESD	52
4.2.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática	54
4.2.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática	57
4.3. Testes de Imunidade eletromagnética a campos eletromagnéticos irradiados	58
4.3.1 Ajuste da área de campo uniforme	60
4.3.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética a campos eletromagnéticos irradiados	62
4.3.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética a campos irradiados	63
4.4. Testes de imunidade eletromagnética às rajadas rápidas de pulsos (Burst)	64
4.4.1 Características do gerador de burst	64
4.4.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética às rajadas de pulsos	65
4.4.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética às rajadas de pulsos	68
4.5. Testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão	69
4.5.1 Características do gerador de surtos de tensão	70
4.5.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão	71
4.5.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão	74
4.6. Considerações finais	75
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXO 1	79
ANEXO 2	82

Resumo:

Os equipamentos eletromédicos devem apresentar um desempenho de alto nível com eficiência atestada em organismos reguladores de padrão internacional.

Estes tipos de equipamentos devem operar satisfatoriamente em ambientes eletromagnéticos poluídos, apresentando bons resultados de imunidade eletromagnética.

Portanto, este trabalho apresenta, no contexto do estudo de compatibilidade eletromagnética, a proposta de testes de imunidade eletromagnética para equipamentos eletromédicos. Para atender a este objetivo toma-se como base o estudo comparativo entre a norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 da Associação Brasileira das Normas Técnicas e as normas internacionais da Comissão Eletrotécnica Internacional.

Palavras-chave: Compatibilidade eletromagnética, Imunidade eletromagnética, Equipamentos eletromédicos e Norma NBR IEC 60601-1-2

Abstract:

Medical equipment must present a high-level performance with efficiency attested by international regulatory agencies. This type of equipment must operate satisfactorily in electromagnetic environments, having good behavior for electromagnetic immunity.

This work presents, in the context of electromagnetic compatibility, a proposal for electromagnetic tests on medical equipment. Aiming at this objective, a comparative study between the Brazilian standard IEC-NBR 60601-1-2 and international standards by IEC – International Electrotechnical Commission has been carried out.

Key words: Electromagnetic compatibility , Electromagnetic immunity, Medical equipment and Standard IEC NBR 60601-1-2.

Lista de acrônimos

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC : Corrente Elétrica Alternada

CC: Corrente Elétrica Contínua

CISPR: (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas da Comissão Eletrotécnica Internacional.

CISPR 11: (Industrial, scientific and medical radio-frequency equipment – Electromagnetic Disturbance Characteristics: Limits and methods of measurement)
Metodos e Limites das Medidas de Perturbações Eletromagnéticas em Equipamentos Médicos, Científicos e Industriais. Norma IEC

CW: (Carrier Wave) Onda Portadora

EMC: (Electromagnetic Compatibility) Compatibilidade Eletromagnética

EMI: (Electromagnetic Interference) Interferência Eletromagnética

ESD: (Electrical Discharge) Descarga Eletrostática

EUT: (Equipment Under Test) Equipamento sob teste

IEC: (International Electrotechnical Commission) Comissão Eletrotécnica Internacional

IEC 1000-4-2: (Electrostatic Discharge Immunity Test) Testes de Imunidade à Descarga Eletrostática. Norma IEC

IEC 1000-4-3: (Radiated, Radio-Frequency Electromagnetic Field Immunity Test) Testes de Imunidade a Campos Irrradiados de Radiofrequência. Norma IEC

IEC 1000-4-4: (Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test) Testes de Imunidade às Rajadas Rápidas de Pulsos. Norma IEC

IEC 1000-4-5: (Surge Immunity Test) Testes de Imunidade a Surtos de Tensão. Norma IEC

NBR IEC 60601-1-2: Prescrições e Ensaio para Equipamento Eletromédico

RF: Radiofrequência

Lista de figuras

Figura 2.1- Diagrama de estudo de EMC	7
Figura 2.2 – Comparação entre os níveis de perturbação eletromagnética	7
Figura 2.3 - Acoplamento por impedância comum.	8
Figura 2.4 –Acoplamento condutivo.	10
Figura 2.5 –Acoplamento por indução.	10
Figura 2.6- Modelo do acoplamento capacitivo.	11
Figura 2.7 – Comportamento do acoplamento capacitivo em relação à frequência.	12
Figura 2.8 – Modelo do acoplamento indutivo.	12
Figura 2.9 - Acoplamento por irradiação de campo eletromagnético.	13
Figura 2.10- Surto de tensão ou corrente elétrica de 100/1300[μ s]	17
Figura 2.11-a – Impulso de tensão de 1,2 / 50[μ s]	18
Figura 2.11-b – Impulso de corrente 8 / 20 [μ s]	18
Figura 2.12-a – Rajada de pulsos	19
Figura 2.12-b – Características de um pulso individual da rajada de pulsos	19
Figura 2.13 – Oscilações senoidais amortecidas	20
Figura 3.1- Conexão do instrumento de medição na linha principal	33
Figura 3.2- Modelo de antena para captação de emissões eletromagnéticas	34
Figura 3.3 - Arranjo para teste de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados	41
Figura 3.4- Configuração típica para teste de imunidade eletromagnética a surtos de tensão	49
Figura 4.1- Arranjo para teste de imunidade eletromagnética à ESD	52
Figura 4.2 – Circuito simplificado do gerador de ESD	52
Figura 4.3 – Forma de onda típica de corrente do gerador ESD	53
Figura 4.4a – Aplicação indireta no plano de acoplamento horizontal	56
Figura 4.4b – Aplicação indireta no plano de acoplamento vertical	57

Figura 4.5 – Componentes para testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados	58
Figura 4.6 - Dimensões da região de campo uniforme	61
Figura 4.7 – Arranjo básico para teste de imunidade eletromagnética a burst	64
Figura 4.8 – Circuito básico do gerador de burst	65
Figura 4.9 – Ligação típica do gerador de burst nas linhas de alimentação	66
Figura 4.10 – Arranjo para teste de imunidade em linhas de comunicação	67
Figura 4.11 – Arranjo básico para testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão	69
Figura 4.12 – Circuito simplificado do gerador de surtos	70
Figura 4.13a – Aplicação de surtos de tensão entre fases e neutro	71
Figura 4.13b – Aplicação de surtos de tensão entre fases e neutro em relação ao terra	72
Figura 4.14 – Arranjo para aplicação de surtos de tensão em estruturas blindadas	73

Lista de tabelas

Tabela 2.1- Perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica	14
Tabela 2.2- Quantificação dos fenômenos eletromagnéticos- IEC 61000-6	21
Tabela 3.1 – Limites para testes de imunidade à descarga eletrostática	37
Tabela 3.2 – Limites para teste de imunidade eletromagnética a campos irradiados	40
Tabela 3.3 – Limites das rajadas de pulsos para teste de imunidade eletromagnética	45
Tabela 3.4 – Limites dos surtos de tensão para os testes de imunidade eletromagnética	49
Tabela 4.1 – Intensidade máxima da corrente elétrica na saída do gerador ESD	54

Capítulo 1

Introdução

1.1 Relevância do tema

Com a proliferação de equipamentos e sistemas eletrônicos e as novas tecnologias de construção de componentes, tem-se atualmente uma maior probabilidade de ocorrerem problemas de mau funcionamento relacionados às questões de Compatibilidade Eletromagnética. Os atuais equipamentos com os novos circuitos integrados são reconhecidamente muito mais sensíveis aos efeitos das perturbações eletromagnéticas, fazendo com que os órgãos normativos, fabricantes e usuários se preocupem cada vez mais com a produção de equipamentos e sistemas que possam operar satisfatoriamente, mesmo em ambientes eletromagneticamente poluídos.

Os equipamentos e sistemas eletromédicos estão posicionados neste mesmo contexto, sobretudo pela vital importância de um bom desempenho no auxílio de procedimentos médicos. Além disso, estes tipos de equipamentos são auxiliares importantes nas ações médicas realizados não só em centros cirúrgicos como também em clínicas e consultórios. São usados em procedimentos sofisticados e também em procedimentos simples acessíveis a um número cada vez maior de pessoas.

Portanto, é necessário que estes equipamentos eletromédicos sejam produzidos, testados e instalados, segundo critérios científicos rigorosos fundamentados em normas de padrão internacional. Esta preocupação se justifica em função da natureza e da importância social da aplicação destes equipamentos nos sistemas de saúde públicos e privados do nosso país.

Este trabalho terá, como referência primária, a norma que trata de prescrições e ensaios de compatibilidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos NBR IEC 60601-1-2 [1], publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Esta norma trata da padronização de ensaios de equipamentos eletromédicos em ambientes susceptíveis às perturbações eletromagnéticas. Ainda assim, serão analisadas outras normas internacionais de relevância para o trabalho, com o objetivo de estabelecer uma comparação crítica com relação à aplicação da norma de referência primária citada anteriormente.

1.2 Objetivo do trabalho

Este trabalho tem como objetivo principal a proposição de ensaios de imunidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos, a partir de normas nacionais e internacionais que tratam dos testes referentes a esta área, permitindo aos fabricantes a verificação, em tempo, do desempenho destes produtos, adequando-os às exigências dos órgãos normativos do setor.

Estes procedimentos de ensaios devem ser executados na fase de desenvolvimento do protótipo, permitindo assim a correção de falhas com menor custo e melhor aproveitamento do tempo total gasto no projeto, evitando assim as mudanças de projeto já nas fases de divulgação e comercialização do produto final.

É importante ressaltar que os procedimentos de ensaios deste trabalho configuram uma alternativa para o auxílio na fabricação e testes de equipamentos eletromédicos, não excluindo a possibilidade de ocorrerem outras propostas sobre o mesmo tema.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho segue uma estrutura definida pelos estudos realizados obedecendo uma ordem cronológica das várias fases da pesquisa realizada:

No primeiro momento tem-se a discussão, no capítulo 2, dos fundamentos da Compatibilidade Eletromagnética apresentando as principais definições deste assunto e

analisando os modos e meios de propagação das perturbações eletromagnéticas da fonte (sistema que gera a perturbação eletromagnética) até o receptor (sistema que recebe a perturbação eletromagnética). Ainda neste capítulo, tem-se o detalhamento dos principais tipos de perturbações eletromagnéticas que são conduzidas pela rede elétrica.

No capítulo 3, são levantadas as principais características peculiares aos equipamentos eletromédicos e realizado o estudo das várias normas de Compatibilidade Eletromagnética, usando como referência a norma NBR IEC 60601-1-2 [1].

No capítulo 4, são apresentadas as propostas dos vários procedimentos de ensaios de imunidade eletromagnética, envolvendo as perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica e pelo ar.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões finais deste trabalho, bem como a proposição geral a respeito da utilidade deste documento, para a orientação de testes de compatibilidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos.

Capítulo 2

Fundamentos de Compatibilidade Eletromagnética

2.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, são discutidos os conceitos básicos referentes à Compatibilidade Eletromagnética com o objetivo de padronizar a terminologia a ser utilizada e esclarecer os fenômenos básicos da propagação das perturbações eletromagnéticas. São usados como referência básica a teoria dos campos eletromagnéticos [2] e os princípios de compatibilidade eletromagnética [3].

2.2 Principais definições usadas em compatibilidade eletromagnética

As definições que são apresentadas neste item foram retiradas do capítulo 161 da norma IEC 50 que trata do vocabulário eletrotécnico internacional, publicada pela International Electrotechnical Commission (IEC) [4].

Estas mesmas definições aparecem na norma IEC 1000-4-1 [5] que aborda uma visão geral dos testes de imunidade eletromagnética e norma NBR IEC 60601-1-2 [1] e serão utilizadas para facilitar o entendimento das várias questões, relacionadas com os ensaios de compatibilidade eletromagnética.

a) Ambiente eletromagnético

Refere-se como sendo o conjunto de fenômenos eletromagnéticos existentes em uma localização qualquer. O termo localização pode ser interpretado como uma região analisada, podendo ser considerado como um conjunto de edificações, uma edificação apenas ou simplesmente uma sala.

b) Emissão eletromagnética

É a emissão de uma energia na forma eletromagnética proveniente de uma fonte qualquer.

c) Degradação de desempenho

Trata-se do desvio indesejado no funcionamento de um equipamento ou sistema em relação ao desempenho nominal esperado.

d) Perturbação eletromagnética

É definido como sendo qualquer fenômeno eletromagnético que pode causar degradação no funcionamento de um equipamento ou sistema. A perturbação eletromagnética pode ser um ruído, um sinal indesejado ou mesmo uma alteração nas características do meio de propagação.

e) Interferência eletromagnética - EMI

É a degradação do desempenho de funcionamento de um equipamento ou sistema provocada exclusivamente pela ação de uma perturbação eletromagnética.

f) Compatibilidade eletromagnética - EMC

É a capacidade de um equipamento ou sistema de funcionar satisfatoriamente em um ambiente sem produzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis a outros equipamentos ou sistemas neste mesmo ambiente.

Este mesmo termo (**EMC**) pode ser também interpretado como um estudo genérico dos fenômenos de geração, propagação e efeitos das perturbações eletromagnéticas em um determinado ambiente.

g) Imunidade Eletromagnética

É a capacidade de um equipamento ou sistema de operar sem degradação de desempenho, na presença de perturbações eletromagnéticas. A **Susceptibilidade Eletromagnética** é definida como a falta da imunidade eletromagnética, isto é, como falta da capacidade de um equipamento ou sistema de funcionar sem degradação de desempenho na presença de perturbações eletromagnéticas.

2.3 Comparação entre os níveis de perturbação eletromagnética [5]

No estudo da Compatibilidade eletromagnética entre equipamentos ou sistemas colocados em um mesmo ambiente eletromagnético, como indicado na figura 2.1, deve-se analisar a possibilidade de perturbações eletromagnéticas de uma determinada fonte provocarem a degradação no desempenho ou mesmo a interrupção no funcionamento de um equipamento em teste.

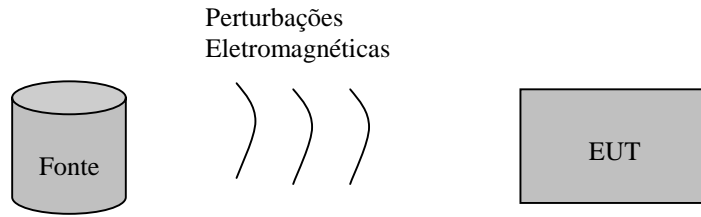


Figura 2.1- Diagrama de estudo de EMC

Nestes casos deve-se levar em conta o máximo valor declarado da perturbação eletromagnética gerada pela fonte, chamado de **Nível de Compatibilidade Eletromagnética** e o máximo valor da perturbação eletromagnética aceitável no equipamento em teste, chamado de **Nível de Imunidade Eletromagnética**.

A comparação entre estes níveis está indicada na figura 2.2, onde também aparece o Nível de Susceptibilidade Eletromagnética que indica o valor da perturbação eletromagnética que já produz degradação inaceitável no desempenho do funcionamento do equipamento em teste.

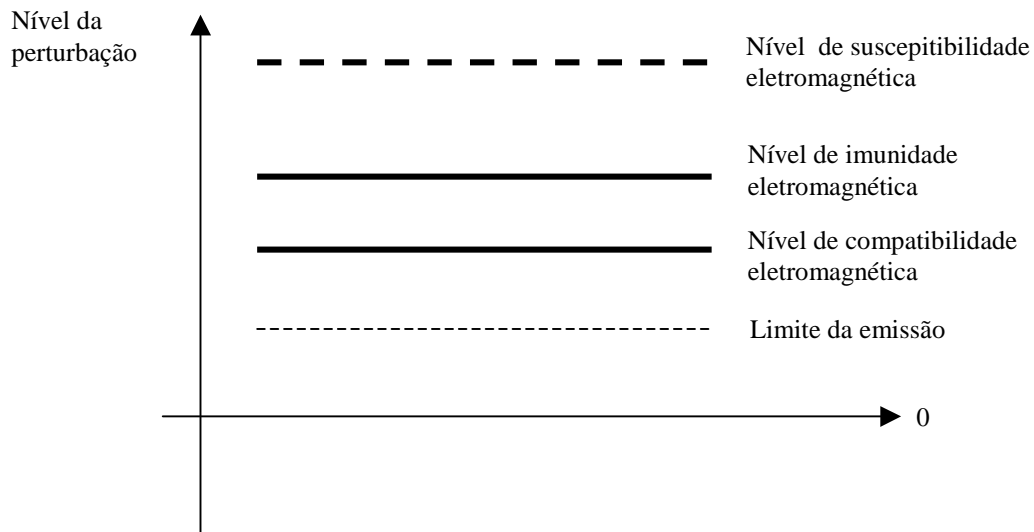


Figura 2.2 – Comparação entre os níveis de perturbação eletromagnética

A comparação apresentada tem o objetivo de clarear o entendimento sobre os significados das definições apresentadas neste item, sendo esta comparação apenas teórica, pois na verdade é muito difícil determinar estes valores em condições práticas, onde se levam em consideração modelos de distribuição estatística. Nestes casos, os níveis de perturbação eletromagnética são definidos não pelos valores máximos absolutos e sim por valores que poderão ser ultrapassados em apenas algumas ocorrências.

2.4 Modos de propagação das perturbações eletromagnéticas

Neste item, são estudados os tipos de propagação das perturbações eletromagnéticas da fonte geradora até um receptor. Estes fenômenos são denominados de acoplamentos da interferência eletromagnética e descrevem os mecanismos de transmissão das perturbações eletromagnéticas, bem como os meios destes acoplamentos.

2.4.1 Acoplamento por Meio de uma Impedância Comum

Este tipo de acoplamento ocorre quando circuitos compartilham um mesmo sistema de alimentação de corrente contínua ou alternada, usando fontes de alimentação compartilhadas ou mesmo um ponto de terra comum. A figura 2.3 mostra este acoplamento para alimentação em corrente contínua.

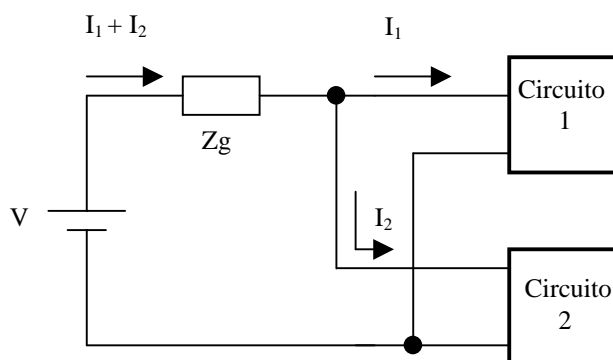


Figura 2.3 - Acoplamento por impedância comum.

Se a corrente elétrica em um dos circuitos variar, tem-se a modificação da tensão da fonte que alimenta os dois circuitos. Logo, uma ação que ocorre em um circuito provoca uma variação indesejável da tensão de alimentação no outro circuito.

Pode-se representar este efeito pela expressão da queda de tensão na impedância interna da fonte (V_g):

$$V_g = Z_g (I_1 + I_2)$$

Esta queda de tensão é chamada de tensão na impedância comum.

Portanto, qualquer variação espúria na corrente elétrica em um circuito produz uma variação na tensão da impedância comum. Esta variação poderá causar uma degradação no funcionamento do outro circuito [3].

2.4.2 Acoplamento condutivo

Este tipo de acoplamento ocorre de forma mais específica na rede de transmissão elétrica de baixa e média tensão, onde vários sistemas ruidosos (motores, conversores, equipamentos de manobra etc.) estão conectados juntamente com equipamentos ou sistemas eletrônicos. A figura 2.4 mostra que as perturbações eletromagnéticas produzidas pela fonte ruidosa são conduzidos pela rede elétrica, podendo alcançar os equipamentos ou sistemas, que também são alimentados pela mesma rede [5].

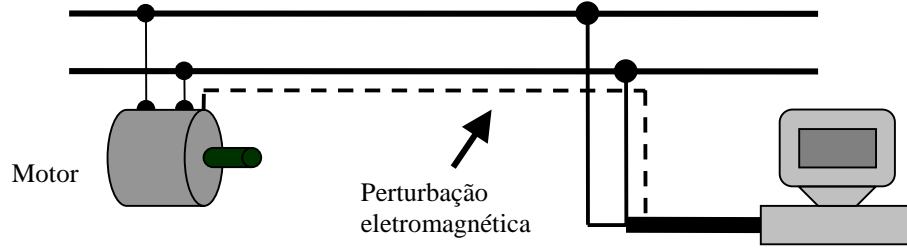


Figura 2.4 – Acoplamento condutivo

2.4.3 Acoplamento por indução

Elementos de circuitos energizados possuem campos elétrico e magnético próprios. Estes campos podem produzir o acoplamento das perturbações eletromagnéticas de um equipamento ou sistema para outros equipamentos ou sistemas fisicamente próximos.

A figura 2.5 indica que a presença de campos elétrico e magnético podem induzir o aparecimento de correntes e tensões elétricas espúrias em equipamentos ou sistemas localizados na proximidade destes campos.

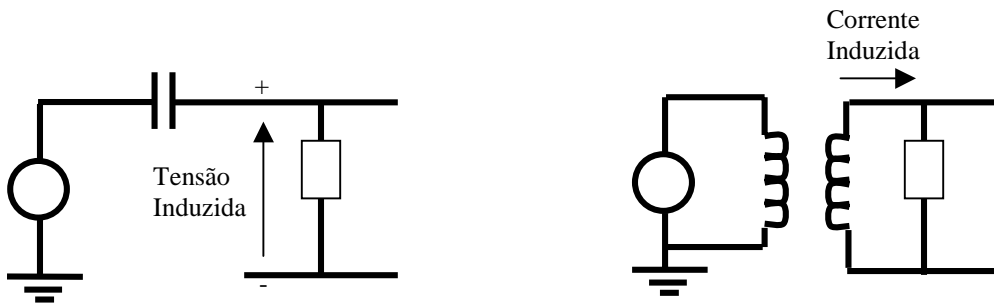


Figura 2.5 – Acoplamento por indução.

Quando ocorre interferência entre dois sistemas por indução, deve-se analisar esta interferência em função dos agentes: campo elétrico ou campo magnético. O acoplamento por indução de campo elétrico é denominado de **Acoplamento**

Capacitivo e o acoplamento por campo magnético é chamado de **Acoplamento Indutivo**.

O modelo do acoplamento capacitivo é mostrado na figura 2.6, onde a grandeza V representa o sinal da fonte da perturbação eletromagnética e V_n indica o sinal de perturbação presente no sistema que sofre a degradação no desempenho de seu funcionamento.

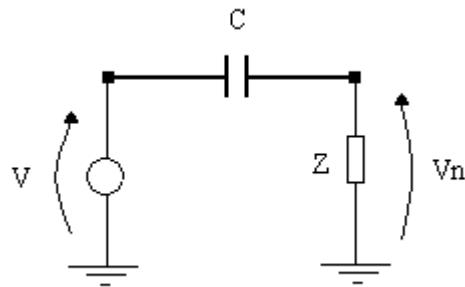


Figura 2.6 – Modelo do acoplamento capacitivo.

Esta perturbação eletromagnética é transmitida para Z , através da capacitância C que existe na região entre a fonte e o receptor. O sinal $V_n(t)$ pode ser calculado pela expressão:

$$v_n(t) = v(t) - \frac{1}{C} \int i \cdot dt$$

Logo, a tensão V_n depende do valor da capacitância do acoplamento. A figura 2.7 mostra o comportamento desta tensão ao longo da frequência:

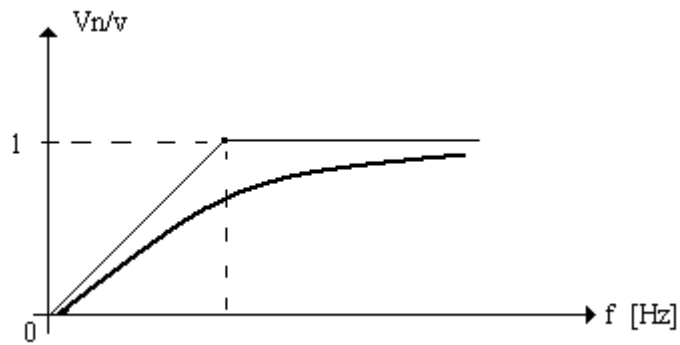


Figura 2.7 – Comportamento do acoplamento capacitivo em relação à frequência.

A figura 2.8 mostra o modelo do acoplamento indutivo, onde a circulação de corrente elétrica no primário produz um fluxo magnético gerado por L1 que atinge L2, chamado de ϕ_{12} .

Como este fluxo é variável no tempo, tem-se a indução de corrente no circuito do secundário, produzindo uma tensão V_o que representa, neste caso, a perturbação eletromagnética atingindo um equipamento ou sistema.

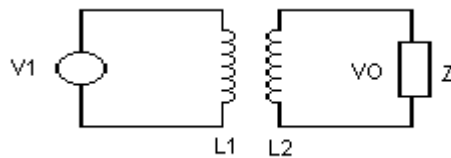


Figura 2.8 – Modelo do acoplamento indutivo.

A tensão V_o é determinada pela Lei de Faraday [2]:

$$V_o = - \frac{\partial}{\partial t} \phi_{12} , \text{ onde } \phi_{12} = B_{12} \cdot S \cdot \cos\theta$$

$$V_o = - \frac{\partial}{\partial t} (B_{12} \cdot S \cdot \cos \theta)$$

Onde B_{12} é a densidade de linhas de força de campo magnético gerado em L1 que atinge L2 e S a área envolvida pelo circuito receptor (secundário). O ângulo θ é medido entre a direção das linhas de força do campo magnético e o eixo normal à superfície S. O valor deste ângulo e a área S definem a intensidade do fluxo magnético que realmente produz a tensão V_o .

Analisando a expressão da tensão V_o , pode-se concluir que esta tensão será tanto maior quanto maior for o fluxo ϕ_{12} e a frequência. Este acoplamento pode ocorrer entre bobinas próximas ou mesmo em circuitos adjacentes e é mais percebido em sistemas que trabalham em altas frequências [2] [3].

2.4.4 Acoplamento por irradiação de campo eletromagnético:

Neste tipo de acoplamento, tem-se um elemento irradiando um campo eletromagnético, que se propaga na atmosfera e atinge equipamentos ou sistemas localizados em uma grande região em torno desta fonte geradora. Estas ondas eletromagnéticas são recebidas e produzem perturbações eletromagnéticas no interior destes sistemas. A figura 2.9 representa este tipo de acoplamento:

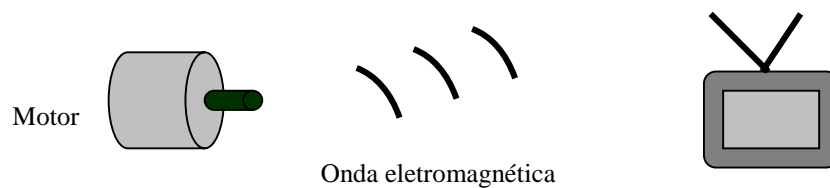


Figura 2.9 - Acoplamento por irradiação de campo eletromagnético.

É importante lembrar que a teoria elementar de antenas estabelece que campos eletromagnéticos na proximidade da fonte são considerados CAMPOS DE INDUÇÃO e campos distantes da fonte são denominados de CAMPOS DE IRRADIAÇÃO [3] [5].

2.5 Principais tipos de perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica

A rede de transmissão de energia elétrica constitui um meio importante de propagação das perturbações eletromagnéticas, pois é parte da infra-estrutura básica de qualquer sociedade organizada da atualidade. A grande diversidade de equipamentos e sistemas alimentados e interligados por esta rede aponta para uma alta probabilidade de ocorrerem degradações no desempenho de funcionamento de diversos equipamentos ou sistemas, provocadas por perturbações eletromagnéticas que trafegam por ela.

A própria rede elétrica pode ser considerada uma fonte de perturbações eletromagnéticas [2.2], pois as alterações de características deste meio de transmissão são também consideradas como um tipo de perturbação eletromagnética.

As normas NBR IEC 60601-1-2 [1] e IEC 1000-4-1 [5] enumeram estas perturbações pelo ponto de vista de testes de Imunidade Eletromagnética que devem ser realizados em um contexto de Compatibilidade Eletromagnética entre equipamentos e sistemas em um determinado ambiente eletromagnético. A tabela 2.1 apresenta as principais perturbações eletromagnéticas listadas nas normas da Comissão Eletrotécnica Internacional [5].

1. Perturbações de baixa frequência	2. Perturbações de alta frequência e transientes
1.1. Harmônicos	2.1. Surto de tensão – 100/1300 [μs]
1.2. Interharmônicos	2.2. Impulso de tensão – 1,2/50 [μs]
1.3. Variações de tensão	2.3. Impulso de corrente – 8/20 [μs]
1.4. Afundamento de tensão	2.4. Rajadas de pulsos (Burst)
1.5. Interrupções curtas	2.5. Oscilações amortecidas
1.6. Desequilíbrio	-----
1.7. DC offset	-----

A seguir são descritas estas perturbações eletromagnéticas de uma forma mais detalhada, apresentando as causas e principais características de cada tipo.

2.5.1 Perturbações eletromagnéticas de baixa frequência

As principais perturbações eletromagnéticas de baixa frequência conduzidas pela rede elétrica de interesse neste trabalho são:

1) Harmônicos

Quando na rede elétrica estão presentes sinais de tensão e correntes elétricas não senoidais, com auxílio da série de Fourier podem-se representar estes sinais por um somatório de parcelas senoidais composto de um componente fundamental e outros componentes de frequências múltiplas deste valor, chamados de componentes harmônicos. A presença destes componentes harmônicos pode causar desde degradações no funcionamento até danos irreversíveis a equipamentos e sistemas conectados à rede.

Normalmente, nos testes de imunidade eletromagnética, são considerados os componentes harmônicos até a 40ª ordem, isto é, com frequências de 2000 [Hz] para rede de 50 [Hz] e 2400 [Hz] para rede de 60 [Hz].

2) Interharmônicos

Os sinais denominados de Interharmônicos não apresentam frequências múltiplas da frequência fundamental da rede elétrica e são produzidos, como exemplo, por conversores estáticos de frequência e sistemas de comunicação do tipo Carrier (que usam a rede elétrica como meio de comunicação). Estes tipos de perturbações eletromagnéticas podem causar degradações e danos a equipamentos e sistemas de forma semelhante aos harmônicos.

Nos testes de imunidade eletromagnética em relação aos interharmônicos são levados em conta: sinais de áudio de 110 [Hz] à 2000 [Hz]; sinais de frequências médias de 3 [kHz] à 20 [kHz]; sinais de rádio frequência de 20 [kHz] à 500 [kHz] e pulsos de curta duração.

3) Variações de tensão

As variações de tensão são definidas como variações rápidas da tensão de alimentação em condições normais de operação. Estas variações são causadas por variações contínuas das condições de carga, pelo chaveamento de cargas e mesmo pelas mudanças abruptas da tensão da rede.

Estas variações ocorrem em uma gama de $\pm 10\%$ em relação ao valor nominal da tensão

4) Afundamento de tensão

O afundamento de tensão é definido como a queda da tensão de até 15% do valor nominal com duração entre 0,5 e 50 períodos do sinal. Este tipo de perturbação eletromagnética é provocada por falhas nas redes de alta, média e baixa tensão.

5) Interrupções curtas

São consideradas interrupções curtas as variações de 100% do valor da tensão nominal em intervalos de 0,5 a 50 períodos do sinal.

6) Desequilíbrio

O desequilíbrio de tensão é provocado, entre outros, pela distribuição heterogênea de cargas monofásicas no sistema trifásico. Este desequilíbrio pode afetar equipamentos com alimentação trifásica como, por exemplo, o aquecimento de motores e introduzir erro na comutação de dispositivos em equipamentos eletrônicos de potência.

7) DC offset

A superposição de níveis CC em sinais alternados produzem distorções harmônicas e geram aquecimento de equipamentos industriais sobretudo em transformadores.

2.5.2 Perturbações eletromagnéticas de alta frequência e transientes

A rede elétrica também constitui um meio de transmissão de perturbações com frequências elevadas e de transições rápidas. As principais perturbações de alta frequência são:

1) Surto de tensão ou corrente elétrica – 100/1300 [μs]

Os surtos com 100[μs] de tempo de subida e 1300 [μs] de tempo de duração, representados na forma reduzida como surtos-100/1300[μs] são causados, por exemplo, pelo rompimento de fusíveis em redes elétricas de baixa tensão e apresentam alta energia e longa duração. Estes tipos de perturbações podem causar degradações no funcionamento ou mesmo danos a equipamentos e sistemas conectados à rede elétrica.

As características principais deste sinal são indicadas abaixo e ilustradas na figura 2.10:

Amplitude: 2 a 3 a tensão nominal da rede;

Tempo de subida: 100 [μs];

Tempo de pulso: 1300 [μs].

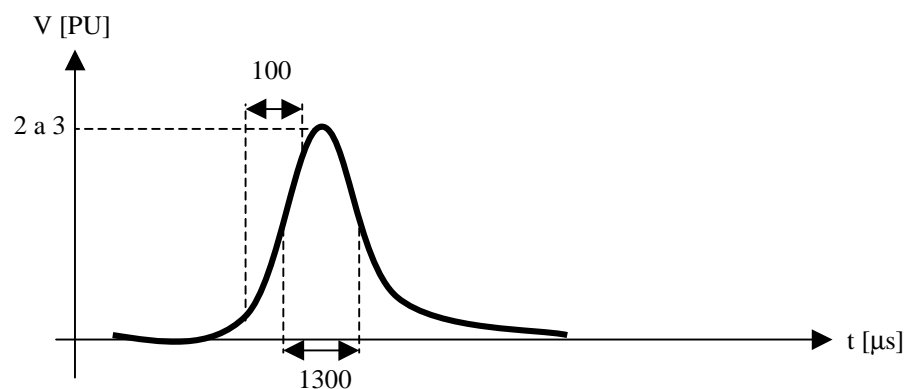


Figura 2.10 – Surto de tensão ou corrente elétrica de 100/1300[μs]

2) Impulso de tensão elétrica de 1,2 / 50 [μs] e Impulso de corrente elétrica de 8/20 [μs]

Estes tipos de perturbações eletromagnéticas podem produzir pulsos de tensão ou corrente em função da impedância do equipamento ligado à rede elétrica. Normalmente são causados por chaveamentos de bancos de capacitores, falhas na rede e descargas elétricas, entre outras causas.

As figuras 2.11-a e 2.11-b mostram os impulsos de tensão e corrente com os respectivos tempo de subida e tempo de pulso.

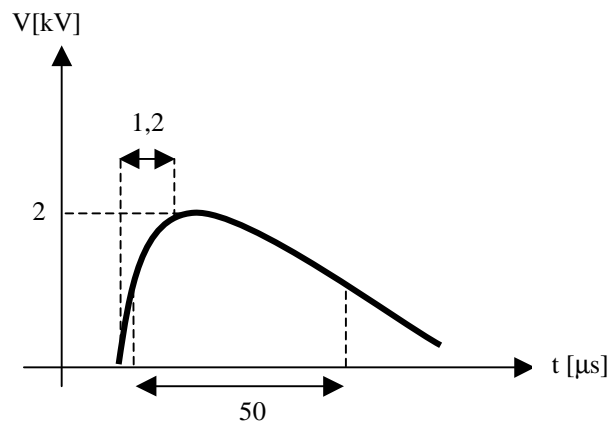


Figura 2.11-a – Impulso de tensão de 1,2 / 50[μs]

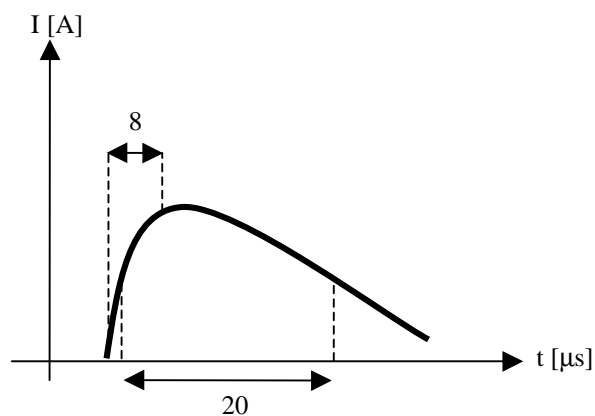


Figura 2.11-b – Impulso de corrente 8 / 20 [μs]

3 Rajadas de pulsos (Burst)

Esta perturbação eletromagnética é constituída por uma sucessão de pulsos de curta duração gerados, por exemplo, no chaveamento de cargas indutivas e a comutação de contatos de relés e contatores.

Este tipo de sinal apresenta algumas características importantes: Tempo de subida rápido; pulsos de curta duração; baixa energia e alta taxa de repetição.

As figuras 2.12-a e 2.12-b apresentam as características da rajada de pulsos e do pulso individual, respectivamente.

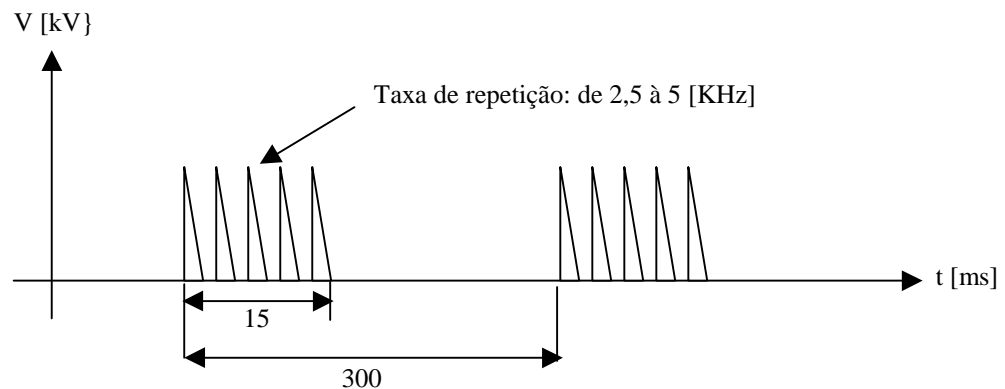


Figura 2.12-a – Rajada de pulsos

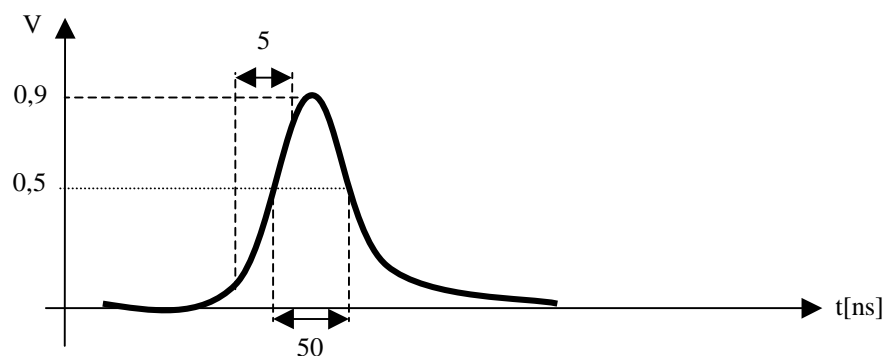


Figura 2.12-b – Características de um pulso individual da rajada de pulsos

A rajada de pulsos pode produzir apenas degradação no funcionamento de um equipamento ou sistema, pois apresenta baixa energia não produzindo danos irreversíveis nestes equipamentos.

4 Oscilações senoidais amortecidas

Este tipo de perturbação eletromagnética é normalmente produzido no chaveamento em redes de baixa, média e alta tensão. O conteúdo energético destas oscilações é menor que a energia dos surtos de tensão e corrente elétrica. No entanto pode-se ter a ocorrência de degradações em função da polaridade alternada deste tipo de perturbação.

Estas oscilações podem apresentar amplitudes de pico até 4 [KV] e frequências entre 30 [KHz] a 2 [MHz] e são mostradas na figura 2.13:

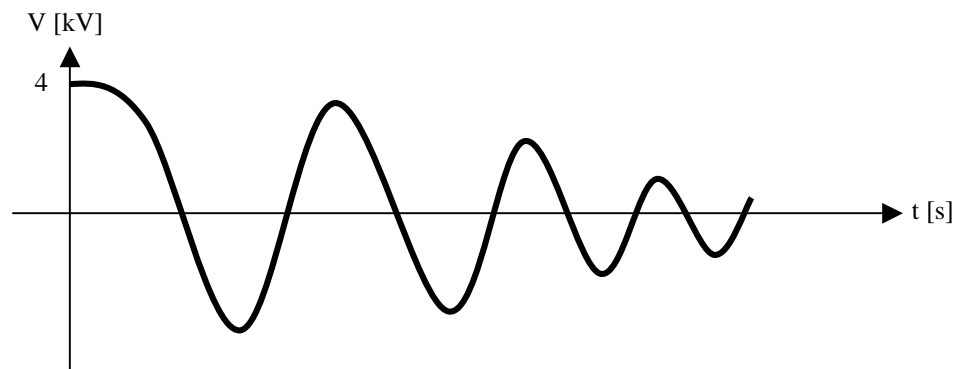


Figura 2.13 – Oscilações senoidais amortecidas

2.6 Considerações finais

As perturbações eletromagnéticas apresentadas neste capítulo guardam paralelo com os fenômenos eletromagnéticos estudados nos textos clássicos de QUALIDADE de ENERGIA e descritos pelas normas IEC 61000-6 [6].

Tabela 2.2 – Quantificação dos fenômenos eletromagnéticos - IEC 61000-6			
Categoria	Conteúdo espectral típico	Duração típica	Magnitude de tensão típica
1. Transientes 1.1. Impulsivos 1.1.1. Nano segundos 1.1.2. Micro segundos 1.1.3. Mili segundos 1.2. Oscilatórios 1.2.1. Baixa frequência 1.2.2. Frequência média 1.2.3. Alta frequência	Elev. 5 ns Elev. 1 µs Elev. 0,1 ms < 5kHz 5 a 500 kHz 0,5 a 5 MHz	<50 ns 50 ns a 1 ms 1 ms 0,3 a 50 ms 20 µs 5 µs	 0 a 4 pu 0 a 8 pu 0 a 4 pu
2. Variações de curta duração 2.1. Instantâneas 2.1.1. Interrupção 2.1.2. Dip 2.1.3. Swell 2.2. Momentâneas 2.2.1. Interrupção 2.2.2. Dip 2.2.3. Swell 2.3. Temporárias 2.3.1. Interrupção 2.3.2. Dip 2.3.3. Swell		0,5 a 30 ciclos 0,5 a 30 ciclos 0,5 a 30 ciclos 30 ciclos a 3 s 30 ciclos a 3 s 30 ciclos a 3 s 3 s a 1 minuto 3 s a 1 minuto 3 s a 1 minuto	< 0,1 pu 0,1 a 0,9 pu 1,1 a 1,8 pu < 0,1 pu 0,1 a 0,9 pu 1,1 a 1,4 pu < 0,1 pu 0,1 a 0,9 pu 1,1 a 1,2 pu
3. Variações de longa duração 3.1. Interrupção sustentada 3.1.1. Subtensões 3.1.2. Sobretensões		> 1 min > 1 min > 1 min	0,0 pu 0,8 a 0,9 pu 1,1 a 1,2 pu
4. Desbalanceamento de tensão		Estado permanente	0,5 a 2%
5. Distorção 5.1. Nível CC 5.2. Harmônicos 5.3. Interharmônicos 5.4. Notching (cunha) 5.5. Ruído	0 - 100° 0 - 6 kHz Banda larga	Estado permanente Estado permanente Estado permanente Estado permanente	0 a 0,1% 0 a 20% 0 a 2% 0 a 1%
6. Flutuações de tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 a 7%
7. Variações de frequência		< 10 s	

Observa-se que a relação apresentada pela tabela 2.2 tem muitos pontos em comum com a enumeração das perturbações já realizada neste trabalho. Portanto, a apresentação da tabela 2.2 serve apenas para o estabelecimento de um ponto de referência e comparação com a teoria de qualidade de energia.

No desenvolvimento dos próximos capítulos, são utilizadas as descrições das perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica (analisadas neste capítulo [2.5]) no contexto de testes de imunidade eletromagnética prescritos pelas normas NBRIEC 60601-1-2 [1] e IEC 1000-4-1[5].

Vale a pena lembrar, que a norma brasileira considera apenas algumas perturbações de alta frequência. E que denomina, de forma geral, como Surtos de Tensão as perturbações eletromagnéticas definidas, neste capítulo, como Surtos de Tensão 100/1300 [μ s] e Impulsos de Tensão de 1,2/50 [μ s].

Capítulo 3

Estudo Comparativo das Normas de Compatibilidade Eletromagnética para Equipamentos Eletromédicos

3.1 Considerações iniciais

Inicialmente nesta parte do trabalho, é apresentada uma classificação geral dos equipamentos e sistemas eletromédicos, discriminando o tipo de operação e a relação destes equipamentos com os pacientes submetidos a procedimentos médicos.

Neste capítulo também é realizado um estudo comparativo entre a norma brasileira NBRIEC 60601-1-2 [1] que regulamenta os ensaios de Compatibilidade Eletromagnética em equipamentos eletromédicos e as normas da International Electrotechnical Commission IEC da família IEC 1000-4 [7] [8] [9] [10] que regulamentam os ensaios de compatibilidade eletromagnética em equipamentos e sistemas conectados à rede de energia elétrica, redes de controle e redes de comunicação.

A análise proposta tem como objetivo comparar as condições de teste e níveis de referência apresentados pelas referidas normas e apontar caminhos para a proposta de ensaios de compatibilidade eletromagnética. Com ênfase nos testes de imunidade eletromagnética, em equipamentos e sistemas eletromédicos, este trabalho tem o objetivo de apresentar ensaios de pré-conformidade que poderão ser executados pelos fabricantes ainda no processo de produção e testes de protótipos e produtos.

3.2 Características dos equipamentos e sistemas eletromédicos

Os equipamentos e sistemas eletromédicos considerados neste trabalho podem ser divididos segundo uma classificação apresentada na norma NBR IEC 60601-1-2 [1], que diferencia a aplicação e topologia principais destas estruturas.

Ainda dentro do contexto destas definições, considera-se um sistema eletromédico como um conjunto de equipamentos que operam de forma articulada, comportando-se como uma unidade específica.

Podem-se portanto considerar os equipamentos e sistemas eletromédicos a partir das definições apresentadas a seguir.

3.2.1 Equipamentos de suporte à vida

São equipamentos ou sistemas que têm o objetivo de manter os pacientes vivos ou que são utilizados na prevenção de situações de risco de morte de pacientes em tratamento. As degradações no funcionamento destes equipamentos ou sistemas podem ter sérias conseqüências, levando até pacientes à morte.

3.2.2 Equipamentos acoplados ao paciente

São equipamentos ou sistemas utilizados nos procedimentos médicos, com elementos sensores conectados ao paciente ou mesmo aqueles equipamentos que estabelecem um caminho de propagação do sinal eletromagnético ao paciente, sendo este sinal acoplado diretamente, capacitivamente ou indutivamente. Nesta definição, estão excluídos os equipamentos de suporte à vida [3.2.1].

3.2.3 Equipamentos de processamento de informações em aplicações médicas

Estes equipamentos são estruturados para receber dados em uma entrada, normalmente por uma rede ou mesmo por digitação, processar estas informações e entregar os resultados em uma saída na forma de dados e reprodução de imagens.

Esta definição pode ser entendida com sistemas computacionais, microprocessados ou mesmo microcontrolados, suportados por softwares comerciais ou específicos, utilizados como apoio nos procedimentos médicos.

3.3 Norma nacional NBR IEC 60601-1-2

A Norma NBR IEC 60601-1-2 [1] da Associação Brasileira de Normas Técnicas é nomeada com o título Compatibilidade Eletromagnética – prescrições e ensaios e tem o objetivo de padronizar os testes especificamente relacionados com Emissão eletromagnética e Imunidade eletromagnética para equipamentos e sistemas eletromédicos.

Os testes de Emissão Eletromagnética [2.2.2] nos equipamentos e sistemas eletromédicos são fundamentais para a proteção de outros sistemas que operam no mesmo ambiente eletromagnético e também para a proteção das pessoas que manuseiam estes equipamentos.

Os ensaios de Imunidade Eletromagnética [2.2.7] nos equipamentos e sistemas eletromédicos são igualmente importantes para a proteção e garantia do bom funcionamento destes equipamentos em um ambiente eletromagnético.

3.3.1 Referências normativas

Para as prescrições e ensaios de Emissão Eletromagnética, esta norma se baseia na norma do Comitê Internacional de Perturbações Radioelétricas - CISPR-11 [11] que trata das características das perturbações eletromagnéticas em equipamentos e sistemas industriais, científicos e médicos.

Para as prescrições e ensaios de Imunidade Eletromagnética, a referência normativa é definida pelas normas da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) IEC 801-X que trata dos ensaios relativos aos equipamentos de medidas de processos industriais e equipamentos de controle. De acordo com a IEC, em decisão de novembro de 1989 a série de normas da família IEC 801 foi transferida para a família de normas IEC 1000-4, estendendo as prescrições e ensaios para todos os tipos de equipamentos elétricos e eletrônicos [5].

3.3.2 Prescrições e ensaios de emissões eletromagnéticas

a) Recomendações gerais

A norma NBR IEC 60601-1-2 [1] apresenta recomendações de limites de testes de emissão eletromagnética para equipamentos e sistemas eletromédicos em conformidade com a norma CISPR 11 [11], estabelecendo inicialmente uma classificação dos equipamentos e sistemas eletromédicos a ser declarada pelo fabricante:

Classe A – Equipamentos e sistemas adequados para uso em todos os estabelecimentos.

Classe B – Equipamentos e sistemas adequados para uso em estabelecimentos domésticos ou mesmo para estabelecimentos conectados à rede de energia de baixa tensão usada na alimentação de clientes domésticos.

É ainda estabelecido que a verificação da conformidade pode ser feita através de ensaio de tipo no local de ensaios ou mesmo no local próprio de uso do equipamento ou sistema.

b) Limites de emissão

A NBR IEC 60601-1-2 [1] determina que os limites observados nos ensaios devem atender às prescrições da norma CISPR 11 [11], indicando para os equipamentos de radiologia de uso intermitente um aumento de 20 [dB] nos limites estabelecidos para a intensidade do campo elétrico. Para os equipamentos e sistemas instalados, permanentemente em ambientes blindados, os limites estabelecidos devem ser acrescidos de 12 [dB] em relação aos valores nominais estabelecidos pela norma CISPR.

Esta norma não estabelece nenhum limite para os equipamentos acoplados ao paciente, determinando que os procedimentos de ensaios devem ser divulgados pelos próprios fabricantes.

3.3.3 Prescrições e ensaios de imunidade eletromagnética.

a) Recomendações gerais

Neste caso, é permitido o uso de ensaios com condições simuladas de operação normal dos equipamentos ou sistemas. A norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] ainda permite, na ocorrência de condições especiais, a consideração de limites menores que os prescritos, desde que seja feita uma justificativa adequada e coerente.

b) Limites para descarga eletrostática (ESD)

Os equipamentos e sistemas devem ser imunes às descargas eletrostáticas com intensidade de 3 [KV] por contato e de 8 [KV] por via aérea.

c) Limites para intensidade de campos eletromagnéticos irradiados

Os equipamentos e sistemas devem estar imunes a campos elétricos irradiados com intensidade de 3 [V/m], na faixa de frequência de 26 [MHz] à 1 [GHz].

Nos equipamentos instalados permanentemente em ambientes blindados contra raio X, o limite é reduzido para 1 [V/m]. Para outros equipamentos instalados em ambientes com outros tipos de blindagem, o limite estabelecido pode ser reduzido conforme a eficiência da blindagem.

Os fabricantes de equipamentos acoplados ao paciente devem definir os limites de imunidade, bem como os procedimentos de ensaios utilizados para a verificação da conformidade. Esta recomendação é pertinente pois nestes equipamentos os limites indicados podem ter intensidades muito maiores que os níveis dos sinais fisiológicos captados pelos equipamentos.

Devem ser ainda consideradas algumas condições para a realização dos ensaios:

- A modulação em amplitude deve usar uma única frequência compatível com a largura de faixa definida pelo equipamento sob teste. Caso o equipamento não tenha uma largura de faixa definida, deve-se usar a frequência de 1 [kHz].
- Para equipamentos acoplados ao paciente, os procedimentos de ensaios devem levar em conta a influência do paciente, devendo utilizar “modelos de paciente”, que devem ser obtidos a partir de pesquisas. As prescrições para estes equipamentos ainda estão sob consideração.

- Para equipamentos de suporte à vida, é necessário que todas as frequências da faixa indicada sejam efetivamente usadas nos ensaios.

d) Limites para intensidade de rajadas de pulsos conduzidas (Burst)

A norma NBR IEC 60601-1-2 [1] estabelece os limites em função da forma de ligação dos equipamentos e sistemas na rede elétrica. Para equipamentos conectados a partir de plugues ou tomadas, o nível de imunidade estabelecido para a amplitude das rajadas de pulsos é de 1 [KV].

Para equipamentos conectados diretamente à rede elétrica, o nível de imunidade apontado pela norma é de 2 [KV].

A norma ainda estabelece que equipamentos eletromédicos devem suportar rajadas de no máximo 0,5 [KV] nos pontos de conexão de linhas de comunicação com comprimentos de até 3 [m].

e) Limites para intensidade de surtos de tensão conduzidos

A norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] estabelece que os equipamentos devem ser imunes a surtos de tensão de 1 [KV] em modo diferencial e de 2[KV] em modo comum.

3.3.4 Conclusões em relação à norma NBR IEC 60601-1-2

Analisando as prescrições da norma NBR IEC 60601-1-2 [1], observa-se que este documento, de forma geral, apresenta apenas os limites para os ensaios de compatibilidade eletromagnética. Não apresenta os detalhes das condições de testes e mesmo na apresentação dos limites, esta norma muitas vezes não esclarece perfeitamente as especificidades dos ensaios a serem realizados.

Sendo assim, a tarefa de produzir propostas de ensaios de imunidade eletromagnética para equipamentos e sistemas eletromédicos torna-se difícil, se apenas esta referência normativa for utilizada. É necessário, portanto, o estudo de outras normas, especialmente normas internacionais, que apresentem mais detalhes e esclareçam melhor os tópicos relacionados com a compatibilidade eletromagnética de equipamentos e sistemas.

O ponto de partida está indicado na própria norma NBR IEC 60601-1-2 [1], pois este documento foi preparado a partir de outras normas da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), que são apontadas como referência normativa da regulamentação brasileira.

3.4 Norma internacional CISPR 11

A norma CISPR 11 [11] publicada pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) e produzida pelo comitê internacional especial de perturbações radioelétricas, com o título: Métodos e Limites das Medidas de Perturbações Eletromagnéticas em Equipamentos Médicos, Científicos e Industriais tem o objetivo de padronizar os ensaios de emissão eletromagnética de equipamentos industriais, científicos e médicos.

Esta norma estabelece os limites e condições de ensaio para perturbações eletromagnéticas irradiadas por equipamentos apontados anteriormente, que geram e usam a energia eletromagnética em condições normais de operação.

É importante lembrar que o termo irradiação eletromagnética é considerado como a emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas, de uma fonte para o espaço livre.

3.4.1 Classificação dos equipamentos industriais, científicos e médicos

A norma CISPR 11 [11] define duas divisões para estes equipamentos: Uma primeira que se refere ao princípio de funcionamento e uma segunda que define o local de utilização e a forma de conexão com a rede elétrica.

Grupo 1: Equipamentos que geram e utilizam a energia de radiofrequência em condições normais de operação.

Grupo 2: Equipamentos que geram a energia eletromagnética para fins de tratamento de pessoas (equipamentos médicos) e materiais (equipamentos industriais e científicos).

Estes equipamentos ainda são divididos nas classes A e B conforme discutido anteriormente [3.3.2 – a].

3.4.2 Limites das perturbações eletromagnéticas

Para medidas feitas em locais de ensaios para equipamentos das classes A e B, grupos 1 e 2, esta norma estabelece os limites de tensões nos terminais principais de alimentação na faixa de frequência de 150 [kHz] a 30 [MHz] e limites das intensidades de campos elétricos irradiados na faixa de frequência de 150 [kHz] a 1 [GHz].

Os valores das tensões e intensidades de campo estão indicados nas tabelas do anexo 1, sendo apresentadas neste trabalho apenas como referência para o entendimento dos objetivos e escopo da norma em estudo.

3.4.3 Requisitos gerais para as medidas

a) Ruído do ambiente

Os níveis de ruído do ambiente devem ser conhecidos e considerados nos resultados obtidos. Considera-se a medida de intensidades de campos irradiados em conformidade com os limites estabelecidos desde que os níveis de ruído estejam 6 [dB] abaixo destes valores.

A norma esclarece que os níveis de ruído devem ser medidos no ambiente com o equipamento sob teste desligado. Com este resultado preliminar, pode-se, portanto, medir e avaliar as intensidades dos campos efetivamente irradiados por este equipamento.

b) Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição devem ser providos com detetores de valor médio e de valor de quasi-pico. Além disso estes equipamentos devem ser imunes às variações de frequências das perturbações eletromagnéticas, produzindo resultados corretos.

c) Rede principal artificial

Para isolar os equipamentos sob teste das redes físicas de energia, evitando a influência dos ruídos presentes nestas redes e também para controlar as condições de impedâncias da rede no transcorrer dos ensaios, são utilizadas estruturas de simulação da rede elétrica. Desta forma, utiliza-se esta estrutura artificial para as medidas das tensões de perturbações eletromagnéticas nos terminais principais de alimentação.

d) Sensores de tensão

Quando não for possível o uso de redes artificiais, pode-se utilizar pontas de prova para as medidas de tensão de perturbações eletromagnéticas. Estes sensores devem providenciar uma conexão segura com a rede elétrica e permitir a medida das tensões de perturbações eletromagnéticas que aparecem na rede elétrica, geradas nos equipamentos sob testes. A figura 3.1 apresenta a estrutura.

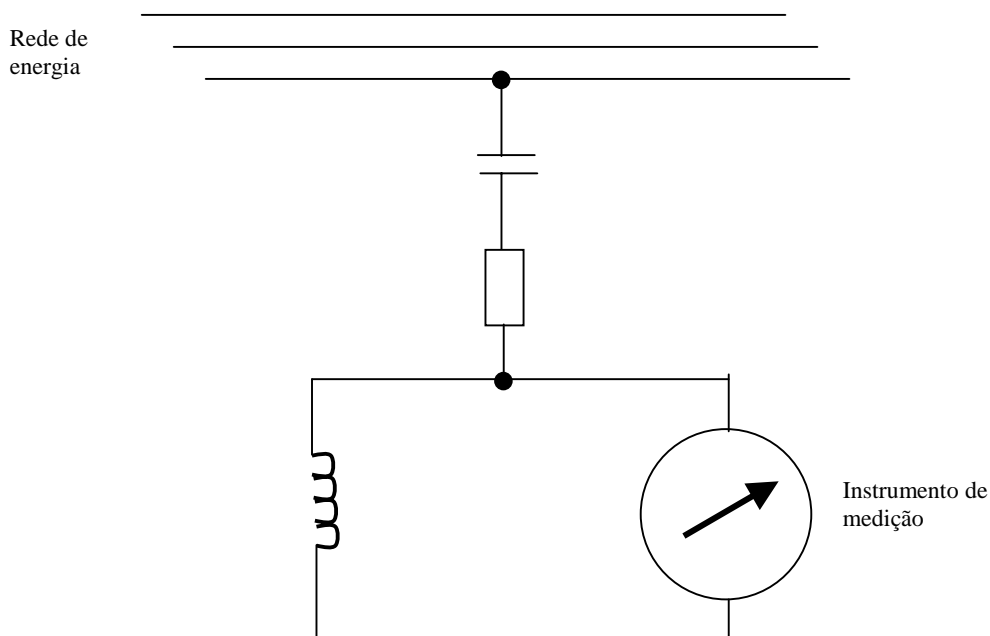


Figura 3.1- Conexão do instrumento de medição na linha principal

e) Antenas

As antenas usadas para captar a emissão eletromagnética devem apresentar capacidade de recepção em polarização horizontal e vertical, tendo a facilidade de giro em torno do eixo vertical, como indicado na figura 3.2.

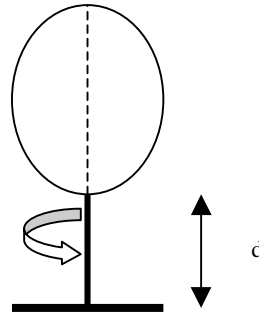


Figura 3.2 – Modelo de antena para captação de emissões eletromagnéticas

A distancia **d** em relação ao ponto de referência de solo deve ser de 1 [m] para frequências abaixo de 30 [MHz] e de 0,2 [m] para frequências de 30 [MHz] a 1 [GHz].

Para frequências acima de 1 [GHz], a norma não especifica a distância mínima, podendo ser entendido que, nestes casos, pode-se manter a distância mínima apresentada para o caso anterior.

f) Condições de carga para equipamentos eletromédicos

As condições de carga dos equipamentos devem ser definidas para a condição normal de operação. Portanto, para o caso específico dos equipamentos conectados ao paciente, estes devem ser providos de eletrodos ou de bobinas para indução de campo eletromagnético, constituindo acoplamentos capacitivo ou indutivo com cargas simuladas.

Genericamente, são utilizadas cargas resistivas quando do acoplamento capacitivo por meio de eletrodos e cargas constituídas por materiais dielétricos para o caso de acoplamento indutivo.

3.4.4 Conclusões em relação à norma CISPR 11

A norma CISPR 11 [11], portanto, apresenta um maior detalhamento em relação à norma NBR IEC 60601-1-2 [1] da ABNT, apresentando não somente os limites dos níveis de emissão eletromagnética, bem como as condições gerais dos testes a serem realizados.

No contexto deste trabalho, os testes de emissão eletromagnética não são abordados. Esta comparação foi realizada apenas para apontar a aridez das informações explícitas na norma brasileira e encaminhar a necessidade do estudo mais detalhado das outras normas internacionais, que tratam dos procedimentos de ensaios de IMUNIDADE ELETROMAGNÉTICA, alvo principal desta pesquisa.

3.5 Norma internacional IEC 1000-4-2

A norma IEC 1000-4-2 [7] da Comissão Eletrotécnica Internacional estabelece as prescrições de ensaios de imunidade à descarga eletrostática (ESD) para equipamentos elétricos e eletrônicos, apontando ainda os limites para determinadas condições ambientais que devem ser consideradas.

3.5.1 Definições

Para os testes de imunidade à descarga eletrostática são especialmente utilizados alguns termos que devem ser definidos:

a) Material anti-estático

São materiais que minimizam acúmulo de cargas estáticas em um determinado ambiente.

b) Descarga eletrostática (ESD)

É a transferência de cargas elétricas entre corpos com diferentes potenciais, pela proximidade ou mesmo pelo contato direto. Os testes de descarga eletrostática levam em conta, sobretudo, a transferência de cargas do corpo humano para partes de equipamentos elétrico e eletrônicos manuseados cotidianamente.

c) Plano de referência de terra

É a superfície condutora cujo potencial elétrico é usado como referência para o gerador de descarga eletrostática.

d) Plano de acoplamento

É a placa metálica onde a descarga eletrostática é aplicada para simular esta descarga em objetos próximos ao equipamento sob teste.

3.5.2 Métodos de aplicação da descarga eletrostática

A aplicação da descarga eletrostática pode ser feita diretamente no equipamento sob teste ou em objetos próximos a este equipamento, configurando a aplicação direta ou indireta.

Para os dois casos apontados, a descarga pode ser feita pelo contato físico do eletrodo com o objeto da aplicação ou mesmo pela aproximação do eletrodo e com a conseqüente geração de um arco voltaico entre o eletrodo e o objeto da aplicação. O primeiro caso é chamado de descarga de contato e segundo de descarga pelo ar.

3.5.3 Limites da descarga eletrostática

Estes limites consideram as várias características ambientais que podem influenciar as amplitudes de tensões geradas pelo corpo humano, apontando para a determinação de classes ambientais específicas, como mostra a tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Limites para testes de imunidade à descarga eletrostática

Classe ambiental	Umidade Relativa menor que: [%]	Material anti-estático	Material sintético	Pelo ar tensão [kV]	Contato tensão [kV]
1	35	Sim	Não	2	2
2	10	Sim	Não	4	4
3	50	Não	Sim	8	6
4	10	Não	Sim	15	8

Os dados fornecidos pela tabela 3.1 mostram que equipamentos com baixa imunidade à descarga eletrostática devem operar em ambientes protegidos com a colocação de tapetes de materiais anti-estáticos e a adoção de cuidados especiais na manipulação destes.

No entanto, a maioria dos equipamentos e sistemas serão colocados em ambientes propícios à geração de níveis mais elevados de tensões de descargas eletrostáticas, devendo estes dispositivos apresentar uma maior imunidade eletromagnética à descarga eletrostática. Os fabricantes devem, portanto, especificar as condições ambientais de operação nominal de cada equipamento.

3.5.4 Configuração dos ensaios de imunidade à descarga eletrostática

A norma IEC 1000-4-2 [7] define que os ensaios de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática são realizados de duas formas diferentes: Ensaios de tipo e ensaios de pós-instalação.

Os ensaios de tipo são realizados em laboratórios preparados para simular as condições normais de operação do equipamento sob teste.

Os ensaios de pós-instalação são realizados nos ambientes “reais” onde os equipamentos e sistemas serão utilizados pelos clientes.

A norma nomeia os ensaios de tipo como a forma preferencial para os testes de imunidade à descarga eletrostática, determinando que as instruções de instalação e operação dos fabricantes sejam rigorosamente cumpridas. Sendo assim os arranjos necessários são detalhadamente especificados para os ensaios de imunidade às descargas eletrostáticas de contato e pelo ar. A análise com mais profundidade dos procedimentos de ensaios é feita no próximo capítulo, onde são apresentadas as propostas de ensaios de imunidade eletromagnética para equipamentos eletromédicos.

3.6 Norma internacional IEC 1000-4-3

A norma IEC 1000-4-3 [8] da Comissão Eletrotécnica Internacional estabelece as prescrições de ensaios de imunidade à irradiação de campos eletromagnéticos de radiofrequência , para equipamentos elétricos e eletrônicos.

As fontes mais comuns deste tipo de perturbação eletromagnética são os equipamentos de transmissão de sinais de televisão e rádio comerciais, sistemas de comunicação ponto a ponto e sistemas com estações de rádio base. É possível também que campos eletromagnéticos gerados de forma espúria possam também configurar perturbações eletromagnéticas consideráveis.

3.6.1 Definições

Para os testes de imunidade à irradiação de campos eletromagnéticos de radiofrequência é necessário a definição de alguns termos especialmente importantes:

a) Câmara anecóica

É um local blindado eletromagneticamente, que tem a capacidade de reduzir reflexões da onda eletromagnética nas superfícies internas de suas paredes.

b) Modulação

É um processo pelo qual um sinal de informação é incorporado a uma portadora de alta frequência, pela variação da amplitude ou do ângulo total deste sinal.

c) Onda contínua (CW)

Trata-se de uma onda eletromagnética com oscilações harmônicas que podem ser moduladas por um sinal de informação.

d) Região de campo distante

É uma região afastada da antena com distâncias, onde a densidade de potência do campo eletromagnético varia na razão inversa com o quadrado da distância.

e) Região de campos de indução

Trata-se de uma região de campos elétrico e magnético afastados com distâncias pequenas em relação à antena.

f) Antena isotrópica

É um dispositivo capaz de irradiar ou receber campos eletromagnéticos com a mesma intensidade em todas as direções.

3.6.2 Limites da intensidade de campos eletromagnéticos irradiados

Os limites destas perturbações eletromagnéticas, para os testes de imunidade de equipamentos elétricos e eletrônicos à irradiação de campos de radiofrequência devem levar em conta a localização destes equipamentos em ambientes eletromagnéticos mais ou menos “poluídos”. Desta forma, é feita uma divisão em classes ambientais, onde os limites estabelecidos são necessariamente diferentes.

Classe 1 – Ambiente com baixo nível de campos eletromagnéticos irradiados:

São regiões com transmissores de baixa potência e com estações de rádio e televisão distantes de mais de 1 [Km].

Classe 2 - Ambiente com nível mediano de campos eletromagnéticos irradiados:

É um típico ambiente comercial, com transceptores de potência inferior a 1 [W] não muito próximos ao equipamento elétrico e eletrônico sob teste.

Classe 3 - Ambiente com alto nível de campos eletromagnéticos irradiados:

São regiões próximas a transmissores de alta potência ou ambientes industriais.

A tabela 3.2 indica os limites das intensidades dos campos irradiados utilizados nos testes de imunidade eletromagnética à irradiação eletromagnética.

Tabela 3.2 – Limites para teste de imunidade eletromagnética a campos irradiados	
Classe	Nível da intensidade de campo [V/m]
1	1
2	3
3	10

O sinal gerado para teste deve ser modulado em amplitude com índice de modulação de 80 % por um sinal modulante de 1 [kHz], na faixa de 80 [MHz] a 1 [GHz].

3.6.3 Configuração dos ensaios de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados

Os ensaios de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados devem ser realizados em locais providos de câmaras anecóicas. A utilização destas câmaras tem o objetivo de evitar a ação de campos eletromagnéticos presentes no ambiente que possam influenciar os resultados obtidos. Da mesma forma, os equipamentos geradores do campo eletromagnético e os instrumentos de monitoramento do equipamento sob teste devem ficar separados deste equipamento e não podem sofrer a ação do campo eletromagnético gerado no teste.

A figura 3.3 mostra o arranjo básico para os testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados.

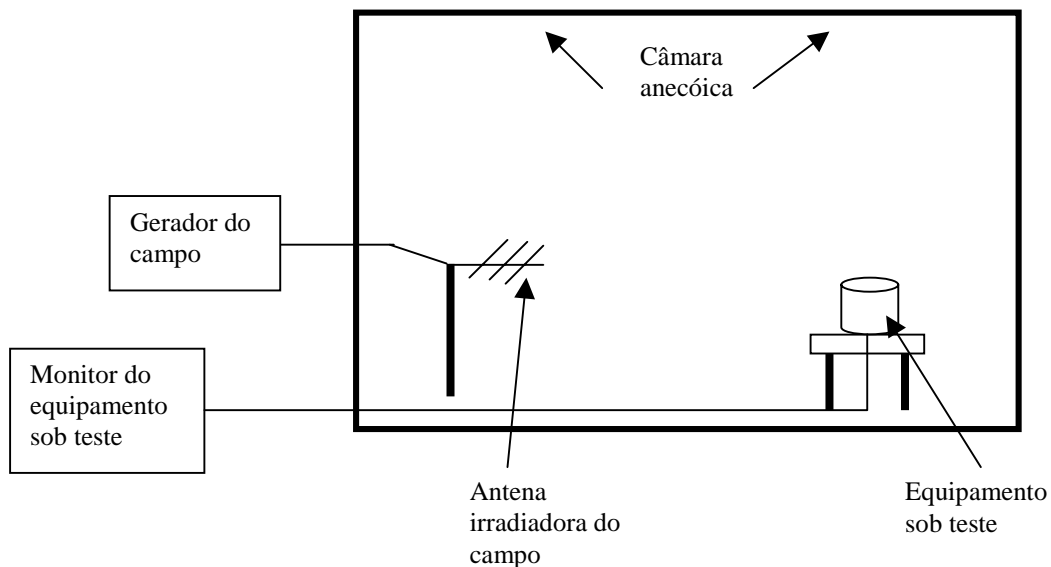


Figura 3.3 - Arranjo para teste de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados

O gerador do campo irradiado deve ser capaz de fornecer para a antena um sinal modulado em amplitude com índice de modulação de 80% e varrer a faixa de frequência definida para o teste, automaticamente.

As antenas utilizadas para a irradiação do campo devem gerar polarização linear e serem capazes de operar na faixa de frequência estipulada para o teste. Normalmente, são utilizadas antenas bicônicas ou log- periódicas.

Os equipamentos localizados fora da câmara anecóica devem ser conectados ao interior desta com cabos blindados e com o uso de filtros de interferência eletromagnética entre o equipamento sob teste e o monitor de funcionamento do mesmo.

É importante lembrar que as paredes da câmara anecóica são providas de superfícies anti reflexão, construídas com cones de material que absorvem os campos eletromagnéticos.

Em função da necessidade de ambientes eletromagnéticos controlados, os testes de imunidade à irradiação de campos eletromagnéticos devem ser realizados em laboratórios especializados e equipados para tal tarefa. Desta forma, não é possível a realização de ensaios confiáveis nos ambientes reais de operação dos equipamentos ou sistemas sob teste.

3.7 Norma Internacional IEC 1000-4-4

A norma IEC 1000-4-4 [9] da Comissão Eletrotécnica Internacional estabelece as prescrições de ensaios de imunidade às rajadas rápidas de pulsos (Burst), para equipamentos elétricos e eletrônicos. Esta norma define os requisitos de imunidade eletromagnética para equipamentos elétricos e eletrônicos a sinais transientes rápidos e

repetitivos, normalmente gerados por chaveamentos de cargas indutivas e transição de contatos de relés e contadores.

Este tipo de perturbação eletromagnética aparece na rede elétrica e nas entradas de sinais e controle onde estão conectados os equipamentos elétricos e eletrônicos. No teste de imunidade às rajadas de pulsos, devem ser levados em conta os tempos de subida, a taxa de repetição e a baixa energia destas perturbações eletromagnéticas.

3.7.1 Definições

a) Acoplamento

É a interação entre circuitos, com a transferência de energia de um ponto para outro através de uma rede de acoplamento.

b) Desacoplamento

É a utilização de circuito apropriado para proteger determinados circuitos da ação das rajadas de pulsos, utilizadas nos testes de imunidade eletromagnética.

c) Transiente

É a designação de um sinal que varia entre dois estados de forma repetitiva, durante um intervalo de tempo relativamente pequeno.

d) Tempo de subida

É o intervalo de tempo necessário para que os valores do pulso variem de 10% até 90% da amplitude máxima deste sinal.

As características das rajadas de pulsos já foram apresentados no capítulo anterior [2.5.2-c] e são utilizadas como padrão neste capítulo.

3.7.2 Limites das amplitudes das rajadas rápidas de pulsos

A norma IEC 1000-4-4 [9] estabelece uma classificação ambiental discriminando ambientes que são mais ou menos protegidos.

Nível 1: Ambientes bem protegidos:

Neste tipo de ambiente, existe supressão total de transientes nas linhas de energia e nos circuitos de controle. As linhas de alimentação e de controle estão isoladas e são utilizados cabos blindados e sistemas de aterramentos.

Nível 2: Ambientes protegidos:

Neste caso, existe supressão parcial de transientes nas linhas de energia e circuitos de controle. Os cabos de energia são separados dos cabos de sinais, mas não são blindados.

Nível 3: Ambientes industriais:

Neste tipo de ambiente, não existe supressão de transientes nas linhas de energia e circuitos de controle. Têm-se uma péssima separação entre os circuitos industriais e os outros circuitos.

Nível 4: Ambientes industriais críticos:

Neste caso, não existe supressão de transientes nas linhas de energia nem tão pouco nos circuitos de controle. Não existe também separação entre os circuitos industriais e os outros circuitos.

A tabela 3.3 apresenta os valores das rajadas de pulsos para os testes de imunidade eletromagnética em relação a este tipo de perturbação eletromagnética, levando em conta a classificação ambiental, os terminais onde as perturbações são aplicadas e as taxas de repetição dos sinais de Burst.

Tabela 3.3 – Limites das rajadas de pulsos para teste de imunidade eletromagnética				
	Linhas de energia		Entradas e saídas de controle	
Nível ambiental	Tensão de pico [kV]	Taxa de repetição [kHz]	Tensão de pico [kV]	Taxa de repetição [kHz]
1	0,5	5	0,25	5
2	1	5	0,5	5
3	2	5	1	5
4	4	2,5	2	5

A norma ainda estabelece uma tolerância de $\pm 20\%$ para os valores de tensão e $\pm 10\%$ para os valores da taxa de repetição.

3.7.3 Configuração dos ensaios de imunidade às rajadas rápidas de pulsos (Burst)

A norma IEC 1000-4-4 [9] estabelece a possibilidade de realização de dois tipos de testes de imunidade às rajadas de pulsos: testes de tipo realizados em laboratórios especialmente preparados para os ensaios e testes de pós instalação a serem realizados nos locais onde os equipamentos irão operar normalmente.

Os testes de tipo configuram a forma preferencial recomendada pela norma, pois podem ser realizados em ambientes controlados e isolados, evitando, assim, que as perturbações eletromagnéticas contaminem a rede elétrica de alimentação do equipamento sob teste. Isto é feito com a utilização de malhas de acoplamento e desacoplamento AC nos pontos onde as rajadas de pulsos são aplicadas para fins de testes de imunidade eletromagnética.

O acoplamento do sinal de tensão (Burst) no equipamento sob teste pode ser feito diretamente nas linhas de alimentação, isto é nos terminais de fase , neutro e terra ou mesmo através de acoplamento capacitivo nos terminais de comunicação e controle de entrada e saída do equipamento sob teste.

No capítulo seguinte, são mostrados com detalhes a estrutura e os procedimentos necessários para os testes de imunidade eletromagnética à rajada de pulsos (Burst).

3.8 Norma internacional IEC 1000-4-5

A norma IEC 1000-4-5 [10] da Comissão Eletrotécnica Internacional estabelece as prescrições de ensaios de imunidade aos surtos de tensão (Surge), para equipamentos elétricos e eletrônicos.

Esta norma define os requisitos de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão presentes nas entradas de alimentação de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos. Estes surtos são normalmente causados por descargas elétricas que atingem a rede elétrica, bem como também por fenômenos de chaveamento de cargas nas redes de alta e baixa tensão.

3.8.1 Definições

a) Surto

É a variação de tensão, corrente ou potência elétrica que se propaga ao longo da rede elétrica, sendo caracterizada por um tempo de subida rápido e um tempo de descida lento.

b) Linhas balanceadas

Trata-se de um par de condutores dispostos simetricamente permitindo medidas de modo comum e modo diferencial.

c) Rede de Acoplamento

É um circuito elétrico usado com o objetivo de transferir os surtos de tensão do gerador até o equipamento sob teste.

d) Rede de desacoplamento

É um circuito usado com o objetivo de evitar que o surto de tensão atinja outros equipamentos que não estão sob teste.

e) Tempo frontal

Este parâmetro é definido como sendo o tempo que o pulso gasta para variar sua amplitude de 30 até 90% do valor máximo multiplicado por um fator numérico que varia entre os valores 1,25 a 1,67.

f) Tempo para valor mediano

É o tempo de duração do pulso para amplitude maior ou igual a 50% da amplitude máxima.

g) Proteção primária

É a estrutura que evita que a energia de uma perturbação eletromagnética se propague para um determinado ponto.

h) Proteção secundária

É a estrutura que elimina a energia da perturbação eletromagnética que consegue atravessar a proteção primária.

3.8.2 Limites para as amplitudes de surtos de tensão

Os níveis de surtos de tensão são especificados por esta norma em função da classificação ambiental dos equipamentos a serem testados. A seguir apresenta-se esta classificação.

Classe 1: Ambiente parcialmente protegido:

Os cabos de conexão são protegidos contra sobre-tensão em proteção primária e ligados ao sistema de aterramento. A fonte de alimentação do equipamento é separada dos dispositivos de alimentação de outros equipamentos

Classe 2: Ambiente sem proteção primária:

Os cabos têm aterramento próprio, separado do sistema de potência e utilizam fontes de alimentação separadas, mas não têm proteção primária.

Classe 3: Ambiente com aterramento comum:

O cabos de conexão utilizam o sistema de aterramento próprio do sistema de potência, potencialmente ruidosos. Estes cabos são colocados em paralelo com os cabos de energia.

Classe 4 : Ambiente com cabos de conexão externos:

Os equipamentos são ligados ao sistema de aterramento do sistema de potência e os cabos de conexão são externos e colocados em paralelo com cabos de energia.

A tabela 3.4 mostra os limites das amplitudes dos surtos de tensão para testes de imunidade eletromagnética, levando-se em conta as classes ambientais onde o equipamento sob teste deve operar normalmente.

Tabela 3.4 – Limites dos surtos de tensão para os testes de imunidade eletromagnética	
Classe	Tensão de Surto (circuito aberto) [kV]
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0

3.8.3 Configuração dos ensaios de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

Os surtos de tensão são aplicados nos terminais de alimentação dos equipamentos sob teste através de acoplamento capacitivo. Como normalmente existem outros equipamentos alimentados por esta mesma rede, torna-se necessário o uso de redes de desacoplamento para evitar que a perturbação gerada no teste atinja estes equipamentos.

A figura 3.4 mostra o diagrama básico da aplicação do surto de tensão em um equipamento sob teste, mostrando as redes de acoplamento e desacoplamento.

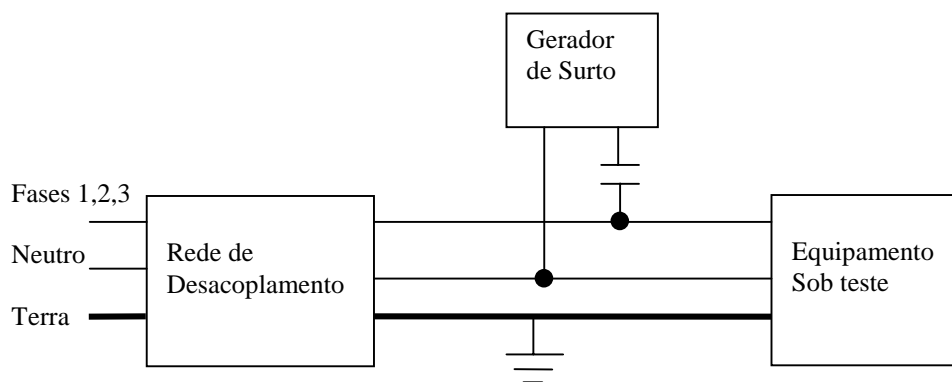


Figura 3.4 – Configuração típica para teste de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

O teste completo de imunidade eletromagnética consiste em aplicar os surtos de tensão entre as fases, entre cada fase e o neutro e cada fase e o ponto de terra.

Os detalhes dos procedimentos de teste de imunidade eletromagnética são abordados no próximo capítulo.

3.9 Considerações finais

O estudo comparativo entre a norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] e as normas internacionais da Comissão Eletrotécnica Internacional IEC mostram que a norma brasileira, apesar de abrangente no seu escopo, não apresenta os detalhes suficientes e necessários para a realização dos ensaios de imunidade eletromagnética em equipamentos médicos.

É necessário, portanto, um aprofundamento nos procedimentos de testes para apontar um caminho seguro para os fabricantes quando dos ensaios de pré-conformidade, ainda nas fases de projeto e testes finais de seus produtos.

A proposta inicial deste trabalho foi sempre apresentar um roteiro de ações e procedimentos para a realização dos testes de imunidade eletromagnética, sobretudo os testes de imunidade às perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica e pelo ar.

Esta tarefa é realizada no capítulo 4, apresentando propostas de ensaios de imunidade eletromagnética para pré-conformidade, oferecendo aos fabricantes de equipamentos eletromédicos um roteiro de verificação da qualidade de seus produtos, no contexto da imunidade eletromagnética.

Capítulo 4

Propostas de Ensaios de Imunidade Eletromagnética para Equipamentos Eletromédicos

4.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta as propostas de ensaios de imunidade eletromagnética determinados pela norma brasileira NBRIEC 60601-1-2 [1] enriquecidas pelo detalhamento fornecido pelas normas da família IEC-1000-4 [7] [8] [9] [10] da Comissão Eletrotécnica Internacional.

O objetivo principal é o estabelecimento de roteiros de testes para fabricantes de equipamentos eletromédicos que devem ser seguidos nas fases de testes de protótipos, no contexto de ensaios de pré-conformidade.

Os ensaios serão divididos em função do tipo de perturbação eletromagnética estudada, apresentando os arranjos necessários e os limites a serem considerados em cada teste.

4.2 Testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática ESD

Os testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática devem ser realizados em ambientes apropriados onde são gerados sinais de alta tensão que posteriormente são aplicados diretamente ou indiretamente no equipamento sob teste.

O arranjo básico para o teste de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática é mostrado na figura 4.1 que apresenta o gerador ESD, o eletrodo de aplicação e o equipamento sob teste.

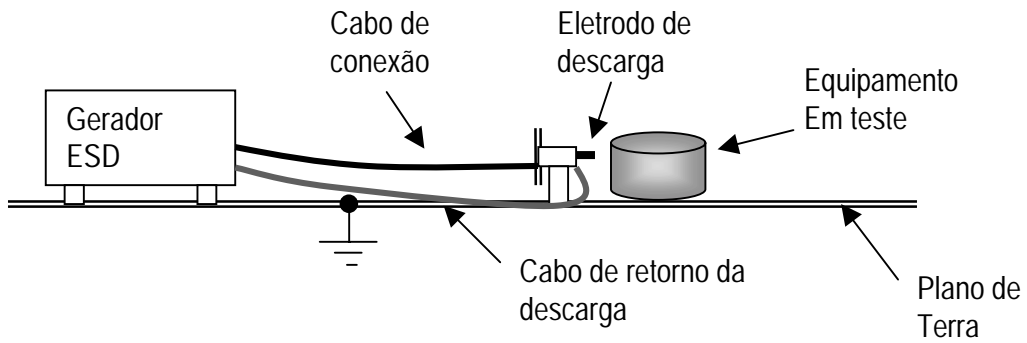


Figura 4.1- Arranjo para teste de imunidade eletromagnética à ESD

A aplicação da descarga eletrostática pode ser feita diretamente no equipamento sob teste ou em planos condutores horizontais ou verticais. A aplicação desta descarga pode ainda ser por contato ou pelo ar.

4.2.1 Características do gerador ESD

O gerador de descarga eletrostática responsável pela geração e aplicação do sinal de alta tensão é descrito de forma genérica pelo circuito apresentado na figura 4.2.

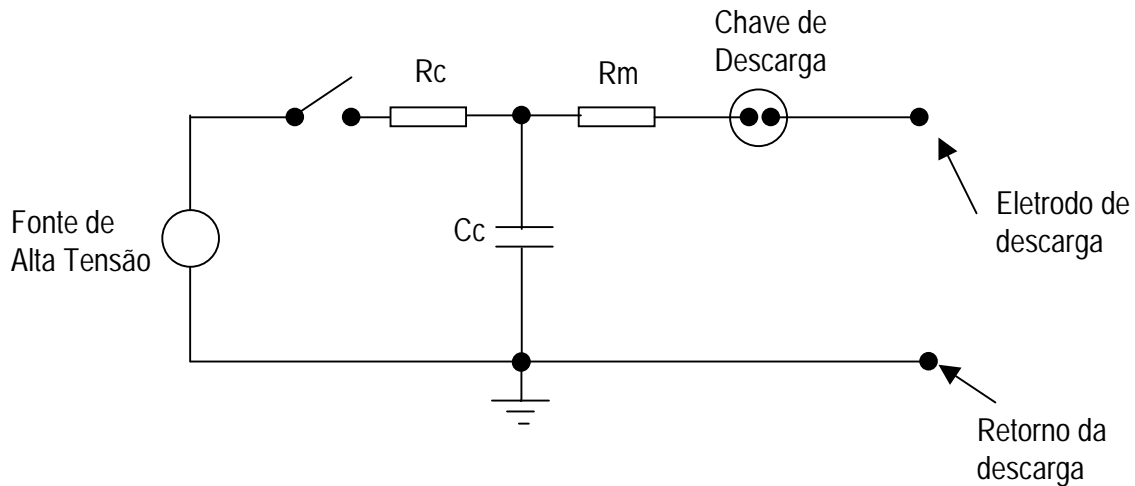


Figura 4.2 – Circuito simplificado do gerador de ESD

O gerador típico de ESD deve apresentar uma fonte de alta tensão e um circuito de carga constituído por R_c e C_c e um dispositivo de descarga formado por R_m e a chave de descarga.

Um outro componente importante do gerador de descarga eletrostática é o eletrodo de descarga que deve aplicar a alta tensão no equipamento sob teste. A norma IEC 1000-4-2 [7] define as dimensões destes eletrodos para descarga pelo ar e por contato, conforme indicação no anexo 2 .

O sinal que deve ser gerado por este circuito apresenta algumas características próprias, conforme mostradas na forma de onda de corrente elétrica da figura 4.3.

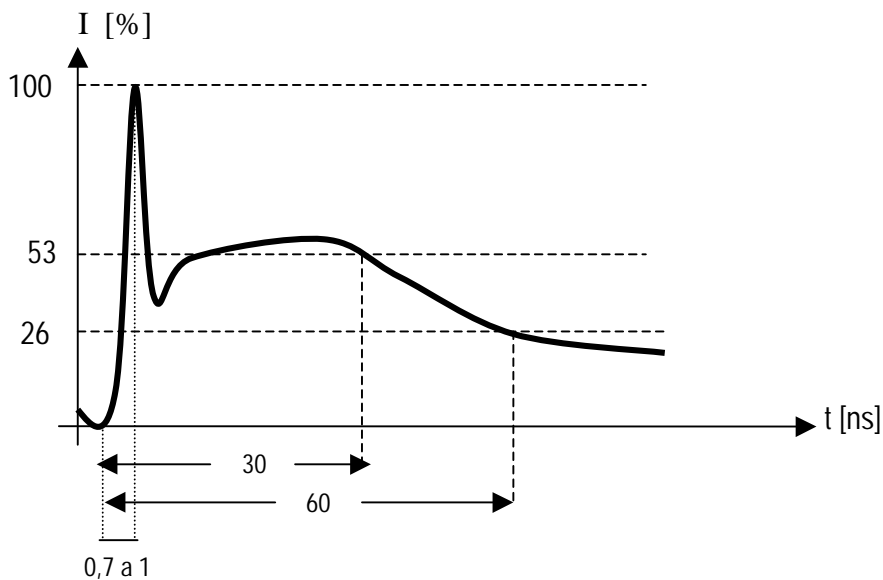


Figura 4.3 – Forma de onda típica de corrente do gerador ESD

O valor máximo em 100% da intensidade da corrente elétrica depende dos limites de tensão apresentados na tabela 3.1 do capítulo anterior [3.5.3], assumindo os valores conforme a tabela 4.1. Como se trata de intensidade de corrente, esta informação é válida para os testes de imunidade eletromagnética à descarga por contato.

Tabela 4.1 – Intensidade máxima da corrente elétrica na saída do gerador ESD	
Classe Ambiental	Intensidade máxima da Corrente Elétrica [A] - 100%
1	7,5
2	15
3	22,5
4	30

4.2.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática

Os testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática devem ser realizados preferencialmente em ambientes controlados que apresentem as condições climáticas específicas apresentadas abaixo:

Temperatura ambiente: 15 – 35 °C

Umidade relativa: 30 – 60 %

Pressão atmosférica: 86 – 106 kPa

Os testes devem ser precedidos por um planejamento formal designado de plano de teste. Este plano de teste deve descrever em detalhes o procedimento de teste apresentando de forma geral os pontos:

- Condições de operação do equipamento sob teste.
- Posicionamento do equipamento sob teste, se colocado no piso ou sobre uma mesa.
- Indicação dos locais de aplicação da descarga e anotando o tipo de aplicação, se por contato ou pelo ar.
- O valor da tensão de descarga ajustada no gerador.
- A quantidade de descargas a serem aplicadas em cada ponto já nomeado.

Ainda é necessário especificar os tipos de aplicação da descarga.

a) Aplicação direta

Neste caso, o eletrodo de descarga é posicionado nos pontos escolhidos diretamente no equipamento sob teste, conforme mostrado na figura 4.1, podendo ser pontos externos e internos. Os pontos externos se referem ao manuseio típico dos operadores do equipamento. Os pontos internos se referem aos de contato nos procedimentos de manutenção do equipamento. Neste caso, as descargas devem ser repetitivas até um limite de dez ocorrências de descargas simples, respeitado um intervalo mínimo de tempo entre descargas de 1 [s].

O eletrodo de aplicação deve ser posicionado perpendicularmente à superfície do equipamento sob teste e o comprimento do cabo de retorno da descarga deve ser de no mínimo de 0,2 [m].

Ainda é importante ressaltar que o equipamento sob teste deve ser posicionado longe de qualquer estrutura metálica e paredes, sendo necessário respeitar uma distância mínima de 1[m]. Este equipamento também deve estar necessariamente conectado à rede de aterramento.

b) Aplicação indireta

Este tipo de aplicação simula a situação de uma descarga ocorrendo em um objeto próximo ao equipamento sob teste. Para isto, são posicionados planos de acoplamento horizontal (sob o equipamento) e vertical (ao lado do equipamento).

- Aplicação no plano de acoplamento horizontal

Neste caso, são realizadas até dez descargas simples em cada ponto localizado em um dos lados do equipamento sob teste. O procedimento deve ser repetido para os outros três lados deste mesmo equipamento.

A figura 4.4a ilustra o procedimento:

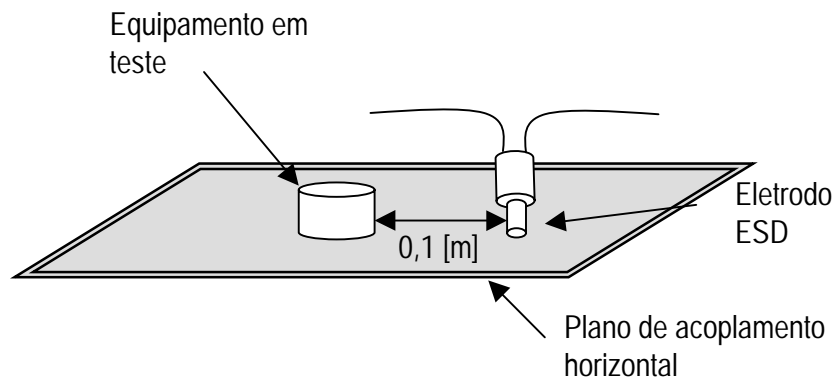


Figura 4.4a – Aplicação indireta no plano de acoplamento horizontal

- Aplicação no plano de acoplamento vertical

O plano de acoplamento vertical deve ser posicionado nas quatro faces ao lado do equipamento sob teste, respeitando uma distância de 0,1 [m] em relação a este equipamento.

Devem ser aplicadas no mínimo dez descargas simples no plano posicionado em cada quadrante, conforme mostra a figura 4.4b:

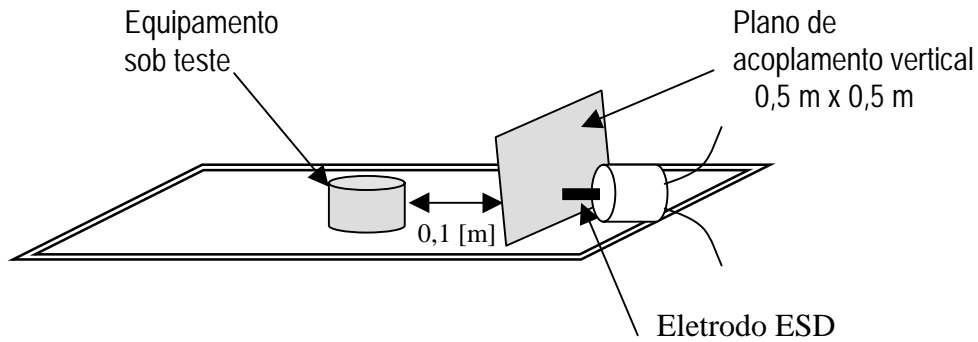


Figura 4.4b – Aplicação indireta no plano de acoplamento vertical

4.2.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética à descarga eletrostática

Os procedimentos indicados anteriormente pressupõem uma definição, nos planos de teste, dos limites de tensões de descarga eletrostática a serem aplicadas no equipamento sob teste. A norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] define apenas dois limites a serem aplicados:

Valor de 3 [kV] para descarga por contato nas partes acessíveis condutivas.

Valor de 8 [kV] para descarga aérea nas partes acessíveis não condutivas.

A norma IEC 1000-4-2 [7] estabelece um limite máximo de 8 [kV] por contato e de 15 [kV] por via aérea, quando da instalação do equipamento, em ambientes de baixa umidade e sem uso de materiais anti-estáticos.

Como o foco deste trabalho são os testes de pré-conformidade ainda nos protótipos ou mesmo nas versões finais dos produtos, recomenda-se a aplicação dos limites indicados pela norma IEC.

Esta escolha está amparada no conceito de se trabalhar no pior caso e adequar o futuro produto às exigências das normas brasileiras e internacionais.

4.3 Testes de imunidade eletromagnética a campos eletromagnéticos irradiados

Os testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados devem ser realizados em ambientes adequados providos de uma infra-estrutura bastante sofisticada.

Este tipo de ensaio pode ser apenas configurado com teste de tipo e envolve um custo mais elevado para o fabricante, pois este terá duas alternativas:

- A primeira alternativa seria a construção de todo o aparato necessário para a realização dos testes.
- A Segunda alternativa seria a contratação de laboratórios capacitados para a realização deste serviço.

Considerando uma ou outra alternativa, os procedimentos dos testes que devem ser realizados tem como referência o arranjo já apresentado no capítulo anterior [3.6.3]. Este arranjo já citado deve ser detalhado para clarear os procedimentos a serem seguidos.

A figura 4.5 mostra o arranjo básico de testes de imunidade a campos eletromagnéticos com maior riqueza de detalhes, apresentando os componentes necessários.

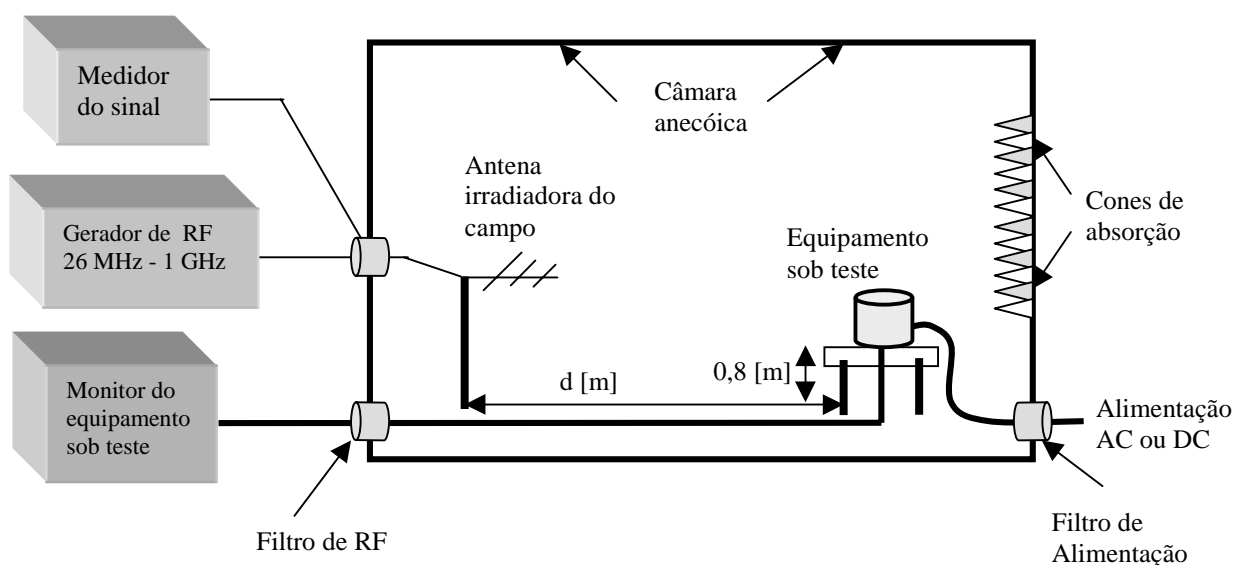


Figura 4.5 – Componentes para testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados

Os componentes mostrados na figura 4.5 são recomendados para uma maior eficiência dos testes de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados. A seguir são apresentadas as considerações fundamentais de cada componente:

- Câmara Anecóica

A câmara é necessária para isolar o equipamento sob teste e garantir um campo aplicado uniforme no equipamento sob teste.

- Cones de absorção

São responsáveis pela eliminação de campos refletidos no interior da câmara, facilitando o ajuste da região de campo uniforme, onde o equipamento sob teste deve ser colocado.

- Filtros de RF

Estes filtros são colocados para evitar que as perturbações eletromagnéticas induzidas nos cabos dentro da câmara afetem os equipamentos de apoio posicionados fora da câmara.

- Gerador de RF

Este gerador deve ser capaz de gerar um sinal modulado em amplitude entre as frequências de 26 [MHz] e 1 [GHz] em uma variação de até de $1,5 \cdot 10^{-3}$ décadas em um segundo. Esta variação deve ser programada para as formas automática ou manual.

- Monitor do equipamento sob teste

Este equipamento deve ser capaz de monitorar o desempenho do equipamento sob teste, avaliando as possíveis degradações no seu funcionamento.

- Antenas

São dispositivos responsáveis pela efetiva emissão da onda eletromagnética no interior da câmara anecóica. Tipicamente, são usadas antenas log periódicas, bicônicas ou qualquer antena com polarização linear que satisfaça à faixa de frequência desejada.

- Antena isotrópica

Este tipo de antena é usado para ajustar a região de campo uniforme dentro da câmara.

- Medidor do sinal

Este equipamento permite controlar e ajustar a intensidade dos campos efetivamente aplicados no teste.

4.3.1 Ajuste da área de campo uniforme

A finalidade do ajuste da região de campo uniforme está relacionada com a validade e o perfeito controle dos resultados dos testes. A colocação do equipamento sob teste nesta região garante, com precisão, o conhecimento da intensidade do campo irradiado sobre este equipamento.

A norma IEC 1000-4-3 [8] estabelece como região de campo uniforme, no interior da câmara anecóica, um plano quadrado vertical de 1,5 [m] de lado. Este plano deve ter uma altura mínima de 0,8 [m] em relação ao plano de terra.

Quando da realização do teste de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados, o equipamento sob teste deverá ser posicionado com uma de suas faces colocada de forma coincidente com o plano de campo uniforme.

Este ajuste deve ser feito anualmente ou quando ocorrer alguma alteração na configuração da câmara anecóica.

O procedimento do ajuste da região de campo uniforme utiliza os mesmos componentes indicados na figura 4.5, apenas com a colocação da antena isotrópica como elemento sensor, responsável pela captação do campo gerado pela antena log periódica.

Para a efetivação do ajuste, é considerado o plano vertical de 1,5 x 1,5 [m], dividido em 16 pontos. A antena de geração do campo eletromagnético deve ser posicionada a uma distância “d” da região de campo uniforme e varrer a faixa de frequência útil de operação da câmara anecóica. Esta distância “d” varia com a faixa de frequência de operação da câmara. Para faixa de 26 [MHz] a 1 [GHz], deve-se utilizar uma distância mínima de 3 [m].

A figura 4.6 apresenta o plano vertical com os respectivos 16 pontos onde deve ser colocada a antena receptora para a monitoração das intensidades dos campos.

O campo é considerado uniforme no plano para uma variação na sua intensidade de 0 [dB] a + 6 [dB] em relação ao seu valor nominal.

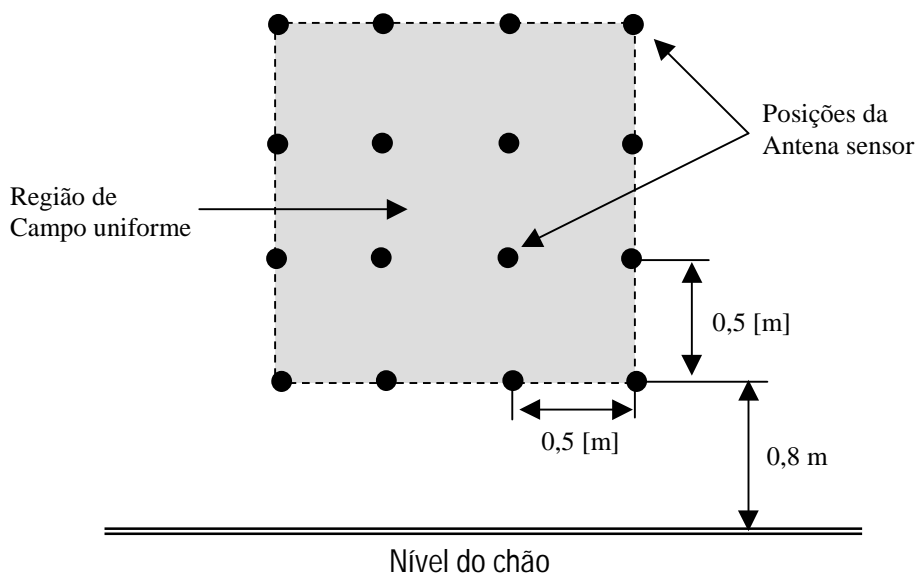


Figura 4.6 - Dimensões da região de campo uniforme

O ajuste da região do campo uniforme deve ser realizada até que, em 75% dos pontos, os campos apresentem intensidades dentro da faixa de tolerância (0 a + 6 [dB]).

4.3.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética a campos eletromagnéticos irradiados

Os equipamentos sob teste devem operar de acordo com as condições nominais de operação. O equipamento que no ambiente normal de funcionamento é colocado diretamente no nível do chão deverá ser testado da mesma forma, considerando-se um arranjo de solo. Os equipamentos colocados em suportes suspensos deverão ser testados no arranjo de mesa, como apresentado na figura 4.5.

O teste de imunidade a campos eletromagnéticos irradiados deve ser realizado a partir de um plano de teste que deve conter:

- As dimensões do equipamento sob teste.
- As condições nominais de operação do equipamento sob teste.
- As condições climáticas do teste.
- A posição do equipamento, apontando se é um arranjo de solo ou de mesa.
- O tipo da antena usada.
- A faixa de frequência usada no teste, os passos da varredura de frequência e o tempo de duração de cada passo de frequência.
- As intensidades dos campos aplicados.
- O método de monitoração do funcionamento do equipamento sob teste.

Após o procedimento de ajuste da região de campo uniforme no interior da câmara, deve-se colocar o equipamento a ser testado com um de seus lados coincidindo com o plano de campo uniforme e realizar a seqüência de teste, conforme arranjo indicado na figura 4.5. Esta seqüência deve ser repetida para os outros três lados do equipamento sob teste.

Para a irradiação da antena em cada um dos lados do equipamento sob teste, esta deve ser alinhada para as polarizações horizontal e vertical.

No decorrer dos testes, é fundamental uma monitoração do funcionamento do equipamento sob teste para a detecção de possíveis degradações no seu desempenho.

A norma IEC 1000-4-3 [8] salienta que um procedimento de verificação do funcionamento do equipamento durante o teste deve ser bastante criterioso e abrangente.

4.3.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética a campos irradiados

A definição das intensidades e faixa de frequência dos campos irradiados para o teste de imunidade é feita pela norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] a saber:

Faixa de frequência de 26 [MHz] a 1 [GHz]

Limite: 3 [V/m]

No entanto, a norma IEC 1000-4-3 [8] estabelece os limites de teste em 10 [V/m] para uma faixa de frequência de 80 [MHz] a 1 [GHz].

Para testes para a faixa de 26 [MHz] até 80 [MHz], seria necessária uma maior distância entre a antena geradora do campo e o equipamento sob teste. Este fato acarretaria a necessidade de câmaras anecoicas de maior dimensão dificultando, assim, a realização destes testes.

Considerando o contexto de ensaios de pré-conformidade, a utilização da faixa a partir de 80 [MHz] com a aplicação de campos de até 10 [V/m] permite uma boa estimativa da imunidade do equipamento sob teste. Neste caso, podem-se utilizar arranjos e equipamentos previstos na norma IEC 1000-4-3 [8], mais comuns no mercado, em função da abrangência desta norma internacional.

4.4 Testes de imunidade eletromagnética às rajadas rápidas de pulsos (Burst)

Os testes de imunidade à rajadas de pulsos são preferencialmente realizados em ambientes adequados, configurando Testes de TIPO. A figura 4.7 mostra a aplicação destes sinais de perturbação eletromagnética nos equipamentos sob teste. Esta figura detalha a redes de acoplamento e desacoplamento necessárias para o acoplamento dos sinais de burst no equipamento sob teste sem contaminar a rede elétrica.

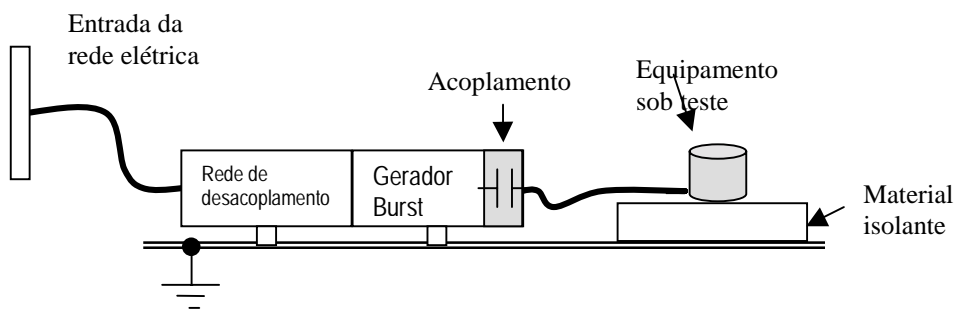


Figura 4.7 – Arranjo básico para teste de imunidade eletromagnética a burst

O arranjo mostrado na figura 4.7 pode sofrer uma variação com a colocação um acoplamento capacitivo externo entre o gerador e o equipamento sob teste. Este tipo de acoplamento provê uma ligação sem contato elétrico direto.

4.4.1 Características do Gerador de Burst

O gerador de burst deve ser capaz de gerar uma rajada repetitiva de pulsos, conforme já mostrado no capítulo 2 deste trabalho [2.5.2.]. A figura 4.8 apresenta o circuito básico deste gerador.

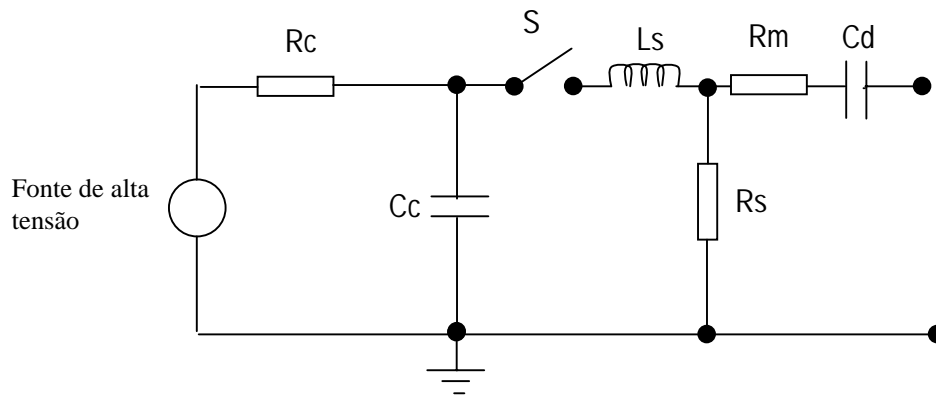


Figura 4.8 – Circuito básico do gerador de burst

O circuito básico do gerador de burst utiliza uma fonte de alta tensão aplicada a um circuito de chaveamento. O sinal na forma de rajadas de pulso é aplicado na saída através do circuito Rm e Cd. O circuito de Rs e Ls permite a geração do sinal conforme as características principais da rajada de pulsos:

- Tempo de subida: 5 [ns]
- Duração do pulso: 50 [ns]
- A taxa de repetição dos pulsos em uma rajada deve ser de 2,5 a 5[kHz].
- A amplitude dos pulsos devem ser de 0,5 a 4 [kV].

4.4.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética às rajadas de pulsos

Conforme o arranjo mostrado na figura 4.7, o gerador de burst deve acoplar a perturbação burst até o equipamento sob teste.

Para linhas de alimentação de energia, é necessário o uso de uma rede de desacoplamento da perturbação, evitando que este sinal contamine a rede elétrica.

A figura 4.9 mostra a ligação típica do gerador de burst nas linhas de alimentação com a respectiva rede de desacoplamento.

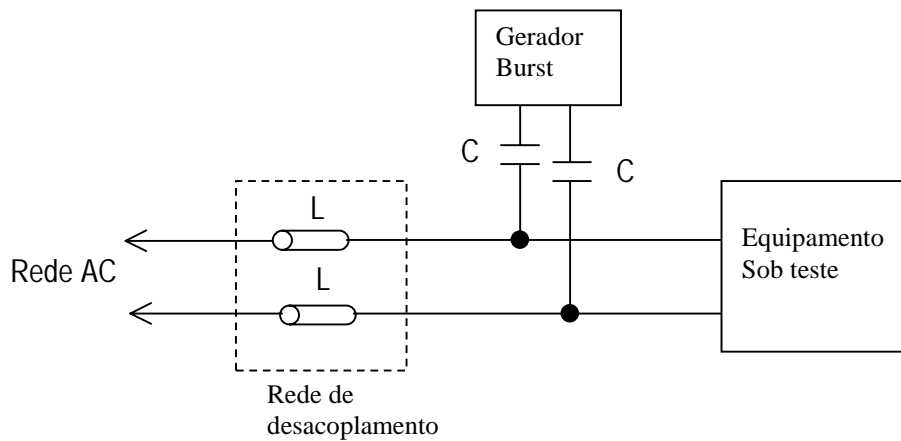


Figura 4.9 – Ligação típica do gerador de burst nas linhas de alimentação

Para entrada ou saída de comunicação, a aplicação das rajadas de pulsos é feita através de um acoplamento capacitivo externo, não configurando uma ligação elétrica direta.

Neste caso, a perturbação eletromagnética é aplicada por indução elétrica nestes terminais, através de uma estrutura chamada de braçadeira capacitiva. O equipamento sob teste deve estar em condições normais de operação.

A figura 4.10 ilustra este arranjo detalhando a braçadeira que estabelece o acoplamento capacitivo.

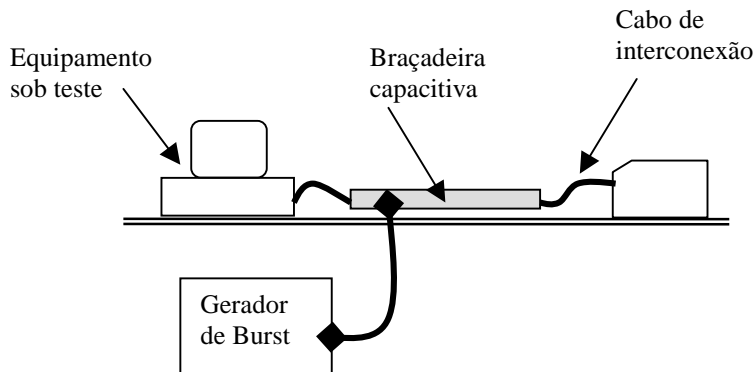


Figura 4.10 – Arranjo para teste de imunidade em linhas de comunicação

A braçadeira é feita com material condutor e apresenta uma capacitância de acoplamento para o cabo de interconexão de 50 [pF] a 200 [pF] e permite uma isolação de 5 [kV].

Para a realização dos testes de imunidade eletromagnética, é necessário a verificação das condições ambientais do laboratório de teste, que devem estar nas condições nominais:

- Temperatura: 15 a 35 °C
- Umidade relativa: 25 a 75 %
- Pressão atmosférica: 86 a 106 kPa

A execução do teste deve seguir o plano de teste que estabelece os principais pontos:

- O tipo de teste: se no laboratório ou no ambiente de operação, sendo que a norma indica o teste em laboratório como o mais adequado.
- Os valores das tensões de burst a serem aplicadas.
- Duração do teste, que não pode ser inferior à 1 minuto.

- A quantidade de aplicações do burst em cada terminal. Pode-se estabelecer um mínimo de 5 aplicações em cada terminal.
- As condições de operação do equipamento sob teste.
- Indicação dos pontos de aplicação e a seqüência desta aplicação, apontando todos os terminais de alimentação e de entrada e saída.

Com a aplicação dos testes de imunidade às rajadas de pulsos, deve-se verificar com bastante atenção o funcionamento do equipamento sob teste e registrar em um relatório as condições e operação do equipamento, relatando:

- Degradações temporárias no funcionamento do equipamento, com retorno às condições normais de operação logo após o final do teste.
- Degradações temporárias no funcionamento do equipamento, com retorno às condições normais de operação logo após o final do teste pela intervenção do operador.
- Danos à componentes ou softwares e mesmo a perda de informações, caracterizando uma degradação permanente no funcionamento do equipamento.
- Operação normal sem degradação durante o teste.

4.4.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética às rajadas de pulsos

A norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] estabelece apenas os limites que devem ser aplicados nos testes de imunidade às rajadas de pulsos (burst). Estas prescrições não são acompanhadas de informações sobre os procedimentos de teste.

Estes limites estabelecidos são de 2 [kV] para linhas de alimentação e 0,5 [kV] para cabos de interconexão.

A norma IEC 1000-4-4 [9] estabelece limites mais altos que a norma brasileira, apresentando ambientes eletromagnéticos diversificados, desde ambientes bem protegidos até ambientes industriais extremamente poluídos.

Os equipamentos médicos normalmente não serão instalados em ambientes industriais, fato este que explica os limites estabelecidos pela norma da ABNT.

No contexto de testes de pré-conformidade recomenda-se que os testes apliquem tensões de rajadas para ambientes relativamente protegidos considerando os limites de aplicação prescritos pela norma brasileira e seguindo o roteiro de procedimentos já apresentados neste capítulo.

4.5 Testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

Os testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão devem ser realizados preferencialmente em ambientes de laboratórios com condições controladas. Estes testes são designados de teste de TIPO. Estes testes podem causar danos aos equipamentos submetidos, em função da alta energia contida neste tipo de perturbação eletromagnética. Portanto, a rede elétrica de alimentação do equipamento sob teste deve estar devidamente isolada por redes de desacoplamento reativas.

O arranjo básico para o teste de imunidade eletromagnética é apresentado na figura 4.11, onde aparece em destaque a aplicação dos surtos de tensão com acoplamento direto.

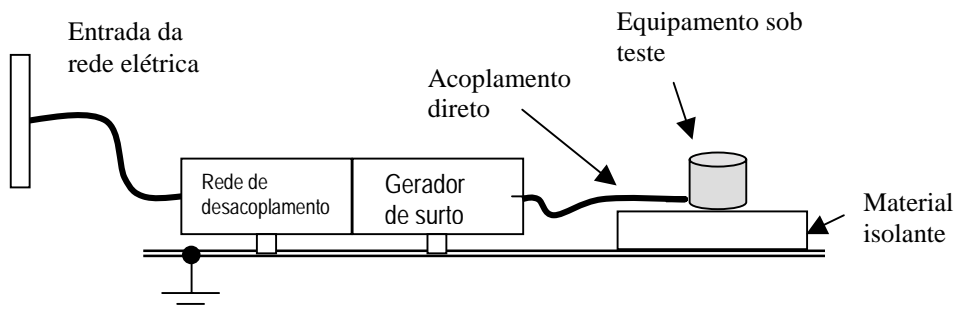


Figura 4.11 – Arranjo básico para testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

4.5.1 Características do gerador de surtos de tensão

O gerador de surtos de tensão deve ser capaz de produzir sinais de surtos de tensão de $1,2/50$ [μs] e $8/20$ [μs] conforme mostrados no capítulo 2 [2.5.2] deste trabalho, com amplitudes de $0,5$ [kV] até 4 [kV] em circuito aberto e $0,25$ [kA] até 2 [kA] em circuito fechado.

A figura 4.12 mostra o circuito simplificado do gerador de surto com a fonte de alta tensão, o circuito de carga e o circuito de aplicação do surto.

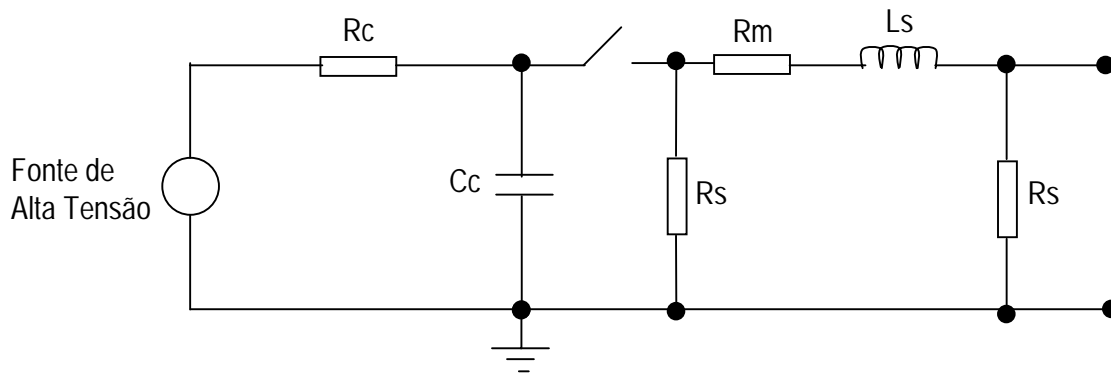


Figura 4.12 – Circuito simplificado do gerador de Surtos

A rede constituída pelos resistores R_s e R_m e o indutor L_s é responsável pela forma do sinal efetivamente aplicado na saída do gerador. Para ajustar as características desejadas dos surto deve-se selecionar os valores destes componentes e também o valor do capacitor de carga C_c .

4.5.2 Procedimentos do teste de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

A aplicação dos surtos de tensão nos equipamentos sob teste utiliza normalmente o acoplamento capacitivo. A aplicação dos surtos de tensão ocorre nas linhas de alimentação e de interconexão entre equipamentos.

A figuras 4.13a e 4.13b apresentam o diagrama genérico para a aplicação dos surtos entre os terminais de fase e neutro e entre cada linha em relação ao terra.

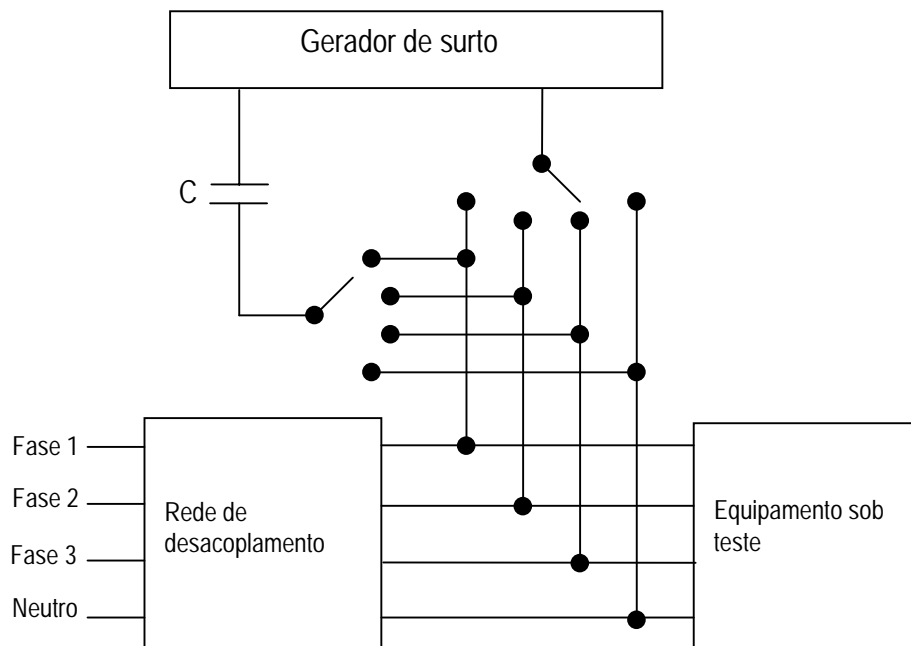


Figura 4.13a – Aplicação de surtos de tensão entre fases e neutro

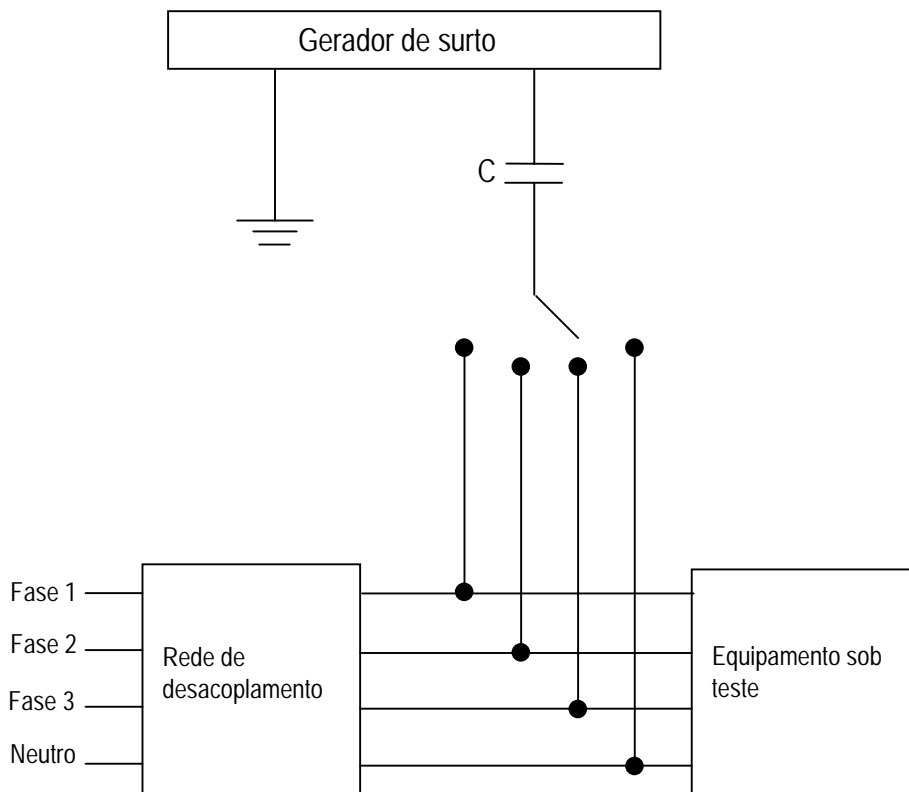


Figura 4.13b – Aplicação de surtos de tensão entre fases e neutro em relação ao terra

As aplicações dos surtos de tensão mostradas nas figuras anteriores podem ser divididas para varias topologias diferentes em função do tipo de equipamento sob teste.

- Terminais das fontes de alimentação do equipamento sob teste:

Esta perturbação é aplicada nos terminais de entrada da alimentação, a partir de um acoplamento capacitivo. Neste caso, é necessário o uso da rede de desacoplamento para proteger a rede elétrica dos efeitos do surto aplicado.

- Terminais de interconexão

Neste caso, o acoplamento é capacitivo, não sendo necessário o uso de redes de desacoplamento.

É possível também a aplicação dos surtos de tensão em estruturas blindadas para testes de imunidade eletromagnética. A figura 4.14 ilustra esta modalidade de aplicação.

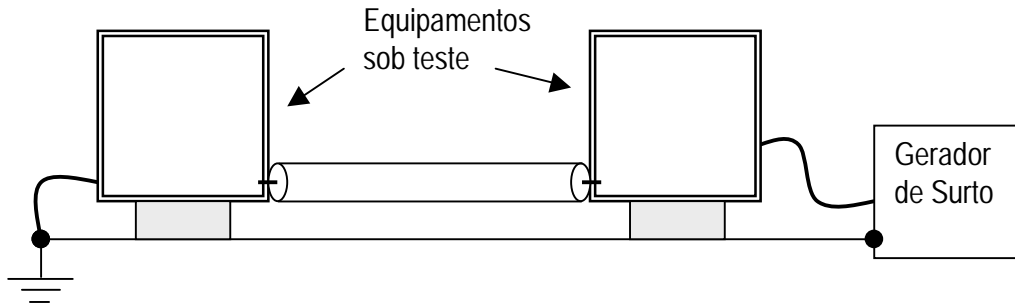


Figura 4.14 – Arranjo para aplicação de surtos de tensão em estruturas blindadas

Os testes de tipo devem ser realizados em laboratórios adequadamente preparados para a execução dos procedimentos indicados em condições ambientais dentro das faixas consideradas padrão. Estas condições são nomeadas abaixo:

- Temperatura ambiente: 15 °C a 35 °C
- Umidade relativa: 10 % a 75 %
- Pressão atmosférica: 86 [kPa] a 106 [kPa]

Para a realização dos testes de imunidade eletromagnética, é necessário o estabelecimento de um plano de teste que deve ser constituído pelos principais pontos:

- Lista dos equipamentos utilizados: Gerador, rede de desacoplamento entre outros.
- Terminais a serem testados.
- Os valores das amplitudes dos surtos de tensão.
- A quantidade de aplicação dos surtos em cada terminal selecionado. Sendo definido um mínimo de cinco aplicações em cada terminal.
- A taxa de repetição da aplicação dos surtos.

- Condições de operação do equipamento sob teste.

É importante lembrar ainda que é recomendado que os surtos sejam aplicados, inicialmente com amplitudes menores que serão aumentadas passo a passo até o limite estabelecido no plano de teste.

Ao final do teste deve-se registrar em um relatório as condições e operação do equipamento, relatando:

- Operação normal sem degradação durante o teste.
- Degradações temporárias no funcionamento do equipamento, com retorno à condições normais de operação logo após o final do teste.
- Degradações temporárias no funcionamento do equipamento, com retorno à condições normais de operação, com a intervenção externa, logo após o final do teste.
- Danos à componentes ou programas e mesmo a perda de dados e informações, caracterizando uma degradação permanente no funcionamento do equipamento.

4.5.3 Conclusões em relação aos testes de imunidade eletromagnética aos surtos de tensão

A norma NBR IEC 60601-1-2 [1] estabelece o limite de aplicação dos surtos de tensão em 2 [kV] em modo comum e a norma IEC 1000-4-5 [10] apresenta vários valores de surtos em função do ambiente típico de instalação dos equipamentos sob teste.

Ainda analisando a norma IEC 1000-4-5 [10], ela caracteriza quatro classes de ambientes. Entre estes os mais comuns são os ambientes protegidos primariamente e com aterramento isolado (nível 1) e os ambientes sem proteção primária mas com aterramento isolado (nível 2).

Os equipamentos eletromédicos tipicamente serão instalados em condições compatíveis com o nível 2, desta forma a norma IEC recomenda o limite de 1[kV].

No contexto de testes de pré-conformidade em protótipos ou mesmo em produtos finais, recomenda-se a aplicação dos procedimentos detalhados no item anterior, com a utilização do limite prescrito pela norma NBR IEC 60601-1-2 [1].

4.6 Considerações Finais

Com base nas comparações já efetuadas ao longo deste capítulo em cada um dos procedimentos de ensaios de imunidade eletromagnética estudados, pode-se concluir que estes procedimentos devem ser realizados em conformidade com as normas IEC 1000-4.

No entanto como os valores dos limites de imunidade eletromagnética prescritos pela norma brasileira NBR IEC 60601-1-2 [1] diferem dos valores encontrados nas normas IEC. A sugestão principal deste capítulo é que o fabricante utilize os limites recomendados nos finais das análises de cada um dos procedimentos de ensaios de imunidade eletromagnética abordados neste capítulo.

Capítulo 5

Conclusão e Sugestões

Este trabalho a partir do objetivo principal de realizar um estudo de compatibilidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos, na visão dos organismos de normatização brasileiro e internacionais:

- apresentou um estudo detalhado dos tipos de perturbações eletromagnéticas e as formas de propagação destas perturbações da fonte até o equipamento susceptível.
- realizou um estudo comparativo entre a norma brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT e as normas da família IEC 1000-4 da Comissão Eletrotécnica Internacional IEC, apresentando as prescrições e condições de teste de emissão e de imunidade eletromagnética dos equipamentos eletro-eletrônicos e eletromédicos em especial.
- e principalmente produziu, baseados nestas normas, roteiros de testes de imunidade eletromagnética em equipamentos eletromédicos seguindo o elenco prescrito na norma brasileira e adotando os procedimentos prescritos nas norma internacionais.

Desta forma, pode-se concluir que o fabricante de equipamentos médicos no Brasil quando dos testes finais de seus produtos, deve recorrer a laboratórios credenciados para a realização dos testes de conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Dentre estas normas a norma IEC NBR 60601-1-2 [1] descreve os testes de emissão e imunidade eletromagnética para equipamentos eletro-eletrônicos usados na medicina e áreas correlatas.

Do ponto de vista da compatibilidade eletromagnética o foco deste trabalho está na análise da prescrição dos testes de imunidade eletromagnética, levando-se em conta que um equipamento médico em condições normais de funcionamento deve ser o mais imune possível às perturbações eletromagnéticas.

No decorrer deste trabalho, constatou-se que a norma brasileira especificava apenas os tipos e limites das perturbações eletromagnéticas envolvidas nos ensaios de imunidade eletromagnética, sem contudo prescrever os procedimentos de testes. Desta forma, tornou-se imperioso o estudo das normas internacionais que regulamentam estes testes, para se elaborar um roteiro factível de procedimentos de testes de imunidade eletromagnética em relação às perturbações eletromagnéticas conduzidas pela rede elétrica e pelo ar.

Finalmente este trabalho pretende ser um manual básico de auxílio aos fabricantes de equipamentos eletromédicos, orientando-os nos procedimentos a serem realizados em testes de pré-conformidade de seus produtos. Com as informações contidas neste documento o fabricante pode acompanhar ou mesmo realizar testes em seus equipamentos e principalmente verificar se estes estão em conformidade com as exigências dos órgãos reguladores e do próprio mercado brasileiro e internacional.

Referências Bibliográficas

- [1] - Prescrições e Ensaio de Compatibilidade Eletromagnética para Equipamento Eletromédico NBR IEC 60601-1-2 – Associação Brasileira de Normas Técnicas- Dezembro de 1997
- [2] - Neff, H.P. – Introductory Electromagnetics – John Wiley e Sons – 1991
- [3] - Ribeiro, J.A.J – Ruídos e Interferências em Sistemas Eletrônicos – Escola Federal de Engenharia de Itajubá –1982
- [4]- Vocabulário Eletrotécnico Internacional IEC 50 – Comissão Eletrotécnica Internacional –1990
- [5]- Overview of Immunity Tests – IEC 1000-4-1 First Edition – Comissão Eletrotécnica Internacional - Dezembro de 1992
- [6]- Arrilaga, J. - Power System Quality Assessment. - John Wiley e Sons - 2000
- [7] - Electrostatic Discharge Immunity Test – IEC 1000-4-2 First Edition – Comissão Eletrotécnica Internacional - Janeiro de 1995
- [8] - Radiated, Radio-Frequency Electromagnetic Field Immunity Test – IEC 1000-4-3 First edition – Comissão Eletrotécnica Internacional - Fevereiro de 1995
- [9] - Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test – IEC 1000-4-4 First Edition - Comissão Eletrotécnica Internacional - Janeiro de 1995
- [10] - Surge Immunity Test – IEC 1000-4-5 First Edition – Comissão Eletrotécnica Internacional - Fevereiro de 1995
- [11] - Industrial, Scientific and Medical Radio-frequency Equipment - Limits and Methods of Measurement IEC CISPR 11 - CISPR – Agosto de 1999

ANEXO 1

Valores dos limites das tensões nos terminais principais e intensidades dos campos eletromagnéticos irradiados

1. Limites das tensões emitidas nos terminais principais do equipamento

Tabela A1.1 – limites de tensão nos terminais principais para equipamentos da classe A e grupo 1

Faixa de frequência [MHz]	Limites quasi-pico para equipamentos da classe A e grupo 1 [dB μ V]
0,15 – 0,5	79
0,5 – 5	73
5 – 30	73

Tabela A1.2 – limites de tensão nos terminais principais para equipamentos da classe A e grupo 2

Faixa de frequência [MHz]	Limites quasi-pico para equipamentos da classe A e grupo 2 [dB μ V]
0,15 – 0,5	100
0,5 – 5	86
5 – 30	90

Tabela A1.3 – limites de tensão nos terminais principais para equipamentos da classe B , grupos 1 e 2

Faixa de frequência [MHz]	Limites quasi-pico para equipamentos da classe B , grupos 1 e 2 [dB μ V]
0,15 – 0,5	66
0,5 – 5	56
5 – 30	60

2. Limites das intensidades de campos eletromagnéticos irradiados pelo equipamento

Tabela A1.4 – limites da intensidade do campo elétrico a uma distância de 10 metros do equipamento

Faixa de frequência [MHz]	Limites de intensidade de campo elétrico para equipamentos do grupo1 e classe A – distância de 10 [m] [dB μ V/m]
0,15 – 30	Não especificado
30 – 230	40
230 – 1000	47

Tabela A1.5 – limites da intensidade do campo elétrico a uma distância de 10 metros do equipamento

Faixa de frequência [MHz]	Limites de intensidade de campo elétrico para equipamentos do grupo 1 e classe B – distância de 10 [m] [dB μ V/m]
0,15 – 0,5	Não especificado
0,5 – 5	30
5 – 30	37

Tabela A1.6 – limites da intensidade do campo elétrico a uma distância de 10 metros do equipamento

Faixa de frequência [MHz]	Limites de intensidade de campo elétrico para equipamentos do grupo 2 e classe B – distância de 10 [m] [dB μ V/m]
0,15 – 30	Não especificado
30 – 230	30 a 50
230 – 1000	37

Tabela A1.7 – limites da intensidade do campo elétrico a uma distância de 10 metros do equipamento

Faixa de frequência [MHz]	Limites de intensidade de campo elétrico para equipamentos do grupo 2 e classe A – distância de 10 [m] [dB μ V/m]
0,15 – 30	70 a 95
30 – 230	50 a 70
230 – 1000	60

ANEXO 2

Características mecânicas do eletrodo de aplicação de descarga eletrostática

1. Eletrodo para descarga aérea

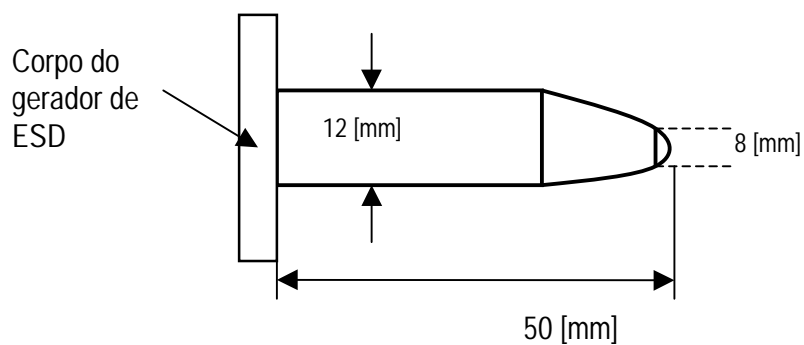


Figura A2.1 – Eletrodo para descarga eletrostática por via aérea.

2. Eletrodo para descarga com contato

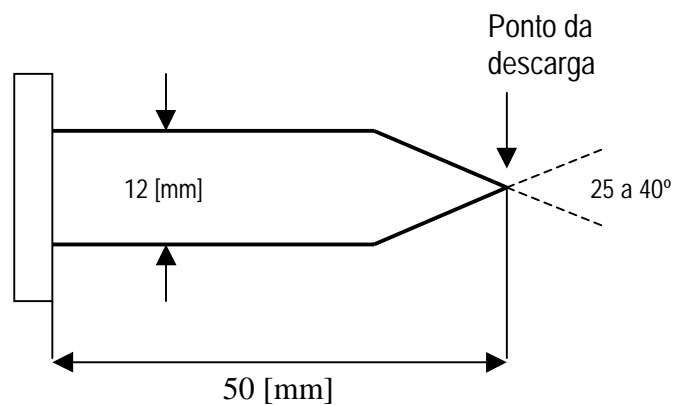


Figura A2.2 – Eletrodo para descarga eletrostática por contato.