

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**IGOR GOMES DA SILVA**

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE COMPATIBILIDADE  
ELETROMAGNÉTICA EM EQUIPAMENTOS  
ELETRÔNICOS INDUSTRIAIS.**

**Porto Alegre**

2013

**IGOR GOMES DA SILVA**

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE COMPATIBILIDADE  
ELETROMAGNÉTICA EM EQUIPAMENTOS  
ELETRÔNICOS INDUSTRIAIS.**

Projeto de diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Liane Ludwig Loder, UFRGS**

**Porto Alegre**

Junho 2013

IGOR GOMES DA SILVA

**ANÁLISE DOS REQUISITOS DE COMPATIBILIDADE  
ELETROMAGNÉTICA EM EQUIPAMENTOS  
ELETRÔNICOS INDUSTRIAIS.**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Almeida de Salles, UFRGS  
Doutor pela University of London – Londres, Inglaterra

---

Prof. Dr. Ivan Muller, UFRGS  
Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liane Ludwig Loder, UFRGS.  
Doutora pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

Porto Alegre, junho de 2013

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, José (in memoriam) e Jussara, à minha estimada esposa Amanda e meu amado filho João Vitor que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liane Ludwig Loder, orientadora deste trabalho, pela vontade e empenho em me orientar durante este período.

Agradeço a todos os demais professores da UFRGS, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica, pelos ensinamentos a mim transmitidos.

Agradeço a UFRGS de um modo geral pelas oportunidades oferecidas durante o curso de graduação.

Agradeço especialmente ao meu querido Pai José Laurindo Gomes da Silva por ter me ensinado a importância da educação e que, de diversas maneiras, me ajudou durante a vida e em especial no período de graduação, que infelizmente nos deixou dias antes desse momento tão feliz da minha vida.

Agradeço a NOVUS Produtos Eletrônicos LTDA, em especial aos Diretores Marco Antonio Bittencourt Pinheiro, Miguel Fachin e Marcos Dillenburg, aos colegas Flávio, Hamilton, Edelpet, Sandro, Rodrigo e Felipe por terem me apoiado durante o período de graduação e pela oportunidade de desenvolver este projeto.

Agradeço aos Amigos Clodoaldo, Rodrigo Guerini, Rodrigo Santos e tantos outros por todos os momentos juntos no curso e principalmente pelos diversos apoios prestados nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha família, esposa Amanda, filho João Vitor e minha Mãe Jussara por todo apoio e a todos que colaboraram de alguma maneira.

Agradeço principalmente a Deus!

"Se alguma coisa pode dar errado, ela dará".

Major Edward Alvar Murphy Jr.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma relação de ensaios de compatibilidade eletromagnética que todos os equipamentos eletrônicos a serem instalados em linhas de produção industrial, subestações e processos críticos devem ser submetidos para garantir a confiabilidade operacional da instalação em que os mesmos serão utilizados. O trabalho também detalha as normas aplicáveis e seus respectivos testes e uma série de soluções para os problemas encontrados. Descreve-se todo processo de certificação em compatibilidade eletromagnética para a exportação de equipamentos eletrônicos para uso industrial. O trabalho visa ainda ser um orientador em termos de requisitos internacionais de compatibilidade eletromagnética tanto na fabricação de produtos para a exportação quanto na compra de produtos.

Palavras-chaves: Compatibilidade Eletromagnética, Marcação CE, Soluções em compatibilidade.

## **ABSTRACT**

This paper presents a list of electromagnetic compatibility tests that all electronic equipment to be installed in industrial production lines, substations and critical processes must be submitted in order to ensure the operational reliability of the system in which they will be used in addition to detailing the standards and their respective tests and a series of solutions to the problems encountered. It describes the entire process of EMC certification to export electronic equipment for industrial applications. The work also aims to be a guide at terms of international requirements for electromagnetic compatibility in manufacture of products for export and to purchase products.

**Keywords:** Electromagnetic Compatibility, CE Marking, Solutions compatibility.



# SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>15</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA .....   | 16        |
| 1.2      | OBJETIVO .....  | 16        |
| <b>2</b> | <b>COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA.....</b>                                     | <b>17</b> |
| 2.1      | EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....   | 17        |
| 2.2      | INTRODUÇÃO À COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA .....                              | 18        |
| 2.3      | UNIDADES DE MEDIDAS .....   | 21        |
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ESTUDO DE CASO .....</b>                          | <b>25</b> |
| 3.1      | APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM TESTE .....                                      | 25        |
| 3.2      | ENSAIOS DE PRÉ-CERTIFICAÇÃO .....   | 27        |
| 3.2.1    | LABORATÓRIO EXECUTOR .....  | 27        |
| 3.2.2    | CONDIÇÕES AMBIENTAIS .....  | 29        |
| 3.2.3    | INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....   | 29        |
| 3.2.4    | METODOLOGIA .....   | 30        |
| 3.2.5    | TABELA DE TESTES APLICÁVEIS .....   | 32        |
| <b>4</b> | <b>NORMAS INTERNACIONAIS E ANÁLISE DOS TESTES EXIGIDOS .....</b>                | <b>33</b> |
| 4.1      | DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE EMISSÃO .....  | 34        |
| 4.1.1    | ENSAIO DE EMISSÃO DE CORRENTES HARMÔNICAS: IEC 61000-3-2 .....                  | 34        |
| 4.1.2    | PROCEDIMENTO DE ENSAIO .....  | 34        |
| 4.2      | ENSAIO DE LIMITES DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO E <i>FLICKER</i> : IEC 61000-3-3 ..... | 34        |
| 4.3      | ENSAIO DE EMISSÃO CONDUZIDA: CISPR 11 .....                                     | 39        |
| 4.3.1    | A REDE DE ESTABILIZAÇÃO DE IMPEDÂNCIA (LISN).....                               | 42        |
| 4.4      | ENSAIO DE EMISSÃO RADIADA: CISPR 11 .....                                       | 44        |
| 4.5      | ENSAIO DE IMUNIDADE À DESCARGA ELETROSTÁTICA – ESD: IEC61000-4-2 .....          | 46        |
| 4.5.1    | MODELO DO CORPO HUMANO .....  | 48        |
| 4.6      | ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA RADIADA: IEC61000-4-3 .....               | 51        |
| 4.7      | ENSAIO DE IMUNIDADE ÀS TRANSIENTES ELÉTRICOS RÁPIDOS – BURST: IEC61000-4-4..... | 53        |
| 4.8      | ENSAIO DE IMUNIDADE A SURTOS DE TENSÃO – SURGE: IEC61000-4-5. ....              | 55        |
| 4.9      | DIFERENÇAS ENTRE OS TESTES DE SURTO ESTÁTICA BURST E SURGE .....                | 57        |
| 4.10     | ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA CONDUZIDA: IEC61000-4-6. ....             | 59        |
| 4.11     | ENSAIO DE IMUNIDADE À CAMPO MAGNÉTICO: IEC61000-4-8 .....                       | 60        |
| 4.12     | ENSAIO DE IMUNIDADE À VARIAÇÃO E INTERRUPTÃO DE TENSÃO: IEC61000-4-11 .....     | 61        |
| 4.13     | REQUISITOS MÍNIMOS DOS ENSAIOS DE IMUNIDADE.....                                | 63        |
| 4.14     | REQUISITOS MÍNIMOS DOS ENSAIOS DE EMISSÃO .....                                 | 64        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS DOS ENSAIOS .....</b>   | <b>66</b> |
| 5.1      | ENSAIO DE EMISSÃO RADIADA .....   | 66        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.1 RESULTADOS .....  | 66        |
| 5.1.2 FILTROS DE ENTRADA DE ENERGIA .....   | 69        |
| 5.1.3 ACOPLAMENTO DE MODO COMUM PRIMÁRIO-SECUNDÁRIO .....   | 70        |
| 5.1.4 RUÍDO DOS DIODOS RETIFICADORES DE ALTA FREQUÊNCIA .....                                       | 71        |
| 5.2 ENSAIO DE EMISSÃO CONDUZIDA: CISPR 11 .....   | 74        |
| 5.2.1 RESULTADOS .....  | 75        |
| 5.3 ENSAIO DE IMUNIDADE À DESCARGA ELETROSTÁTICA .....  | 79        |
| 5.3.1 RESULTADOS .....  | 79        |
| 5.3.2 DIODOS TVS ( <i>TRANSIENT SUPPRESSOR VOLTAGE</i> ).....                                       | 81        |
| 5.3.3 RESULTADOS .....  | 84        |
| 5.4 ENSAIO DE IMUNIDADE À RÁDIO FREQUÊNCIA RADIADA .....  | 84        |
| 5.4.1 CPACITORES SUPRESSORES DE RUÍDO X2Y.....  | 85        |
| 5.4.2 RESULTADOS .....  | 88        |
| 5.5 ENSAIO DE IMUNIDADE A TRANSIENTES ELÉTRICOS RÁPIDOS – BURST .....                               | 89        |
| 5.5.1 RESULTADOS .....  | 90        |
| 5.5.2 SUPRESSOR DE TRANSIENTES SURGE VARISTOR DE ÓXIDO METÁLICO (MOV).....                          | 90        |
| 5.6 ENSAIO DE IMUNIDADE A SURTOS DE TENSÃO – SURGE .....  | 92        |
| 5.6.1 RESULTADOS .....  | 93        |
| 5.7 ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA CONDUZIDA .....   | 93        |
| 5.7.1 RESULTADOS .....  | 94        |
| 5.8 ENSAIO DE IMUNIDADE À CAMPO MAGNÉTICO .....   | 95        |
| 5.8.1 RESULTADOS .....  | 95        |
| 5.9 ENSAIO DE IMUNIDADE A REDUÇÃO E À INTERRUPÇÃO DE TENSÃO .....                                   | 95        |
| 5.9.1 RESULTADOS .....  | 96        |
| 5.10 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....   | 97        |
| <b>6 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>98</b> |
| REFERÊNCIAS .....   | 100       |
| APÊNDICE I – DOC FIELDLOGGER.....   | 102       |
| ANEXO I - CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS PARA ENSAIOS DE EMISSÃO<br>CONDUZIDA E RADIADA ..... | 103       |
| ANEXO II - CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS PARA ENSAIOS DE IMUNIDADE                           | 104       |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Cenário de EMC .....  | 20 |
| Figura 2 - Problema de EMI .....   | 20 |
| Figura 3 - Circuito para definição do uso do Decibel .....                                     | 22 |
| Figura 4 - Módulo de Aquisição e Registro de Dados – FieldLogger .....                         | 25 |
| Figura 5 - Laboratório de interferência Eletromagnética .....                                  | 27 |
| Figura 6 - Laboratório de interferência Eletromagnética .....                                  | 28 |
| Figura 7 - Exemplo de carga não linear .....   | 36 |
| Figura 8 - Ensaio de Harmônicos de corrente .....  | 36 |
| Figura 9 - Fonte trifásica para ensaio de qualidade de energia CIENTEC .....                   | 37 |
| Figura 10 - Configuração típica do teste de emissão conduzida .....                            | 40 |
| Figura 11 - Configuração básica do teste de emissão conduzida FCC e CISPR .....                | 41 |
| Figura 12 - Configuração básica do teste de emissão conduzida FCC e CISPR CIENTEC DENELE ..... | 41 |
| Figura 13 - Limites classe A e classe B média e quase pico .....                               | 42 |
| Figura 14 - Circuito de uma LISN de 50 $\mu$ H utilizada nos testes de emissão conduzida ..... | 43 |
| Figura 15 - Exemplo de medições de emissão conduzidas classe B .....                           | 44 |
| Figura 16 - Exemplo de medições de emissão conduzidas classe A .....                           | 44 |
| Figura 17 - Câmara semianecóica do CIENTEC .....   | 45 |
| Figura 18 - Teste de emissão irradiada campo aberto CIENTEC .....                              | 45 |
| Figura 19 - Configuração básica do teste de emissão irradiada FCC e CISPR .....                | 46 |
| Figura 20 - Forma de onda produzida por uma típica descarga de ESD do corpo humano.....        | 49 |
| Figura 21 - Ensaio de ESD CIENTEC .....  | 50 |
| Figura 22 - Configuração básica do teste de Descarga eletrostática.....                        | 50 |
| Figura 23 - Célula G-tem CIENTEC .....   | 52 |
| Figura 24 - Exemplo de sinal modulado .....  | 52 |
| Figura 25 - Posições de aplicação do campo no equipamento em teste.....                        | 53 |
| Figura 26 - Forma de onda do teste de <i>Burst</i> .....                                       | 54 |
| Figura 27 - Pulsosso típico <i>Burst</i> .....   | 54 |
| Figura 28 - Configuração básica do teste de <i>Burst</i> .....                                 | 55 |
| Figura 29 - Calha para acoplamento capacitivo .....  | 55 |
| Figura 30 - Forma de onda de tensão de surto surge para circuito aberto .....                  | 56 |
| Figura 31 - Forma de onda de corrente de surto surge para curto circuito .....                 | 57 |
| Figura 32 - Configuração básica do teste de <i>Surge</i> .....                                 | 57 |
| Figura 33 - Configuração de teste RF conduzida com diferentes tipos de CDN .....               | 59 |
| Figura 34 - Configuração de teste RF conduzida CIENTEC.....                                    | 59 |
| Figura 35 - Exemplo de modulação do sinal de RF .....  | 60 |
| Figura 36 - Ensaio de campo magnético de baixa frequência CIENTEC .....                        | 61 |
| Figura 37 - Ensaio de campo magnético de baixa frequência CIENTEC .....                        | 61 |
| Figura 38 - Exemplo de redução de tensão .....   | 62 |
| Figura 39 - Exemplo de interrupção breve de tensão .....                                       | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 40 - Limite para emissão conduzida classe A, FCC e CISPR11 .....  | 64 |
| Figura 41 - Limite para emissão irradiada classe A, FCC e CISPR11 .....  | 65 |
| Figura 42 - Medida de emissão irradiada frequência de 30MHz à 200MHz .....   | 67 |
| Figura 43 - Medida de emissão irradiada frequência de 200MHz à 1GHz .....  | 67 |
| Figura 44 - alterações do filtro de entrada .....  | 68 |
| Figura 45 - filtro de entrada de alimentação .....   | 69 |
| Figura 46 - exemplo de geração de ruído de modo comum .....  | 70 |
| Figura 47 - Exemplo de capacitor entre fontes .....  | 71 |
| Figura 48 - Exemplo de utilização dos <i>snubbers</i> .....  | 72 |
| Figura 49 - Soluções implementadas no Fieldlogger Snuber nos retificadores de alta frequência e capacitor entre fontes ..... | 73 |
| Figura 50 - Gráfico com medições do ensaio de emissão conduzida .....  | 76 |
| Figura 51 - Resultado das alterações .....   | 78 |
| Figura 52 - Gráficos com as medições finais do projeto .....   | 78 |
| Figura 53 - Funcionamento do diodo TVS .....   | 82 |
| Figura 54 - Diodo TVS protegendo a entrada de sinais analógicos .....  | 82 |
| Figura 55 - Diodos TVS protegendo a entrada USB .....  | 83 |
| Figura 56 - Diodos TVS protegendo a entrada Ethernet .....   | 83 |
| Figura 57 - capacitor X2Y .....  | 85 |
| Figura 58 - capacitor X2Y .....  | 86 |
| Figura 59 - Capacitores X2Y e de desacoplamento acrescentados no equipamento .....   | 87 |
| Figura 60 - Capacitores X2Y na entrada analógica .....   | 87 |
| Figura 61 - Relação típica de tensão X corrente de varistores MOV .....  | 91 |
| Figura 62 - Proteção contra surtos Varistor .....  | 92 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Exemplos de situações de <i>EMI</i> .....                             | 20 |
| Tabela 2 - Exemplos de valores em dB .....                                       | 23 |
| Tabela 3 - Condições ambientais durante os testes .....                          | 29 |
| Tabela 4 - Equipamentos utilizados para os testes .....                          | 29 |
| Tabela 5 - Tabela de testes aplicáveis .....                                     | 32 |
| Tabela 6 - Máxima corrente harmônica em equipamentos classe D .....              | 35 |
| Tabela 7 - Níveis de máxima corrente de pulso do teste de <i>Flicker</i> .....   | 39 |
| Tabela 8 - Comparativo entre os testes de surto .....                            | 57 |
| Tabela 9 - Requisitos mínimos relativos à imunidade eletromagnética .....        | 63 |
| Tabela 10 - Especificações da norma CISPR 11 .....                               | 66 |
| Tabela 11 - Maiores níveis de emissão encontrados .....                          | 74 |
| Tabela 12 - Especificações da norma CISPR 11 .....                               | 75 |
| Tabela 13 - Valores medidos .....  | 76 |
| Tabela 14 - Especificações da norma IEC 61000-4-2, aplicáveis neste ensaio ..... | 79 |
| Tabela 15 - Resultados do ensaio .....   | 79 |
| Tabela 16 - Resultados do ensaio ESD .....                                       | 84 |
| Tabela 17 - Especificações do ensaio .....                                       | 87 |
| Tabela 18 - Resultados do ensaio .....   | 88 |
| Tabela 19 - Especificações da norma aplicáveis para este ensaio .....            | 89 |
| Tabela 20 - Resultados do ensaio .....   | 90 |
| Tabela 21 - Especificações da norma IEC 61000-4-5 utilizadas no ensaio .....     | 92 |
| Tabela 22 - Resultados do ensaio .....   | 93 |
| Tabela 23 - Especificações da norma IEC 61000-4-6 aplicáveis neste ensaio .....  | 94 |
| Tabela 24 - Resultados do ensaio .....   | 94 |
| Tabela 25 - Especificações da norma IEC 61000-4-8 .....                          | 95 |
| Tabela 26 - Especificações da norma IEC 61000-4-11 .....                         | 96 |
| Tabela 27 - Resultados do ensaio .....   | 96 |
| Tabela 28 - Interpretação dos ensaios .....                                      | 97 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|         |   |
|---------|---|
| AM      | Amplitude Modulada  |
| CATI    | Comitê da Área de Tecnologia da Informação                            |
| CDN     | <i>Coupling Decoupling Network</i>                                    |
| CE      | <i>Conformité Européenne</i>  |
| CGCRE   | Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro                           |
| CIENTEC | Fundação de Ciência e Tecnologia                                      |
| CISPR   | <i>Comité International Spécial des Perturbation Radioélectriques</i> |
| DENELE  | Departamento de Engenharia Eletroeletrônica                           |
| EMC     | <i>Electromagnetic compatibility</i>                                  |
| EMI     | <i>Electromagnetic Interference</i>                                   |
| ESD     | <i>Electrostatic Discharge</i>  |
| ESE     | Equipamento sob ensaio  |
| FCC     | <i>Federal Communications Commission</i>                              |
| GTEM    | Gigahertz Transverso Eletromagnético                                  |
| HTTP    | <i>HyperText Transfer Protocol</i>                                    |
| IEC     | <i>International Electrotechnical Commission</i>                      |
| IHM     | Inteface Homem Máquina  |
| LIEM    | Laboratório de Interferência Eletromagnética                          |
| LISN    | <i>Line Impedance Stabilisation Network</i>                           |
| MCT     | Ministério de Ciência e Tecnologia                                    |
| NA      | Normalmente Aberto  |
| NF      | Normalmente Fechado   |
| RMS     | Raiz média quadrática   |
| RTU     | <i>Remote Terminal Unit</i>   |
| SD      | <i>Secure Digital</i>   |
| SNMP    | <i>Simple Network Management Protocol</i>                             |
| TCP     | <i>Transmission Control Protocol</i>                                  |
| USB     | <i>Universal Serial Bus</i>   |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primeiros dias das comunicações de rádio e telégrafos sabe-se da existência dos fenômenos eletromagnéticos, porém a compatibilidade eletromagnética é uma área da Engenharia Elétrica que se desenvolveu ao se verificar que vários equipamentos eletroeletrônicos podiam ter seu funcionamento afetado por interferências de outros equipamentos, ou do ambiente, e até interferir no funcionamento de outros equipamentos ou sistemas eletroeletrônicos. No início da revolução eletrônica atual todos os equipamentos eram desenvolvidos para suprir uma necessidade funcional, sem uma maior preocupação com a poluição eletromagnética que o equipamento poderia gerar ou se era suscetível a interferências externas. Logo foi possível perceber que equipamentos que funcionavam bem em certo ambiente não funcionavam de forma esperada em outro. Há vários exemplos cotidianos, como um eletrodoméstico que gera interferência em uma televisão; um equipamento de RX que pode interferir em outros equipamentos de um hospital; um circuito de comando de um controlador de processos que sofre interferência devido à comutação de contactoras e relés; um marca-passo que pode deixar de funcionar quando exposto a interferências eletromagnéticas, etc. Assim, surgiu a necessidade de estudar, analisar e limitar essas interferências a níveis aceitáveis. O que acarretou no desenvolvimento da Compatibilidade Eletromagnética de equipamentos e sistemas eletrônicos. Este trabalho se concentra no estudo dos testes de compatibilidade eletromagnética e das normas aplicáveis a estes testes.

Sendo a Compatibilidade Eletromagnética uma área nova, é necessário um intenso levantamento bibliográfico, tanto em nível de literatura técnica quanto em nível de normas de compatibilidade eletromagnética. As principais referências utilizadas nesse trabalho são o livro *Introduction to Electromagnetic Compatibility* de Clayton R. Paul, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, de Henry W. Ott e as normas internacionais:

*IEC 61000-4.2 (Electrostatic Discharge test)*

*IEC 61000-4.3 (Radiated Susceptibility test)*

*IEC 61000-4.4 (Electrical Fast Transients)*

*IEC 61000-4.5 (Voltage surge)*

*IEC 61000-4.6 (Conducted disturbances Induced by radio frequency fields)*

*IEC 61000-4.8 (Magnetic Field Immunity)*

*IEC 61000-4.11 (Voltage dips, short interruptions)*

*CISPR11 (Conducted and Irradiated emission)*

Este trabalho desenvolve conceitos que são fundamentais, onde as noções básicas do que é a Compatibilidade Eletromagnética são apresentadas, além do estudo detalhado de normas internacionais sobre Compatibilidade Eletromagnética e também projetos e implementações de soluções para os problemas encontrados no equipamento testado.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A expansão do sistema eletroeletrônico assim como novas tecnologias de comunicação sem fio e equipamentos de baixa qualidade vêm agregando poluição eletromagnética ao ambiente como um todo, principalmente em ambientes industriais. Isso irá demandar cada vez mais um controle apurado do funcionamento dos equipamentos eletrônicos em tais ambientes e, para tanto, é necessário um estudo dos principais fenômenos eletromagnéticos oriundos da natureza e de fontes geradoras de tais equipamentos. Como exemplos citam-se, um raio que cai em um dia chuvoso, uma pessoa que toca em um equipamento em um dia de baixa umidade gerando uma centelha de descarga eletrostática, o ruído elétrico de um eletrodoméstico ou até mesmo o simples uso de um celular podem causar a parada de um sistema inteiro. Isto pode gerar grande perda de recursos ou acidentes envolvendo vidas humanas por mau funcionamento de um equipamento que não está adequado às normas de compatibilidade eletromagnética.

## **1.2 OBJETIVO**

O trabalho objetiva-se a analisar os principais fenômenos eletromagnéticos e suas respectivas normas apresentando soluções em um caso prático da indústria brasileira Gaúcha que exporta para mais de 60 países no mundo e assim esclarecer e tornar os requisitos de compatibilidade eletromagnética simples e acessíveis ao público técnico industrial, principalmente para as indústrias produtoras de equipamentos eletrônicos. Com isso podemos nos tornar um mercado competitivo e de alta qualidade, obtendo equipamentos e sistemas capazes de trabalhar satisfatoriamente em ambientes poluídos eletromagneticamente e também não gerando poluição eletromagnética.



## **2 COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA**

O uso generalizado de circuitos eletrônicos para comunicação, computação, automação, e para outros fins torna necessário a diversos desses circuitos operarem próximos uns dos outros. Não é incomum percebermos equipamentos gerando ou sofrendo interferências uns nos outros no nosso cotidiano. A interferência eletromagnética (EMI) se tornou um grande problema para os projetistas de circuitos, e é provável que se torne ainda mais grave com a evolução da tecnologia. O grande número de aparelhos eletrônicos de uso comum é em parte responsável por esta tendência. Além disso, a utilização de circuitos integrados em larga escala e a integração dos circuitos para a redução do tamanho de equipamentos eletrônicos favorece o aparecimento de problemas de compatibilidade eletromagnética.

Projetistas de equipamentos de hoje precisam fazer mais do que apenas tornar seus sistemas aptos a operar sob condições ideais de laboratório. Além de executarem suas tarefas básicas, os produtos devem ser projetados para trabalhar no mundo real, sujeitos a fenômenos eletromagnéticos diversos. Isso significa que o equipamento não deve ser afetado por fatores externos de fontes eletromagnéticas e não deve ser uma fonte de ruído eletromagnético, “poluindo” o meio ambiente. A compatibilidade eletromagnética deve ser um dos principais objetivos do projeto.

### **2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA**

No início do século XX o Italiano Guglielmo Marconi realizou a primeira transmissão de sinais pelo Canal da Mancha dando início a era das comunicações sem fio. Desde aquela época se conhece os efeitos do eletromagnetismo e vem-se utilizando tais fenômenos para o desenvolvimento tecnológico da humanidade. Desde então os problemas de interferência eletromagnética vieram surgindo proporcionalmente com o aumento do uso das tecnologias eletroeletrônicas. Em 1920 já eram publicados artigos técnicos sobre rádio interferência após a propagação da radio difusão. Em 1930 com o aumento do uso de aparelhos elétricos, como motores elétricos e as radio transmissões, começaram a surgir grandes problemas de interferência eletromagnética.

Tendo em vista os diversos problemas causados pelas emissões eletromagnéticas dos equipamentos e sistemas eletroeletrônicos, principalmente os de comunicação, em 1933 foi

fundada em Paris a CISPR (*Comité International Spécial des Perturbation Radioélectriques*) responsável por controlar as emissões dos equipamentos e sistemas eletroeletrônicos, criando normas internacionais que regulam os níveis de emissão de ruído eletromagnético e seus respectivos métodos de medições.

A invenção do transistor bipolar em 1950, a fabricação dos circuitos integrados em 1960 e com o Microprocessador em 1970, veio uma expansão tecnológica que culminou numa gama enorme de aparelhos eletroeletrônicos que vemos nos dias atuais. Tendo em vista esse cenário em que até mesmo dentro das nossas casas existe um ambiente eletromagnético altamente poluído, foi necessário o estabelecimento de normas técnicas que regulassem as emissões eletromagnéticas dos equipamentos.

Em 1979 a FCC (*Federal Communications Commission*) publicou normas que exigiam que a radiação eletromagnética de todos os dispositivos eletrônicos estivesse abaixo de certos limites para que pudessem ser comercializados.

Desde então diversas normas de controle da compatibilidade eletromagnética foram criadas para os diversos segmentos da eletrônica, como os equipamentos eletro médicos, equipamentos de telecomunicações e os equipamentos industriais, que são foco deste trabalho.

## **2.2 INTRODUÇÃO À COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA**

Compatibilidade eletromagnética é a capacidade de um equipamento ou sistema funcionar adequadamente em um ambiente eletromagnético comum a outros equipamentos e sujeito a fenômenos naturais, sem interferir no funcionamento de outros equipamentos. Como o número de equipamentos eletroeletrônicos aumentou muito no nosso cotidiano, os especialistas de várias áreas partiram para uma abordagem direta para alcançar seus objetivos, sem levar em consideração ou entender o efeito negativo de suas inovações tecnológicas. Um desses problemas é a poluição eletromagnética. Perturbações eletromagnéticas de níveis elevados podem fazer com que equipamentos elétricos e eletrônicos não operem corretamente no mesmo ambiente eletromagnético. Um equipamento ou sistema tem compatibilidade eletromagnética somente se ele satisfaz os seguintes critérios:

- O equipamento não causa interferência em outros sistemas.
- O equipamento não é susceptível a emissões de outros sistemas ou de fenômenos naturais.

- O equipamento não causa interferência em si mesmo.

Deve-se ter em mente essas três alternativas ao se enfrentar algum problema de compatibilidade eletromagnética. A primeira alternativa é suprimir tanto quanto possível a emissão na fonte. Por exemplo, percebe-se que os tempos curtos de transição dos sinais em circuitos de comando são os principais responsáveis pelo elevado conteúdo espectral de alta frequência desses sinais.

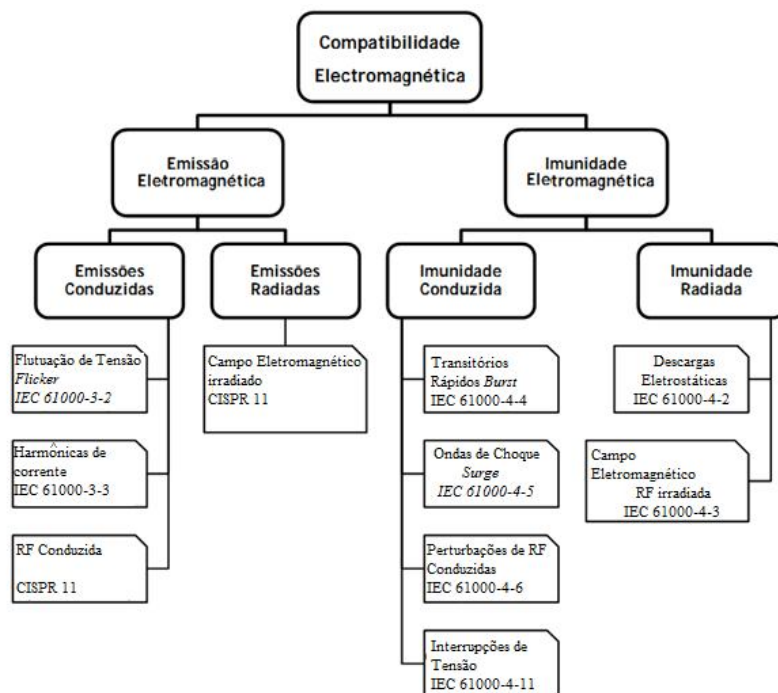
A interferência eletromagnética é uma perturbação de origem eletromagnética capaz de gerar degradação no funcionamento de outros equipamentos ou sistemas elétricos. Um exemplo disso é um liquidificador ou uma furadeira ligada gerando interferência na televisão ou na tela de um computador. Todos os equipamentos certificados devem ser compatíveis tanto na emissão de interferência quanto na imunidade a interferências externas.

Geralmente a eficiência do caminho de acoplamento aumenta com a frequência do sinal que o percorre. Deve-se então aumentar os tempos de transição dos sinais de comando, porém os tempos de transição dos sinais só podem ser aumentados até certo ponto sem prejudicar o funcionamento do sistema. Esta é uma razão para não se usar sinais de comando com tempos muito reduzidos. A redução do conteúdo espectral de alta frequência de uma emissão reduz a eficiência do acoplamento. Colocar o receptor em uma caixa metálica (blindagem) também ajuda a reduzir a eficiência do acoplamento. Este procedimento, no entanto, pode ser mais oneroso do que reduzir o intervalo de transição nos sinais de comando do emissor. É uma tarefa bastante difícil reduzir a susceptibilidade, conservando-se as características desejadas do equipamento.

A minimização do custo adicional de um sistema para que este tenha compatibilidade eletromagnética continua sendo uma consideração importante no projeto de EMC.

As interferências podem ser divididas em interferência irradiada e interferência conduzida estendendo o escopo dos problemas de compatibilidade conforme a Figura 1:

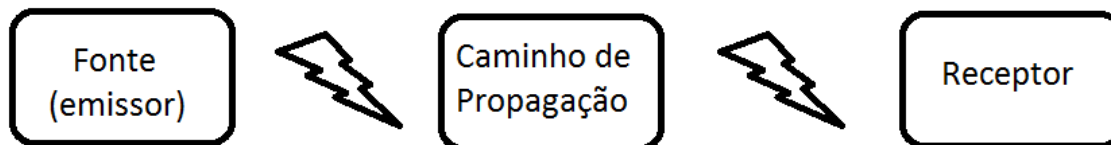
Figura 1 - Cenário de EMC.



FONTE:(Adaptação H. Pinto (2010))

Baseados nesses aspectos podemos resumir o problema de compatibilidade eletromagnética em fonte de emissão da interferência, meio de acoplamento da interferência e o sistema que está sendo afetado pela interferência conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Problema de EMI.



A seguir a tabela mostra alguns exemplos de EMI levando em consideração alguns aspectos comuns de interferência gerada e recebida, assim como alguns caminhos de acoplamento.

Tabela 1 - Exemplos de situações de EMI.

| Fontes de EMI             | Mecanismo de acoplamento     | Receptor de EMI             |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| -TV e rádio transmissores | -Irradiação pelo ar ou vácuo | -Computadores e periféricos |
| -Radares                  | -Condutores                  | -Sensores e amplificadores  |
| -Equipamentos de telecom. | -Acoplamentos capacitivos    | analógicos                  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Osciladores e receptores</li> <li>-Linhas de transmissão</li> <li>-Relés e contactoras</li> <li>-Motores</li> <li>-Computadores e periféricos</li> <li>-Lâmpadas Fluorescentes</li> <li>-Fornos e aquecedores elétricos</li> <li>-Descargas atmosféricas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Acoplamentos indutivos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistemas de controle</li> <li>-receptores de rádio e TV</li> <li>-Equipamentos médicos</li> <li>-Humanos (risco de doenças provocadas por campos eletromagnéticos)</li> </ul> |
|---|---|---|

É importante perceber que uma fonte ou receptor podem ser classificados como intencional ou não intencional, podendo, em alguns casos, comportarem-se de ambos os modos. Isto depende do caminho de acoplamento, bem como do tipo de fonte ou receptor.

Por exemplo, uma estação de rádio AM, cuja transmissão é captada por um receptor de rádio que está sintonizado para aquela frequência da onda portadora constitui um emissor e um receptor intencional. Por outro lado, se a mesma frequência de rádio AM interferir no funcionamento de um carro que trafega próximo, considera-se a emissão não intencional (na verdade, esta emissão continua a ser intencional, mas a intensidade da interferência ou a susceptibilidade do automóvel não estão de acordo com as normas de compatibilidade eletromagnética). Também existem outras fontes cujas emissões não possuem nenhum propósito útil. Um exemplo disto é a emissão eletromagnética invisível de uma lâmpada fluorescente.

A finalidade da engenharia de compatibilidade eletromagnética é testar, diagnosticar e corrigir os problemas de compatibilidade encontrados nos projetos de equipamentos a serem lançados no mercado.

### **2.3 UNIDADES DE MEDIDAS.**

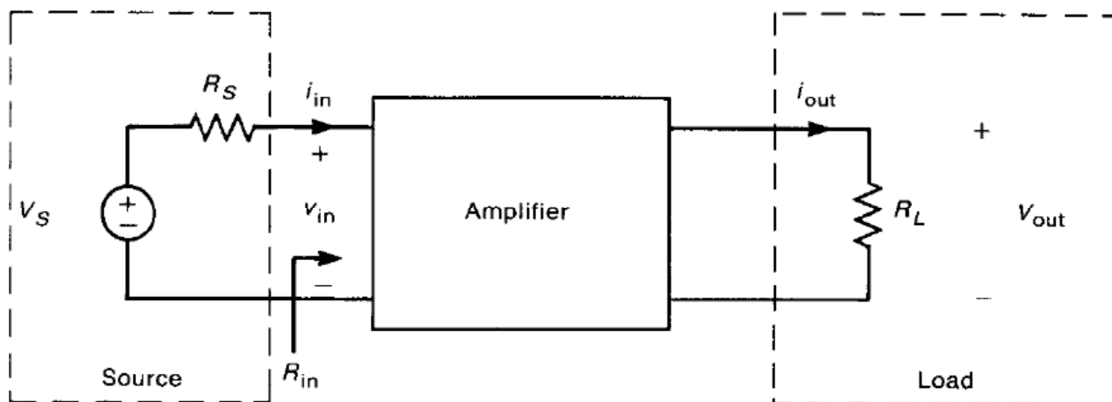
As grandezas de interesse primário em problemas de compatibilidade eletromagnética são, nas emissões conduzidas, tensão em volts [V] e corrente em ampères [A], e nas emissões irradiadas, campo elétrico em volts por metro [V/m] e o campo magnético em ampères por metro [A/m]. Associadas a estas grandezas primárias são as grandezas de potência em watts

(W) ou densidade de potência em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ ). A gama numérica destas quantidades pode ser muito grande. Por exemplo, campos elétricos podem ter valores variando a partir de  $1 \mu V/m$  até  $200 V/m$ . Isso representa um alcance dinâmico de mais de oito ordens de magnitude ( $10^8$ ). Com essa ampla gama de valores é comum nas medições de EMC o uso da unidade de decibel (dB).

Os decibéis têm a propriedade da compressão de dados, por exemplo, uma gama de tensões de ( $10^8$ ) é de 160 dB. Há também outras razões para expressar estas quantidades em dB. É imperativo para o entendimento dos fenômenos eletromagnéticos compreender e utilizar as unidades expressas em dB.

Para exemplificar melhor o uso do Decibel considere circuito do amplificador representado na Figura 3 uma fonte constituída por um circuito aberto de tensão  $V_S$  e resistência da fonte  $R_S$  que fornece um sinal a um amplificador, cuja carga seja representada por  $R_L$ . A resistência de entrada para o amplificador é indicada por  $R_{in}$  e a potência fornecida ao amplificador é [ $P_{in} = V_{in}^2/R_{in}$ ] onde a tensão de entrada é expressa em seu valor RMS (raiz média quadrática).

Figura 3- Circuito para definição do uso do Decibel.



FONTE:( PAUL, C. R., 2006)

Assim podemos definir:

O ganho do amplificador de potência:

$$P_{out} = \frac{(V_{in})^2}{R_L} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Ganho de potência:

$$\text{Ganho de Potência} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

O Ganho de Potência expresso em decibéis:

$$\text{Ganho de Potência}_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Onde  $\log_{10}$  é o logaritmo na base 10.

O Ganho de Tensão expressa em decibéis é:

$$\text{Ganho de Tensão}_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

O Ganho de Corrente expressa em decibéis é:

$$\text{Ganho de Corrente}_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{i_{out}}{i_{in}} \right) \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Estas propriedades podem ser usadas para obter estimativas precisas numa quantidade em dB, sem o uso de uma calculadora. Para mostrar isso, vamos considerar a conversão de alguns números comuns aos dB, tal como apresentados na Tabela:

Tabela 2 – Exemplos de valores em dB.

| $\text{Ganho de Tensão}_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$ |                     |                   | $\text{Ganho de Potência}_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$ |                     |                   |
|--|---------------------|-------------------|--|---------------------|-------------------|
| dB   | Relação de Potência | Relação de Tensão | dB   | Relação de Potência | Relação de Tensão |
| 0  | 1,00                | 1,00              | 10   | 10,00               | 3,16              |
| 1  | 1,26                | 1,12              | 20   | 100,00              | 10,00             |
| 3  | 2,00                | 1,41              | 30   | 1000,00             | 31,60             |
| 5  | 3,16                | 1,78              | 60   | 1000000,00          | 1000,00           |
| 6  | 4,00                | 2,00              | -10  | 0,10                | 0,316             |
| 7  | 5,00                | 2,24              | -20  | 0,01                | 0,10              |
| 9  | 8,00                | 2,82              | -30  | 0,001               | 0,0316            |
| 10   | 10,00               | 3,16              | -60  | 0,000001            | 0,001             |

Com isso podemos entender os níveis de atenuação de filtros e blindagens. Por exemplo:

- De 0 até 10dB considera-se uma atenuação fraca.

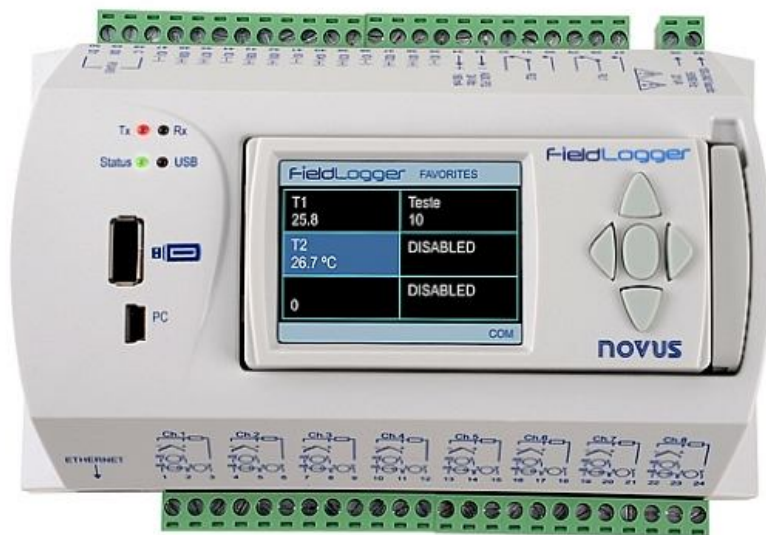
- De 10 até 30dB considera-se atenuação leve.
- De 30 até 60dB considera-se atenuação forte.
- Acima de 60dB, considera-se uma atenuação especial, que requer blindagem, filtros, etc.



### 3 EQUIPAMENTO EM TESTE E METODOLOGIA.

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM TESTE.

Figura 4 - Módulo de Aquisição e Registro de Dados – FieldLogger.



FONTE:(site NOVUS)

O FieldLogger é um equipamento de aquisição e registro de dados analógicos e digitais de alta resolução e velocidade.

Suas principais características são:

- Entradas analógicas: 8
- Entradas/saídas digitais: 8
- Saídas a relé: 2
- Memória interna de 2 MB
- Interface para Cartão SD (até 16 GB - não disponível em alguns modelos)
- Interface RS485
  - Principal: Modbus RTU mestre e escravo
  - Auxiliar (conector DB9 – não disponível em alguns modelos): Modbus RTU escravo
- Serviços Ethernet (não disponível em alguns modelos):
  - DHCP
  - HTTP (página web)
  - FTP (cliente e servidor)

- SMTP (envio de e-mails)
- SNMP
- Modbus TCP
- USB:
- Host
- Device
- IHM (opcional)

Há quatro tipos de canais de entrada no FieldLogger: analógicos, digitais, remotos e virtuais. Os canais analógicos e digitais são aqueles adquiridos diretamente pelo FieldLogger através das suas respectivas entradas. Os canais remotos são aqueles adquiridos através do protocolo Modbus RTU, operando como mestre na sua interface RS485. Já os canais virtuais são um tipo especial de canal de entrada, onde podem ser realizadas operações matemáticas, permitindo o cálculo de grandezas complexas a partir das informações medidas. Os canais de entradas analógicas são configuráveis para a leitura de sinais de tensão, corrente, termopares, Pt100 e Pt1000. Estas entradas contam com a precisão de um conversor A/D de 24 bits e a alta velocidade de aquisição, que pode chegar a 1000 amostras por segundo. Os canais digitais podem ser configurados individualmente como entradas ou saídas.

A interface Ethernet permite coleta e acesso aos dados das entradas e saídas, através de serviços que podem ser individualmente habilitados e configurados. Através de um navegador web (HTTP), pode-se visualizar os dados dos canais habilitados, diagnósticos e informações gerais do FieldLogger. Um cliente FTP pode ser utilizado para coleta dos registros. O FieldLogger pode identificar até 32 condições distintas de alarme, permitindo o acionamento de saídas, envio de e-mails ou de traps SNMP sempre que uma condição de alarme for detectada. Todas as informações relativas a variáveis, status e diagnóstico do FieldLogger estão disponíveis em registradores Modbus que podem ser acessados através da interface Modbus TCP ou da interface Modbus RTU disponível via interface USB (device) ou RS485 (quando operando como escravo).

A interface USB *device* é utilizada para conexão a um computador para configuração, monitoramento ou coleta. Enquanto que a interface USB *host* é utilizada para conexão de pen drive, para coleta dos dados da memória de registro.

Os dados da memória de registro podem ser transferidos por qualquer das interfaces para o software configurador, que permite a exportação para os mais diversos formatos de dados.

Quando a indicação das grandezas medidas junto ao processo é necessária, uma exclusiva IHM (Interface Homem Máquina) com display colorido pode ser acoplada ou instalada remotamente (opcional).

### **3.2 ENSAIOS DE PRÉ-CERTIFICAÇÃO:**

Os testes de pré-certificação são testes executados antes dos testes de certificação, geralmente com custo menor, que servem para a verificação de que o equipamento cumpre os requisitos solicitados pelas normas.

#### **3.2.1 Laboratório Executor:**

Os testes foram executados no Laboratório de interferência Eletromagnética – Departamento de Eletro-Eletrônica, Localizado no Campus da CIENTEC, Av das Indústrias, 2270 – Cachoeirinha-RS.

Figura 5 - Laboratório de interferência Eletromagnética.



Figura 6 - Laboratório de interferência Eletromagnética.



O Laboratório de Interferência Eletromagnética (LIEM), da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) compreende uma das estruturas do Departamento de Engenharia Eletroeletrônica (DENELE), que dispõe de infraestrutura e competência técnica para o desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos, por meio de serviços tecnológicos para o setor industrial, incluindo atividades de assessoria, consultoria, análises, testes, ensaios e calibrações, bem como, na elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica, nas áreas de Automação industrial, Componentes Elétricos e Eletrônicos, Informática, Telecomunicações, Utilidades Domésticas e indústrias em geral.

O DENELE é credenciado no Comitê da Área de Tecnologia da Informação – CATI, conforme Resolução no. 021/2002, do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), para desenvolver atividades de pesquisa e desenvolvimento na área da Tecnologia da Informação, propiciando às empresas utilizarem os benefícios da Lei da Informática.

Criado em 19/03/1993, o Laboratório de Interferência Eletromagnética da CIENTEC ocupa uma área de 1000m<sup>2</sup>, de uma área total de 1500m<sup>2</sup>, constituída das seguintes áreas de Testes e Ensaios em Compatibilidade Eletromagnética: Câmara Semi Anecóica, Gaiola de Faraday,

Célula GTEM, Área de Teste em Campo Aberto, e Laboratórios de Teste para Desenvolvimento e Certificação (Ensaio de Tipo).

É o primeiro Laboratório acreditado na área de Compatibilidade Eletromagnética do Brasil, pela CGCRE sob no. CRL 0083, em 02/01/1999. Atualmente em seu escopo dispões de mais de 130 ensaios de compatibilidade eletromagnética acreditados, para as mais diversas aplicações, em especial: Equipamentos de Tecnologia da Informação, Telecomunicações, Eletromédicos, Eletrodomésticos, Componentes e Módulos Automotivos. Neste escopo, realiza ensaios de emissão eletromagnética conduzida e irradiada, imunidade eletromagnética conduzida e irradiada, imunidade a descarga eletrostática (ESD), imunidade a transientes elétricos rápidos (Burst), imunidade a surtos de tensão, variação e interrupção AC e DC, emissão de harmônicos e flicker entre outros

### 3.2.2 Condições Ambientais:

As condições ambientais foram monitoradas durante todos os testes a fim de garantir a validade dos testes e garantir o cumprimento das normas. Abaixo são mostrados alguns pontos importantes, que dão um panorama das condições ambientais durante os testes.

Tabela 3 – Condições ambientais durante os testes.

| <b>Condições atmosféricas</b> | <b>Início</b> | <b>Máximo</b> | <b>Fim</b> | <b>Unidade</b> |
|-------------------------------|---------------|---------------|------------|----------------|
| Temperatura                   | 19            | 22            | 21         | °C             |
| Umidade Relativa              | 52            | 59            | 55         | %              |
| Pressão atmosférica           | 762           | 762           | 762        | mmHg           |

### 3.2.3 Instrumentos Utilizados:

Tabela 4 – Equipamentos utilizados para os testes.

|                        |
|------------------------|
| Descrição              |
| Antena BIA30           |
| Antena LPA30           |
| Analizador de espectro |
| Receptor               |
| Simulador de ESD       |

|  |
|--|
| Simulador de Interferência Burst/Surge |
| Rede de acoplamento                    |
| Calha de acoplamento                   |
| Gerador de Sinais                      |
| Conjunto de CDNs                       |
| Simulador de Interferência Burst/Surge |
| Rede de desacoplamento                 |
| Variac                                 |
| Transformador de corrente              |
| Bobina de indução                      |
| Receptor                               |
| Rede Estabilizadora de Impedância      |
| Gerador de RF                          |
| Amplificador de RF                     |
| Célula G-TEM                           |
| Medidor de potência                    |

### 3.2.4 Metodologia:

O item em desenvolvimento foi submetido aos seguintes ensaios de interferência eletromagnética.

*Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16 A$  per phase).* - IEC61000-3-2.

Este ensaio tem por objetivo medir a emissão de harmônicos que o equipamento em ensaio gera para a rede.

Como a corrente máxima de consumo do FieldLogger é 150mA, bem menor do que 16A, o teste não se aplica ao equipamento.

*Voltage Fluctuation and flicker.* - IEC61000-3-3.

O objetivo deste teste é analisar as flutuações de tensão na rede devido às correntes de pico consumidas pelo equipamento em teste.

Como a corrente máxima de pico do FieldLogger é 150mA, bem menor do que 23A, o teste não se aplica ao equipamento.

*Testing and Measurements Techniques - Section 2: “Electrostatic Discharge Requirements”*. - IEC61000-4-2.

O objetivo é submeter o equipamento ensaiado a descargas eletrostáticas que simulam os efeitos provocados pelo corpo humano aplicadas em pontos de acesso ao operador. São aplicadas 10 descargas simples, pelo ar e por contato, de modo direto e indireto, perpendicularmente a cada ponto de teste, com intervalo de 1 segundo entre cada descarga.

*Testing and Measurements Techniques - Section 3: “Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test”*. - IEC61000-4-3.

Este ensaio tem por objetivo, verificar a imunidade do item ensaiado, quando submetido a campos eletromagnéticos irradiados, na faixa de frequência de 80MHz a 1GHz, com sinal modulado senoidal de 1 kHz e índice de modulação AM de 80%.

*Testing and Measurements Techniques - Section 4: “Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test”*. - IEC61000-4-4.

Neste ensaio o equipamento é submetido a injeções de distúrbios elétricos, ou seja, transientes elétricos de elevada amplitude e alta taxa de repetição, que são aplicados de forma direta nos circuitos de alimentação, tensão e corrente; e de forma indireta, nos circuitos auxiliares de comunicação de dados, por meio de dispositivo de acoplamento capacitivo.

*Testing and Measurements Techniques - Section 5 - “Surge immunity test”*. - IEC61000-4-5.

Neste ensaio o equipamento é submetido a injeções de distúrbios elétricos de alta tensão, originados por transientes de descargas atmosféricas.

*Testing and Measurements Techniques - Section 6 - “Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields”*. - IEC61000-4-6.

Neste ensaio o equipamento é submetido a distúrbios conduzidos nos terminais de energia elétrica, sendo estes induzidos por campos de radiofrequência.

*Testing and Measurements Technics - Section 11 - “Voltage dips, short interruptions and voltage variations”*. - IEC61000-4-11.

Neste ensaio o equipamento é submetido a interrupções e reduções de tensão simulando falhas da rede elétrica.

*Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - “Electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement”*. - CISPR 11.

Neste ensaio são medidas as emissões de radiofrequência, irradiada e conduzida, do equipamento em teste.

### 3.2.5 Tabela de Testes Aplicáveis:

Tabela 5 – Tabela de testes aplicáveis.

| Aplicável | ENSAIOS   |
|-----------|---|
| Não       | IEC61000 - 3.2 <i>Harmonic current emissions</i>      |
| Não       | IEC61000 - 3.3 <i>Voltage Fluctuation and flicker</i> |
| Sim       | IEC 61000 - 4.2 <i>Eletrostatic Discharge</i>         |
| Sim       | IEC 61000 - 4.3 <i>Radiated RF</i>                    |
| Sim       | IEC 61000 - 4.4 <i>Burst</i>                          |
| Sim       | IEC 61000 - 4.5 <i>Surge</i>                          |
| Sim       | IEC 61000 - 4.6 <i>Conducted RF</i>                   |
| Sim       | IEC 61000 - 4.11 <i>Power Interruption</i>            |
| Sim       | CISPR 11 - Irradiada                                  |
| Sim       | CISPR 11 - Conduzida                                  |



#### **4 NORMAS INTERNACIONAIS E ANÁLISE DOS TESTES EXIGIDOS**

Para que um produto eletrônico seja comercializado em um país, o produto deve cumprir os requisitos de compatibilidade eletromagnética vigentes. Um produto não pode ser vendido legalmente se é incapaz de cumprir os requisitos governamentais de EMC (electromagnetic compatibility). Eles são impostos a fim de garantir um produto confiável e de qualidade. Por exemplo, se um novo computador torna-se altamente suscetível à descarga eletrostática (ESD), o produto não será aceito pelo mercado, resultando em perda de vendas e de credibilidade deste produto. A conformidade com os requisitos de EMC é crítica para o sucesso de um produto no mercado. Com a disponibilidade das comunicações globais, o mercado abrange o mundo inteiro. Conseqüentemente, os requisitos de EMC em todos os países são muito importantes para os fabricantes de equipamentos eletrônicos.

A Diretiva 2004-108-EC do Parlamento Europeu e do conselho Europeu afirma que a Compatibilidade Eletromagnética de um equipamento eletroeletrônico deve ser regulamentada, com o propósito de assegurar a livre circulação desses equipamentos, além de definir que as normas de todos os países membros sejam padronizadas. Estas normas devem assegurar o perfeito funcionamento dos equipamentos em relação à EMC.

Tendo como base esta diretiva os equipamentos eletrônicos devem comprovar a sua compatibilidade eletromagnética para serem comercializados na Comunidade Europeia. Como as normas são harmonizadas internacionalmente a maioria dos países seguem essas normas.

As normas harmonizadas refletem a mais recente evolução técnica em matéria de compatibilidade eletromagnética. Os aparelhos só poderão ser colocados no mercado ou entrar em serviço se o respectivo fabricante tiver demonstrado que o aparelho foi fabricado em conformidade com os requisitos de compatibilidade eletromagnética. Os aparelhos colocados no mercado devem apresentar a marcação CE que atesta a respectiva conformidade assim como a marcação FCC para os EUA e Canadá em equipamentos de radio comunicação.

Tendo em vista abranger todos os mercados internacionais, os equipamentos eletrônicos industriais devem seguir as recomendações das normas IEC-61326-1:2006. Os limites apresentados na referida norma foram estipulados de forma que os equipamentos não gerem

interferências em outros equipamentos e nem sofram degradação de interferências gradas por outros equipamentos ou fenômenos naturais.

De acordo com a norma IEC-61326-1:2006 as normas básicas dos testes que os equipamentos eletrônicos devem seguir são:

IEC 61000-3-2 Ensaio de Emissão de Correntes Harmônicas.

IEC 61000-3-3 Ensaio de Limites de Flutuação de Tensão e *Flicker*.

IEC61000-4-2 Ensaio de Imunidade à Descarga Eletrostática – *ESD*.

IEC61000-4-3 Ensaio de Imunidade à Radiofrequência Radiada.

IEC61000-4-4 Ensaio de Imunidade às Transientes Elétricos Rápidos – *Burst*.

IEC61000-4-5 Ensaio de Imunidade a Surtos de Tensão – *Surge*.

IEC61000-4-6 Ensaio de Imunidade à Radiofrequência Conduzida.

IEC61000-4-8 Ensaio de Imunidade à Campo Magnético.

IEC61000-4-11 Ensaio de Imunidade à Variação e Interrupção de Tensão.

CISPR 11 Ensaio de Emissão Radiada e Conduzida.

## **4.1 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE EMISSÃO**

### **4.1.1 Ensaio de Emissão de Correntes Harmônicas: IEC 61000-3-2.**

O equipamento sob teste deve estar adequado à norma de harmônicos de corrente que é relativo à qualidade da energia na rede. A circulação destas correntes harmônicas gera tensões harmônicas através das impedâncias da rede, provocando uma deformação da tensão de alimentação, deteriorando a qualidade da energia e dando origem, por vezes, a prejuízos. A Norma IEC 61000-3-2 é a norma de referência para limitações das harmônicas de corrente. O equipamento não deve emitir harmônicos de corrente conduzidos nos cabos de alimentação. A norma se aplica a equipamentos que apresentem uma corrente de 16 A ou mais por fase que se destinem a ligação na rede publica de energia elétrica.

A norma estabelece limites para quatro diferentes classes de equipamentos, que podem ser classificados de Classe A a Classe D, cada uma aplicável a um diferente tipo de equipamento como segue:

-Classe A Equipamentos com alimentação trifásica equilibrada e todos os demais não incluídos nas classes seguintes.

-Classe B abrange ferramentas portáteis e estações de solda que não sejam profissionais e que consumam acima de 16A.

-Classe C se destina a equipamentos de iluminação

-Classe D se destina a aparelhos televisores, computadores pessoais e monitores para computadores pessoais.

A norma exige que o conteúdo harmônico de corrente a partir da linha de alimentação AC consumida pelo produto classe D, a mais rigorosa, esteja conforme Tabela 6:

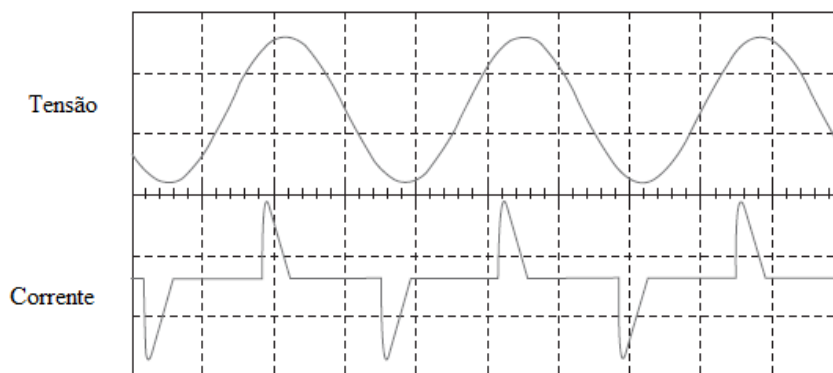
Tabela 6 - Máxima corrente harmônica em equipamentos classe D

| Ordem da Harmônica<br>n | Máxima harmônica<br>de corrente permitida<br>[mA/W] |
|-------------------------|---|
| 3                       | 3,4   |
| 5                       | 1,9   |
| 7                       | 1,0   |
| 9                       | 0,5   |
| 11                      | 0,35  |
| 13                      | 0,296   |
| 15 a 39                 | 3,85/n  |

A geração de harmônicas é o resultado do comportamento não linear das cargas conectadas à linha de alimentação AC. Hoje em dia cargas não lineares comuns constituem a maior parte dos equipamentos que são alimentados na rede elétrica e possuem fontes com entrada de alimentação universal de 90V à 240V. As fontes chaveadas apresentam amplo espectro de harmônicos de corrente, outra grande fonte de harmônicos de corrente são os retificadores de

onda completa com um grande capacitor como filtro, que constituem a maioria das cargas de fontes DC, de computadores por exemplo.

Figura 7 – Exemplo de carga não linear.



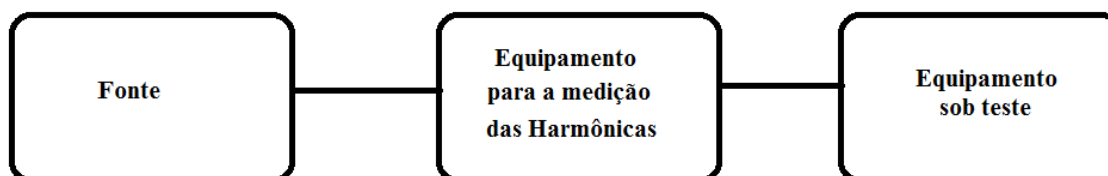
FONTE: (OTT, H. W.)

Valores de distorção harmônica (THD) DE 70% a 150% não são incomuns sob essa circunstância. A maioria dos equipamentos que trabalha dessa forma não é capaz de atender aos requisitos da norma sem algum tipo de circuito passivo ou ativo para a correção desse problema. Geralmente a THD deve ser reduzida a níveis menores que 25% para ser compatível com a norma.

#### 4.1.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO.

O ensaio de medição das correntes harmônicas de um equipamento é ilustrado no diagrama de blocos a seguir:

Figura 8 – Ensaio de Harmônicos de corrente.



Na Figura 9 é mostrado o equipamento utilizado para os ensaios de qualidade de energia do laboratório do CIENTEC – DENELE.

Figura 9 - Fonte trifásica para ensaio de qualidade de energia do CIENTEC



#### **4.2 ENSAIO LIMITES DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO E *FLICKER*: IEC61000-3-3**

A norma IEC 61000-3-3 define que o pico de corrente transitória consumida pelo produto na linha de alimentação AC. O objetivo desta exigência é evitar luzes de cintilação, ou seja, evitar que o pico de corrente consumido pelo equipamento em teste não interfira, mesmo que transitoriamente, na tensão da rede gerando oscilações que podem ser percebidas na iluminação, o que é perturbador para as pessoas em determinadas atividades. Os regulamentos da norma objetivam evitar uma mudança notável na iluminação de uma lâmpada incandescente de 60 W ligada na mesma rede com o equipamento em teste.

Devido à impedância da linha de transmissão de energia, uma mudança exagerada no consumo de corrente dos equipamentos conectados na mesma linha produz flutuações de tensão na linha de alimentação AC. Se a variação da tensão é grande suficiente, irá produzir uma mudança perceptível na iluminação. Se as alterações de carga são de magnitude e taxa de repetição suficiente, a cintilação resultante na iluminação pode ser irritante e perturbadora. Para determinar um limite aplicável, muitas pessoas foram submetidas a testes com variação da iluminação com diferentes níveis de cintilação para determinar o limiar de irritabilidade. O limiar de irritabilidade é quando a linha AC de tensão sofre alterações de 3% quando a taxa de cintilação é de uma vez por minuto. As pessoas são mais sensíveis a variações de iluminação

quando a taxa de cintilação é de cerca de 1000 vezes por minuto. A uma taxa de 1000 vezes por minuto, uma variação de tensão de 0,3% é tão irritante como uma mudança de 3% em menos de uma vez por minuto. Acima de cerca de 1800 alterações por minuto, a luz de cintilação não é mais percebida.

A maioria dos requisitos de emissão baseia-se na magnitude de um parâmetro medido não superior a um valor especificado (o limite). No entanto, testes de cintilação são diferentes na medida em que exigem muitas medições a serem feitas seguido de análises estatísticas executadas nos dados medidos para determinar se o limite foi excedido.

Para a maioria dos equipamentos este requisito não é um problema, porque eles naturalmente não consomem grandes correntes transitórias da linha de alimentação AC. No entanto, o requisito pode ser um problema para os produtos que comutam intermitentemente grandes correntes, como aquecedores ou motores de grande porte. Um exemplo seria quando um compressor de ar condicionado ou de um grande aquecedor em uma máquina de cópia é repentinamente ligado.

O padrão de cintilação requer que um grande número de medições seja feita, e, em seguida, realizada uma análise estatística sobre os dados (envolvendo a magnitude, tempo de duração, forma de onda, e taxa de repetição do distúrbio) para determinar o fator de cintilação. Isto pode ser de difícil realização em um teste de pré-conformidade. No entanto, alguns dos requisitos de cintilação podem ser medidos, como por exemplo a corrente máxima de energização ou de pulsos transitórios. Isto pode ser medido com uma ponteira de prova específica para medições de corrente. O padrão de oscilação tem três níveis de severidade, cada um é aplicável a uma classe de produto diferente. O nível A é aplicável a qualquer produto que não atenda a descrição do nível B ou C. Sendo, portanto, o mais exigente e rigoroso. O nível B é aplicável a produtos que são manualmente comutados ou automaticamente comutados em mais do que duas vezes por dia. O nível C é um produto que é ligado quando em utilização (por exemplo, um secador de cabelos ou aspirador de pó) ou é automaticamente comutado não mais do que duas vezes por dia. Sendo a exigência menos restritiva.

A máxima variação da tensão na linha para um produto nível A é de 4%. Para o nível B é de 6%, e para o nível C é de 7%. A fonte de alimentação tem uma impedância de linha do

conjunto de teste de oscilação de  $0,4 + j 0,25 \Omega$ . A magnitude desta impedância é de  $0,472 \Omega$ . Usando esta impedância, a corrente máxima de partida ou de transitório pode ser determinada para os três níveis de teste. Os resultados para uma tensão da linha de alimentação AC de 240V estão tabulados na Tabela 7.

Tabela 7 – Níveis de máxima corrente de pulso do teste de *Flicker*.

| Nível de teste | Máxima variação de tensão | Máximo pico de corrente |
|----------------|---------------------------|-------------------------|
| A              | 4%                        | 20,3A                   |
| B              | 6%                        | 30,5A                   |
| C              | 7%                        | 35,6A                   |

Para uma tensão de alimentação de 120V a corrente máxima de pico deve ser a metade da indicada na tabela 3.

Este teste não se aplica ao FieldLogger pois sua corrente máxima de pico é menor do que 23A.

#### **4.3 ENSAIO DE EMISSÃO CONDUZIDA: CISPR 11.**

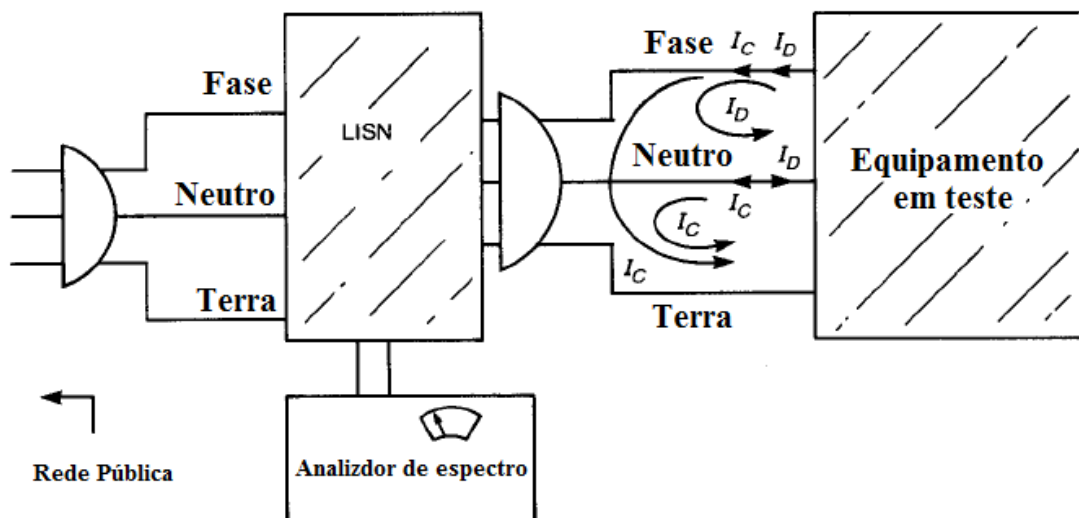
Emissões de ruído de rádio frequência são geradas, por equipamentos eletro eletrônicos e conduzidas ao longo do cabo de alimentação para a rede pública de energia elétrica, ocasionando possíveis danos a outros equipamentos ligados à mesma rede. A norma CISPR 11 impõe limites aos distúrbios eletromagnéticos injetados na rede elétrica. Os limites regulatórios sobre as emissões realizadas são destinadas a controlar o potencial de emissões por radiação devido às correntes de ruído de interferência que são introduzidos na fiação da rede pública de energia por serem realizadas fora do produto ao longo de seu cabo de alimentação AC. Normalmente essas correntes de ruído são muito pequenas para causar interferência por modo conduzido na rede. No entanto, as perturbações podem facilmente ser irradiadas por algum condutor da rede e propagar emissões irradiadas que podem causar danos aos demais equipamentos, principalmente os de radio comunicações, que estiverem ligados próximos ao ponto de emissão, ou seja, ao longo do cabo de alimentação AC do equipamento emissor.

É importante compreender que o procedimento de medição é utilizado para verificar a conformidade com os limites de emissão da norma. As emissões medidas para verificação do cumprimento dos limites da norma devem ser feitas com uma Rede de Estabilização de Impedância (LISN) inserida entre a entrada da alimentação AC do produto e a rede pública.

Embora a emissão a ser controlada seja da corrente que passa no cabo de alimentação AC, os limites são dados em volts. Isso ocorre porque o dispositivo de teste (LISN) mede uma tensão que está diretamente relacionada com a interferência.

Uma configuração típica de teste é ilustrada na Figura 10. O cabo de alimentação do produto é conectado na saída da LISN. A entrada da LISN está conectada à rede pública de energia elétrica. A alimentação AC passa pela LISN e alimenta o equipamento em teste. Um analisador de espectro é ligado a LISN e mede as "emissões" do produto.

Figura 10 - Configuração típica do teste de emissão conduzida.

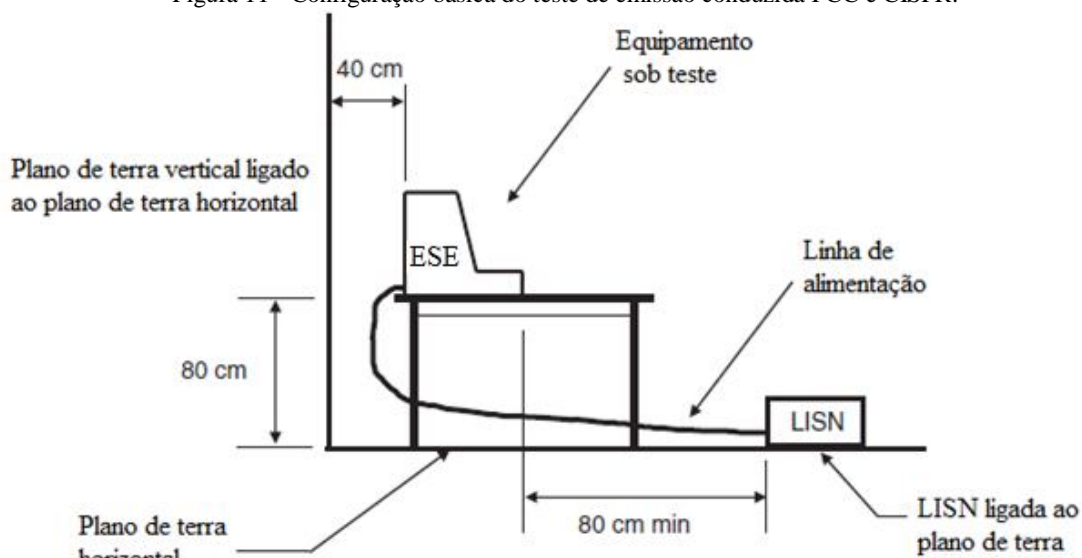


FONTE:(PAUL, C. R, 2006)

A Figura 11 apresenta a configuração básica do teste de emissão conduzida conforme as normas FCC e CISPR.

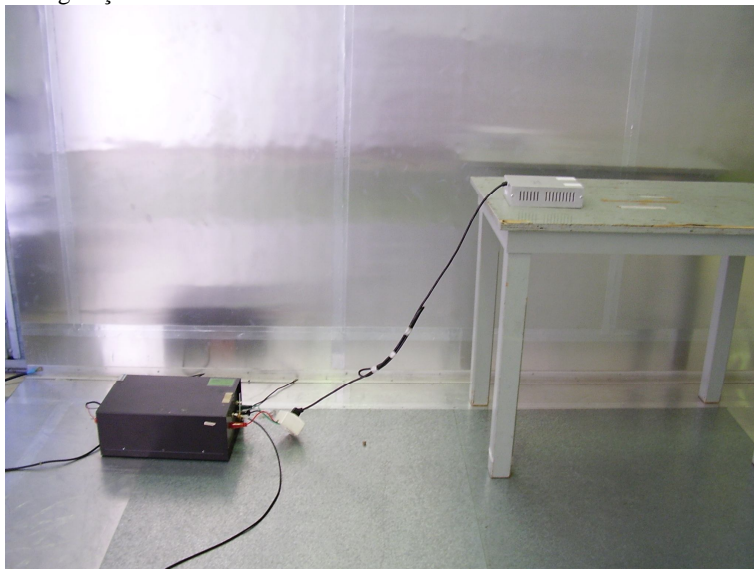


Figura 11 - Configuração básica do teste de emissão conduzida FCC e CISPR.



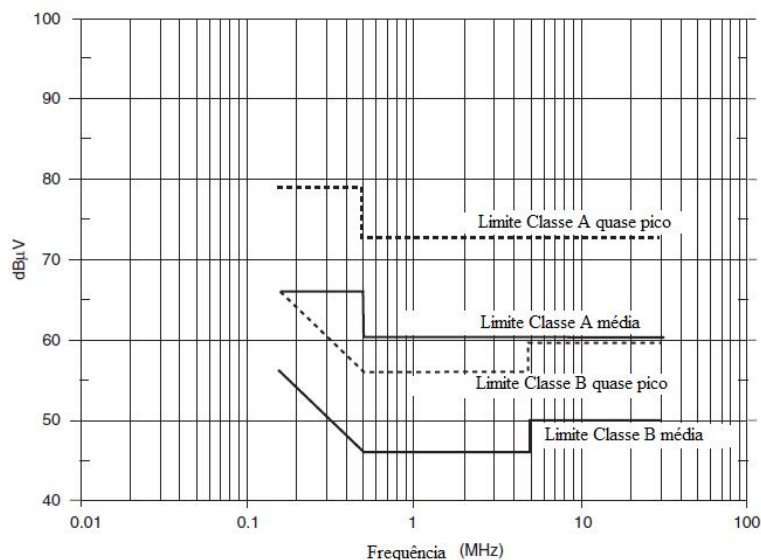
FONTE: (H. OTT, 2009)

Figura 12 - Configuração básica do teste de emissão conduzida FCC e CISPR CIENTEC DENELE.



A FCC e a União Européia exigem que tanto a medida quase pico quanto a média das medições de emissão conduzida sejam feitas. Os respectivos limites são mostrados na Figura 13. Os limites médios são 13 dB menores que os limites máximos de pico, para produto Classe A e 10 dB mais baixo para um produto Classe B.

Figura 13 – Limites classe A e classe B média e quase pico.



FONTE: (H. OTT, 2009)

#### 4.3.1 A REDE DE ESTABILIZAÇÃO DE IMPEDÂNCIA (LISN).

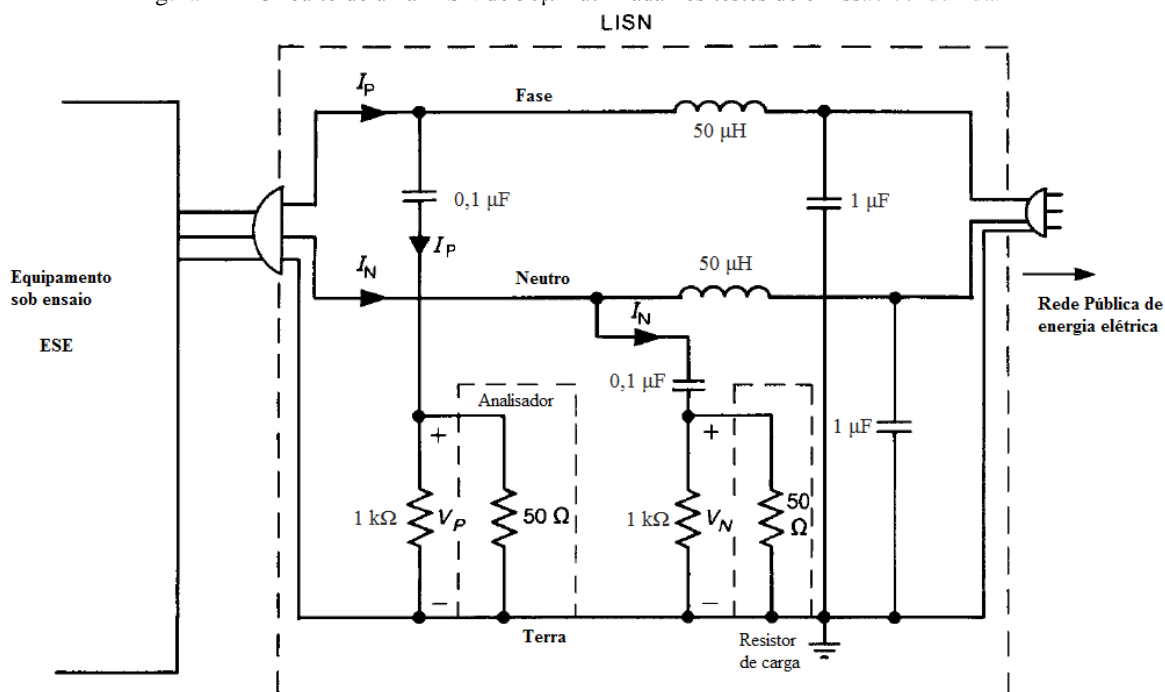
O teste de emissão é realizado para medir as correntes de ruído que saem do cabo de alimentação do produto. Estas emissões poderiam ser simplesmente medidas com uma sonda. Contudo, a exigência de que os dados medidos sejam correlacionáveis entre locais de medição pode tornar esse teste inválido. A impedância vista das tomadas de parede do sistema de alimentação AC varia consideravelmente ao longo da faixa de frequência de medição e do tipo de rede que chega a tomada. Esta variabilidade na carga apresentada ao produto afeta na quantidade de ruído medido no cabo de alimentação. A fim de tornar esta medida consistente entre os locais de teste, a impedância vista pelo produto deve ser estabilizada a partir do local de alimentação para o local de medição.

Esta é a primeira funcionalidade da LISN: Apresentar uma impedância constante da linha de alimentação para o produto, em toda a gama de frequência do teste de emissão conduzida. Além disso, a quantidade de ruído que está presente no sistema de alimentação varia de local para local. Esse ruído "externo" entra no cabo de alimentação do produto, e, a menos que seja de alguma forma eliminado, será acrescentado às emissões medidas. A segunda funcionalidade da LISN é bloquear as emissões que não são do produto a ser testado de maneira que apenas as emissões conduzidas do produto sejam medidas. Por conseguinte, os dois objetivos da LISN são (1) apresentar uma impedância constante (50Ω) entre o condutor

fase e o terra e entre o condutor neutro e o terra, e (2) evitar que o ruído externo do sistema de alimentação não contamine a medição. Estes dois objetivos devem ser satisfeitos no intervalo de frequência do ensaio de emissão (150 kHz-30 MHz). Outro requisito importante para a LISN é que seja capaz de passar os 60Hz ou 50Hz da rede e a energia necessária para o funcionamento do produto.

A LISN especificada para utilização na medição da emissão conduzida é mostrada na Figura 14. O objetivo dos capacitores de  $1 \mu\text{F}$  entre fase e terra e entre neutro e terra no lado de entrada da energia e dos indutores de  $50 \mu\text{H}$  é formar um filtro passa baixas de segunda ordem para bloquear os ruídos da rede. A finalidade dos outros capacitores  $0,1 \mu\text{F}$  é para evitar qualquer pico de sobrecarga de entrada do receptor de teste.

Figura 14 – Circuito de uma LISN de  $50 \mu\text{H}$  utilizada nos testes de emissão conduzida.



FONTE:(PAUL, C. R, 2006)

O equipamento deve ser configurado a uma distância apropriada dos dois planos de terra e conectado na LISN e a LISN na linha de alimentação. O analisador de espectro deve ser conectado na porta da LISN e configurado para a banda e resolução de interesse. A tensão de modo comum deve ser medida a partir de cada lado da linha, da fase a terra e neutro a terra e comparar os resultados com os limites da norma.

A Figura 15 e 16 mostram exemplos de medida de pico de um equipamento nos limites de classe B e A respectivamente.

Figura 15 – Exemplo de medições de emissão conduzidas classe B.

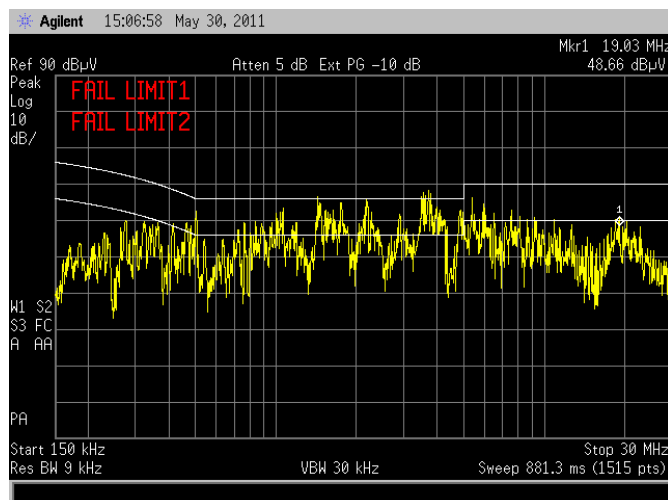
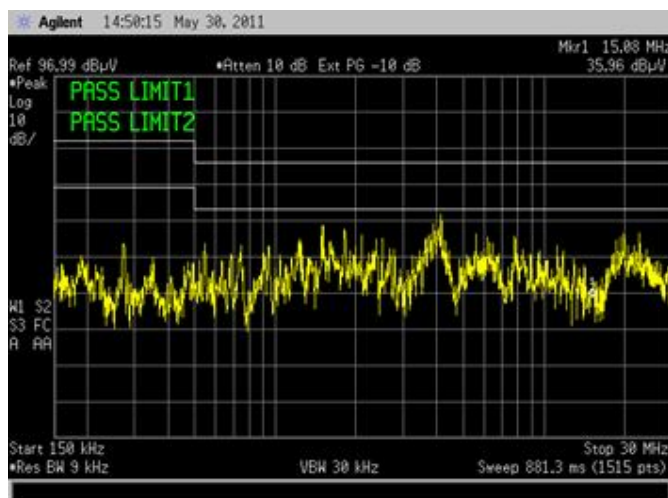


Figura 16 – Exemplo de medições de emissão conduzidas classe A.



#### 4.4 ENSAIO DE EMISSÃO RADIADA: CISPR 11

O ensaio de emissão irradiada deve ser feito em um campo aberto ou em uma câmara semianecóica. Embora o ensaio em campo aberto seja o preferido, o ensaio na câmara semianecóica fornece possibilidade de teste em qualquer clima, além de fornecer uma melhor capacidade de medição, bem como a segurança de medição a prova de ruídos externos. Uma

câmara semianecóica é uma sala blindada e com material que absorve os campos de rádio frequência nas paredes e teto da sala para prevenir reflexões e simular o espaço livre. Abaixo é mostrado o local de testes de campo aberto e a câmara semianecóica do CIENTEC.

Figura 17 – Câmara semianecóica do CIENTEC.

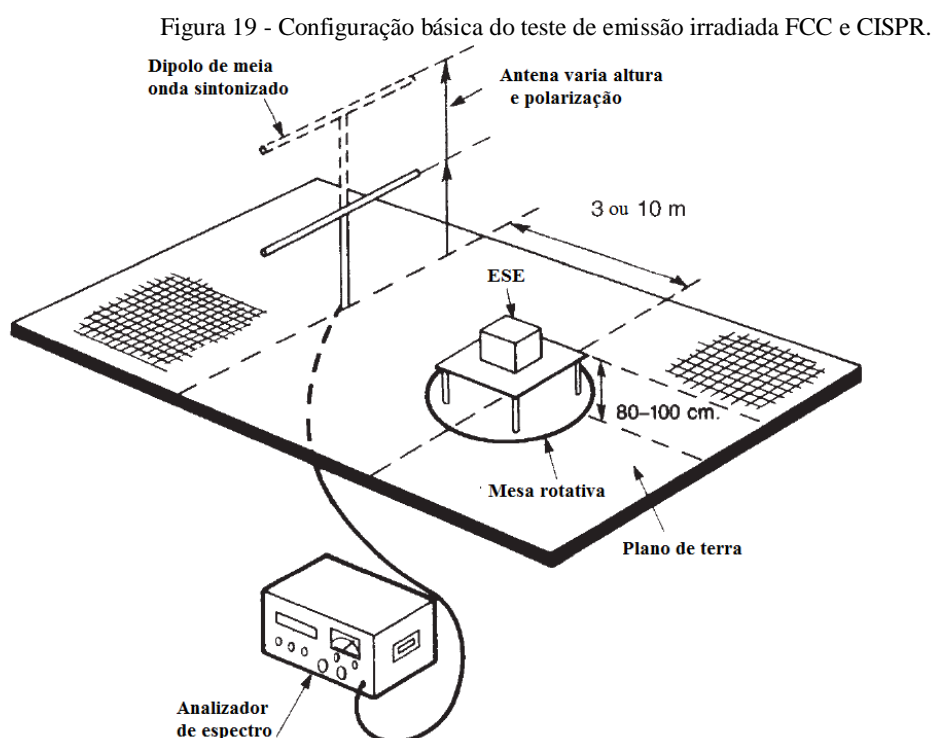


Figura 18 – Teste de emissão irradiada campo aberto CIENTEC.



O produto é colocado 1m acima do chão da câmara. Um plano de terra sem absorvedor constitui o chão da sala. Há dois propósitos para a câmara semianecóica. O primeiro é impedir que emissões eletromagnéticas de fora da sala contaminem o teste. Que é assegurado pela blindagem da câmara. O segundo é para evitar reflexo nas paredes da sala blindada, de modo

a simular um espaço livre, e esta característica é dada pelo material absorvedor de radiofrequência das paredes. O receptor de medição usa um detector de quase-pico para as medições. A distância de medição é de 3m ou 10m. As medições para o teste de emissão irradiada da norma CISPR 11 se estendem nas frequências de 30MHz à 1GHz e devem ser feitas com a antena na posição horizontal e vertical. O equipamento deve girar 360° e, para o teste de *open side*, a antena deve ser elevada de 1m até 4m, conforme ilustrado na Figura 19. A emissão máxima encontrada variando a altura e polarização da antena e girando o produto os 360° não pode exceder ao limite da norma.



FONTE: (H. OTT, 2009)

É notório que são utilizadas antenas especiais e calibradas para o teste, pois um dipolo sintonizado para o teste de uma grande faixa de frequência torna o teste inviável pelo número de trocas de antena ou a falta de sintonia entre o dipolo e a faixa total de frequência.

#### 4.5 ENSAIO DE IMUNIDADE À DESCARGA ELETROSTÁTICA – ESD: IEC61000-4-2

A eletricidade estática é familiar a todos nós, como a estática da roupa, como arco ocorrendo ao tocar em uma maçaneta ou outro objeto de metal. A eletricidade estática já era conhecida

pelos antigos gregos mais de 2000 anos atrás. Em tempos medievais, os mágicos usavam os efeitos eletrostáticos como parte de sua magia. No nosso tempo, a eletricidade estática tem sido aproveitada para executar muitas funções úteis. Exemplos de produtos que utilizam este princípio são copiadoras eletrostáticas, precipitadores de poeira, purificadores de ar, etc. No entanto, a descarga eletrostática descontrolada (ESD) tornou-se um perigo para a indústria eletrônica. Desde o início da década de 1960, tem sido reconhecido que muitos circuitos integrados (CIs), peças eletrônicas, tais como resistores e capacitores de filme, e cristais são suscetíveis a danos causados por descargas eletrostáticas. Como os dispositivos eletrônicos tornam-se menores, mais rápidos, e operam em tensões mais baixas, sua suscetibilidade a ESD aumentou. O controle da ESD é um caso especial de EMC. Muitas das técnicas utilizadas para diminuir a susceptibilidade de um sistema de ESD são semelhantes aos utilizados para fornecer imunidade a transientes.

A eletricidade estática pode ser criada de várias maneiras diferentes, mas o mais comum é por contato e subsequente separação dos materiais. Os materiais podem ser sólidos, líquidos ou gases. Quando dois não condutores (isolantes) estão em contato, alguma carga (elétrons) é transferida de um material para o outro. Quando os dois materiais são separados, essa carga pode não retornar ao material original. Se os dois materiais foram originalmente neutros, irão agora ser carregados, um positivamente e outro negativamente. Esse método de geração de eletricidade estática é referido como carregamento por atrito.

A eletricidade estática é um fenômeno de superfície. A carga estática existe apenas na superfície dos materiais e não dentro deles. A carga de um isolador permanece na zona em que esta for criada e não é distribuída no interior do material ou sobre toda a superfície do material. Aterrizar um isolante não vai eliminar a carga. Ao contrário de um isolador, um condutor carregado perderá a carga se aterrado.

Observe o efeito significativo que a umidade tem sobre as tensões. A geração de 10 a 20 kV em materiais nos ambientes domésticos e de trabalho não é incomum em baixa umidade (abaixo de 30%). No entanto, quando a umidade é superior a 65% estas tensões são limitadas a 1500 V ou menos.

A descarga eletrostática é normalmente um processo de três passos como se segue:

1. A carga é gerada em um isolador.
2. Esta carga é transferida para um condutor por contato ou por indução.
3. O condutor carregado se aproxima de um objeto de metal e uma descarga ocorre.

Por exemplo, quando uma pessoa caminha sobre um tapete, as solas dos seus sapatos (isolantes) se carregam quando fazem atrito com o tapete. Esta carga é então transferida para o seu corpo (um condutor), geralmente por indução. Se a pessoa, em seguida, toca um objeto metálico (aterrado ou não), uma descarga ocorre. Quando a descarga ocorre para um objeto sem ligação à terra (por exemplo, uma maçaneta), a corrente de descarga flui através da capacitância entre o objeto e o chão.

Um isolador carregado por si só não é diretamente uma ameaça ESD. Uma vez que a carga sobre um isolador não é livre para se mover, não se pode produzir uma descarga estática. O perigo de um isolador carregado advém do seu potencial para produzir uma carga, geralmente por indução, para um condutor tal como uma pessoa, a qual é então capaz de uma descarga.

#### **4.5.1 Modelo do Corpo Humano**

Os seres humanos são a principal fonte de descarga eletrostática. Como discutido anteriormente, é fácil para uma pessoa possuir uma carga estática. Esta carga pode ser transferida da pessoa para uma peça de equipamento eletrônico sensível, na forma de uma descarga eletrostática.

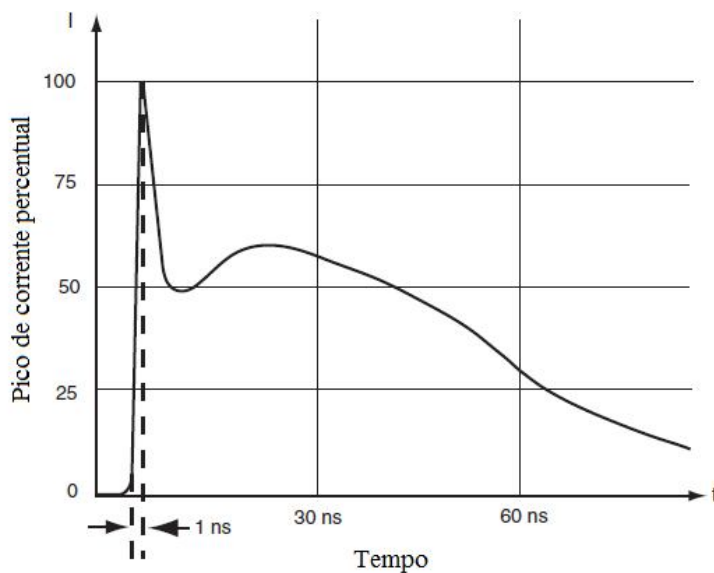
Para modelar esta descarga do corpo humano, começamos com a capacitância do corpo humano. Em adição aos 50 pF de capacitância do espaço livre, o maior contribuinte para a capacitância do corpo vem da capacitância entre as solas dos pés e o solo, isto é, cerca de 100 pF. Capacitâncias adicionais de 50-100 pF podem existir devido a proximidade da pessoa a outros objetos próximos, tais como estruturas e paredes. Portanto, a capacitância do corpo humano pode variar entre 50 e 250 pF. A capacitância do corpo  $C_p$  é carregada até uma tensão  $V_p$  e a descarga ocorre através de  $R_p$ , a resistência do corpo. A resistência do corpo é importante porque limita a corrente de descarga. A resistência do corpo pode variar de cerca de 500 a 10.000  $\Omega$ , dependendo em que parte do corpo a descarga ocorra. Normalmente a



descarga se dá na ponta do dedo, cuja a resistência é de cerca de  $10.000\Omega$ . Se foi a partir de um objeto de metal pequeno na mão (por exemplo, uma chave ou uma moeda), será de cerca de  $500\Omega$ .

Vários padrões de teste ESD usam valores diferentes para os componentes do modelo do corpo humano. O modelo mais utilizado é composto de  $C_p=150\text{ pF}$  e  $R_p=330\ \Omega$  como especificado no padrão básico da IEC 61000-4-2. A Figura 15 mostra a forma de onda produzida por uma típica descarga de  $150\text{ pF}$ ,  $330\Omega$  do modelo do corpo humano em um alvo de teste.

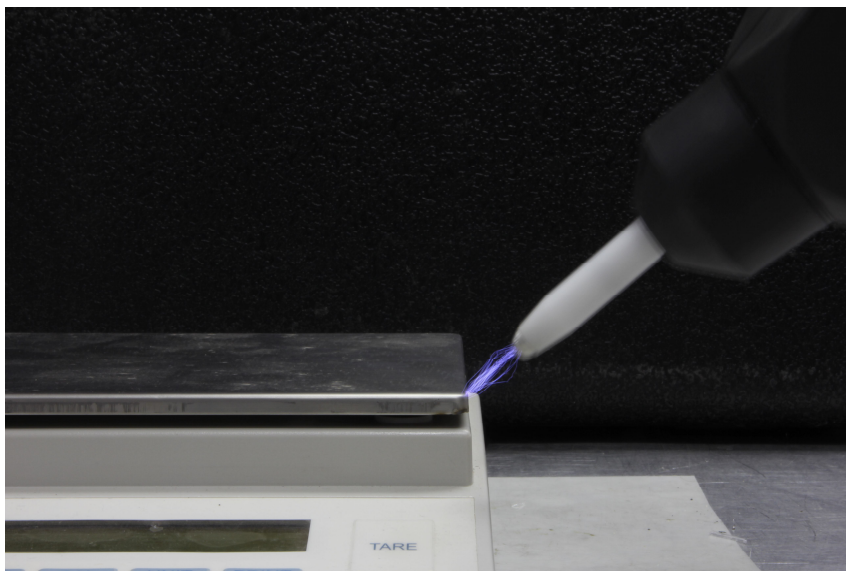
Figura 20 - Forma de onda produzida por uma típica descarga de ESD do corpo humano.



FONTE: (IEC61000-4-2: 2008)

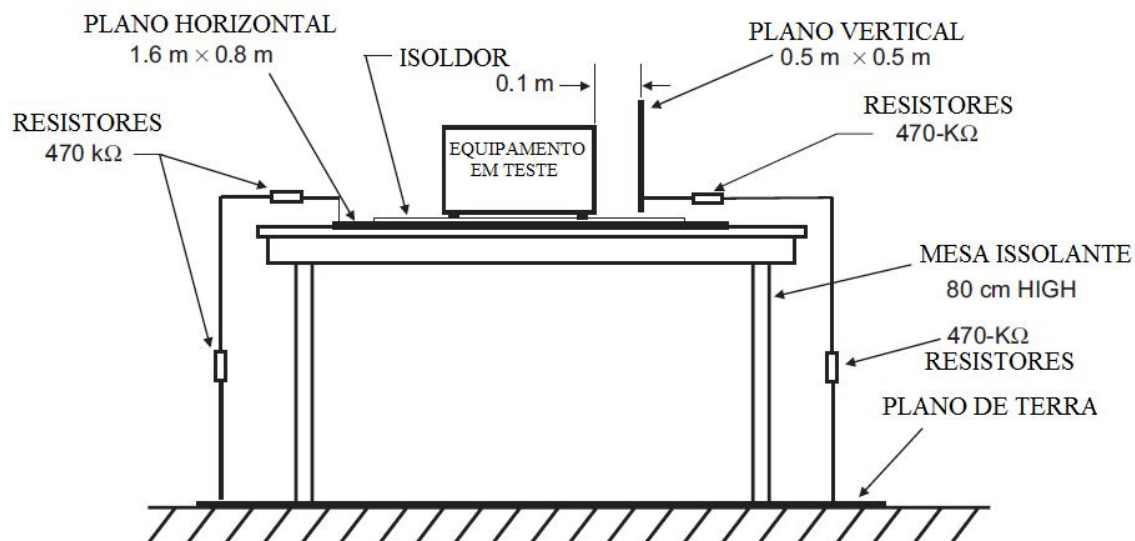
O ensaio baseia-se em aplicar 10 descargas por contato, ou seja, o simulador está em contato com o equipamento em teste em qualquer parte metálica do equipamento que estiver ao alcance do operador. São produzidas 10 descargas positivas e 10 negativas nas partes metálicas.

Figura 21 – Ensaio de ESD CIENTEC.



Também é aplicado o teste nas partes não metálicas ou isolantes do equipamento, porém este teste é feito sem contato, ou seja, no ar. Também são testadas as polaridades positiva e negativa. Além disso, são aplicadas descargas em planos próximos na posição horizontal e vertical.

Figura 22 - Configuração básica do teste de Descarga eletrostática.



FONTE: (H. OTT, 2009)

#### **4.6 ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA RADIADA: IEC61000-4-3**

A norma IEC 61000-4-3 da Comissão Eletrotécnica Internacional estabelece as prescrições de ensaios de imunidade à irradiação de campos eletromagnéticos de radiofrequência, para equipamentos elétricos e eletrônicos.

O Ensaio de Imunidade Radiada tem como objetivo verificar se o equipamento em teste é imune a campos eletromagnéticos de radiofrequência. 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.

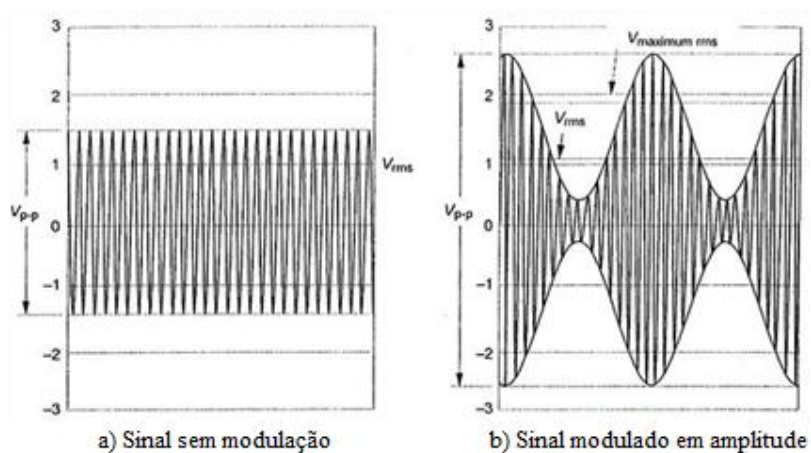
Os testes podem ser realizados em uma câmara semianecóica ou em uma célula Gtem. No caso dos ensaios executados no CIENTEC foi utilizada a célula G-tem, célula giga-hertz transversal eletromagnético. A célula Gtem é um tipo de linha de transmissão expandida em formato de cunha para simulação da onda eletromagnética propagando no espaço livre. Os testes são feitos em ambientes blindados e sua estrutura pode ultrapassar nove metros de comprimento. A ideia é a formação de um campo uniforme na região interna da célula onde será colocado o equipamento em teste. A faixa de frequência de operação vai de 30 MHz até 20 GHz, dependendo das dimensões da célula e do projeto de atenuação da onda no final da mesma. Atualmente, a célula Gtem vem ganhando popularidade por ser um equipamento customizado da câmara anecóica. A Figura 23 mostra a célula Gtem usada no laboratório do CIENTEC.

Figura 23 - Célula G-tem CIENTEC.



O sinal gerado para teste deve ser modulado em amplitude com índice de modulação de 80 % por um sinal modulante de 1kHz, na faixa de 80MHz a 1GHz. A modulação é um processo pelo qual um sinal de informação é incorporado a uma portadora de alta frequência, pela variação da amplitude ou da fase deste sinal.

Figura 24 - Exemplo de sinal modulado

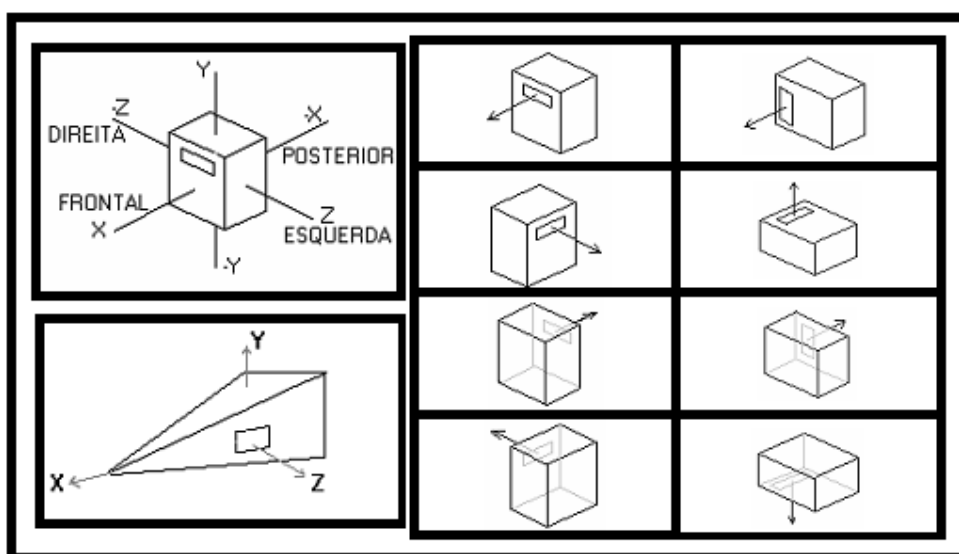


FONTE: (IEC61000-4-3: 2006)

Os limites do campo elétrico irradiado estabelecidos pela norma são de 3V/m, mínimo, e 10V/m no máximo.

Os requisitos básicos para os ensaios de imunidade radiada são um gerador de sinal de RF, um amplificador de potência de banda larga e uma antena ou conjunto de antenas. Estes equipamentos permitem gerar um campo na posição do equipamento em teste. Durante o ensaio o funcionamento do equipamento em teste deve ser monitorado. O campo aplicado varia a frequência de 80MHz à 1GHz em passos determinados pela norma. O campo deve ser aplicado em todas as faces do equipamento e, em duas faces principais, também deve ser aplicado em 90° conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Posições de aplicação do campo no equipamento em teste.



#### **4.7 ENSAIO DE IMUNIDADE A TRANSIENTES ELÉTRICOS RÁPIDOS – BURST: IEC61000-4-4.**

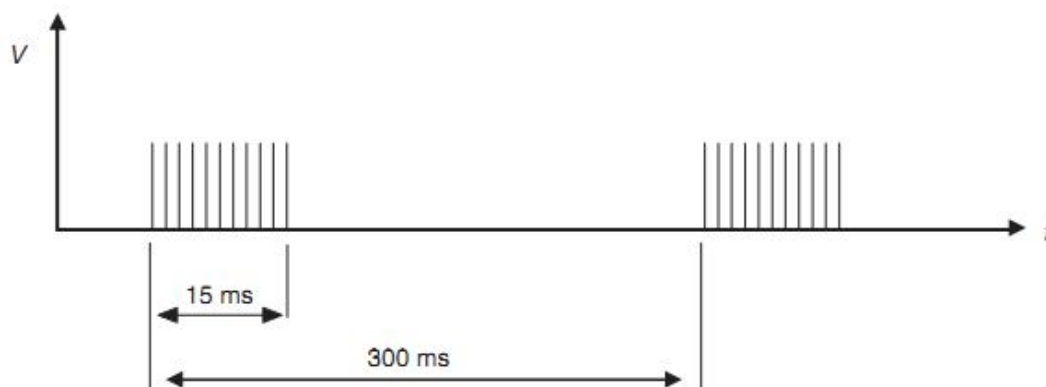
O desligamento de cargas indutivas como relés ou contactoras, a comutação de capacitores de correção de fator de potência e motores universais, produzem rajadas de impulsos de alta frequência sobre o sistema de distribuição de energia elétrica. Portanto tornou-se necessário o teste de imunidade a esses surtos.

O ensaio é constituído por uma rajada de 75 pulsos repetidos a cada 300 ms com uma duração não inferior a 1 minuto. Cada pulso individual tem um tempo subida de 5 ns e de largura pulso de 50 ns com uma frequência de repetição de 5 kHz. Para equipamentos industriais a amplitude dos pulsos individuais é de 1 kV nas linhas de entrada de energia e 0.5 kV em

linhas de corrente contínua, bem como as linhas de sinal e de controle. O teste só é aplicado em linhas de sinais e de controle em que os cabos ultrapassem 3m com acoplamento capacitivo indireto.

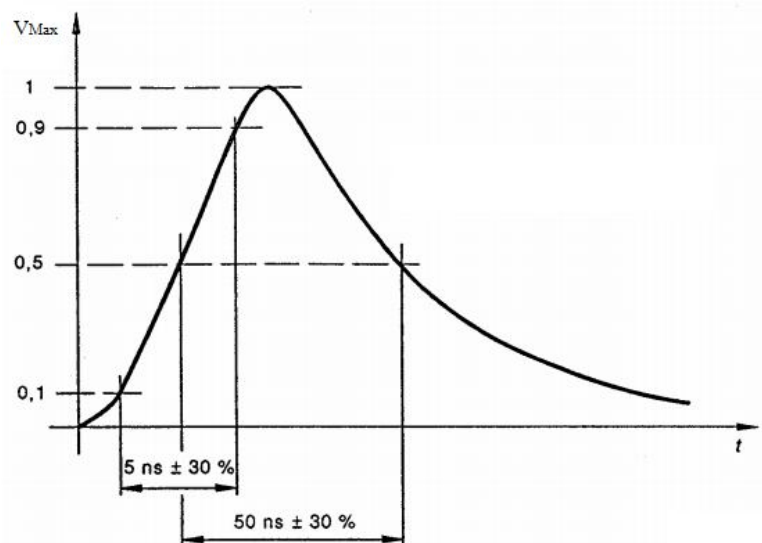
Nas Figuras 26 e 27 são mostradas as formas de onda e pulsos típicos do teste de *Burst*.

Figura 26 - Forma de onda do teste de Burst.



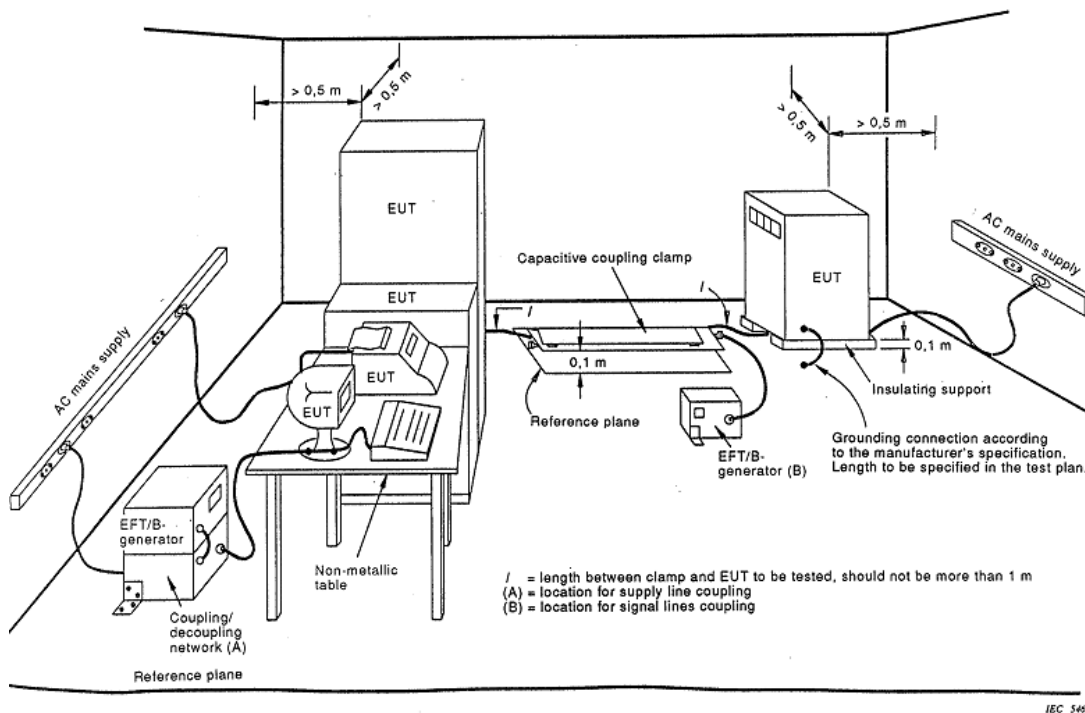
FONTE: (IEC61000-4-4: 2004)

Figura 27 - Pulso típico Burst



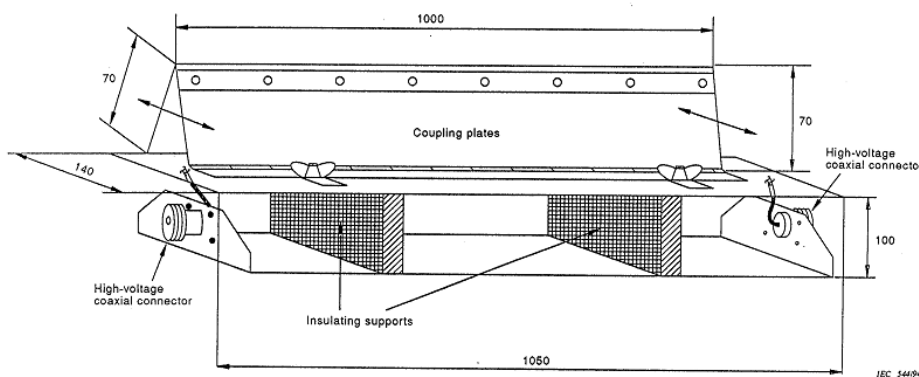
FONTE: (IEC61000-4-4: 2004)

Nas Figuras 28 e 29 é apresentado a configuração básica para o teste de Burst e a calha para acoplamento capacitivo indireto respectivamente.

Figura 28 - Configuração básica do teste de *Burst*.

FONTE: (IEC61000-4-4: 2004)

Figura 29 - Calha para acoplamento capacitivo



FONTE: (IEC61000-4-4: 2004)

#### 4.8 ENSAIO DE IMUNIDADE A SURTOS DE TENSÃO – SURGE: IEC61000-4-5

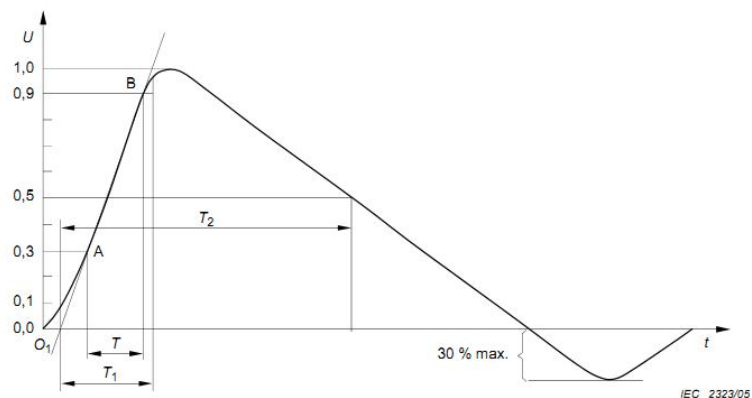
O ensaio de imunidade a surtos de tensão destina-se a simular surtos de tensão na rede elétrica causada por um raio, nas proximidades, ou a derrubada de um poste resultante de um acidente ou tempestade. Surtos de tensão também podem ser causados pela indutância da linha de alimentação quando altas cargas de corrente são subitamente desligadas.

O gerador de teste de surto destina-se a produzir um pulso de tensão com tempo de ascensão de  $1,25\mu\text{s}$  e uma largura de pulso de  $50\mu\text{s}$ . O gerador de teste tem uma impedância da fonte de  $2\Omega$ . A onda de tensão deve apenas ser aplicada a linhas de alimentação de energia AC e DC, tanto em modo comum como em modo diferencial, e não em linhas de sinal.

Na linha de alimentação AC, o nível de tensão é de  $\pm 2\text{ kV}$  para a terra e  $\pm 1\text{ kV}$  linha a linha. Na linha de alimentação de DC, o nível de tensão é  $\pm 0,5\text{ kV}$  para terra e linha a linha. Um pulso de  $\pm 0,5\text{ kV}$  também deve ser aplicado a todos condutores de terra. A maioria dos distúrbios de transientes de alta tensão, com a exceção de ESD, são aplicados aos cabos de alimentação.

Nas Figuras 30 e 31 são mostradas as formas de onda de tensão, em circuito aberto, e corrente, de curto circuito do teste de *Surge*.

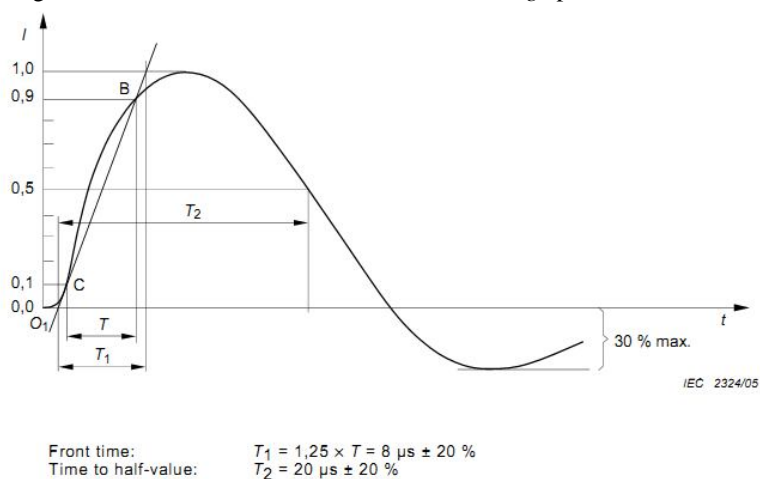
Figura 30 – Forma de onda de tensão de surto *surge* para circuito aberto.



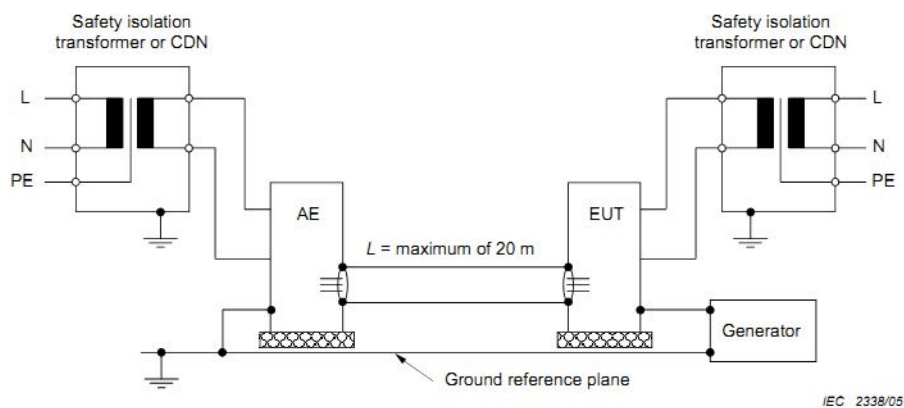
Front time:  $T_1 = 1,67 \times T = 1,2\mu\text{s} \pm 30\%$   
 Time to half-value:  $T_2 = 50\mu\text{s} \pm 20\%$

FONTE: (IEC61000-4-5: 2005)



Figura 31 – Forma de onda de corrente de surto *surge* para curto circuito.

FONTE: (IEC61000-4-5: 2005)

A Figura 32 mostra o setup básico para o teste de *Surge*.Figura 32 - Configuração básica do teste de *Surge*.

FONTE: (IEC61000-4-5: 2005)

#### 4.9 DIFERENÇAS ENTRE OS TESTES DE SURTO ESTÁTICA, *BURST* E *SURGE*:

Para fins de dimensionamento das proteções adequadas para cada tipo de fenômeno a Tabela 8 mostra a diferença entre os testes de surto estática, *burst* e *surge*

Tabela 8 – Comparativo entre os testes de surto

| Norma          | IEC 61000 4-2          | IEC 61000 4-4                | IEC 61000 4-5   |
|----------------|------------------------|------------------------------|-----------------|
| Característica | Descarga Eletrostática | Interferência de Transientes | Surto de tensão |

| Descrição               | ESD  | BURST  | SURGE                      |
|-------------------------|--|--|----------------------------|
| Tensão                  | Até 15 kV  | Até 4 kV   | Até 6 kV                   |
| Frequência de repetição | Pulsos únicos                                    | Múltiplos pulsos de 5kHz                             | Máximo 6 pulsos por minuto |
| Aplicação               | Planos horizontal e vertical e partes metálicas. | Alimentação, I/Os, sinais de medidas e comunicações. | Alimentação.               |
| Energia                 | >10mJ  | 300mJ  | 300J                       |

#### **4.10 ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA CONDUZIDA: IEC61000-4-6.**

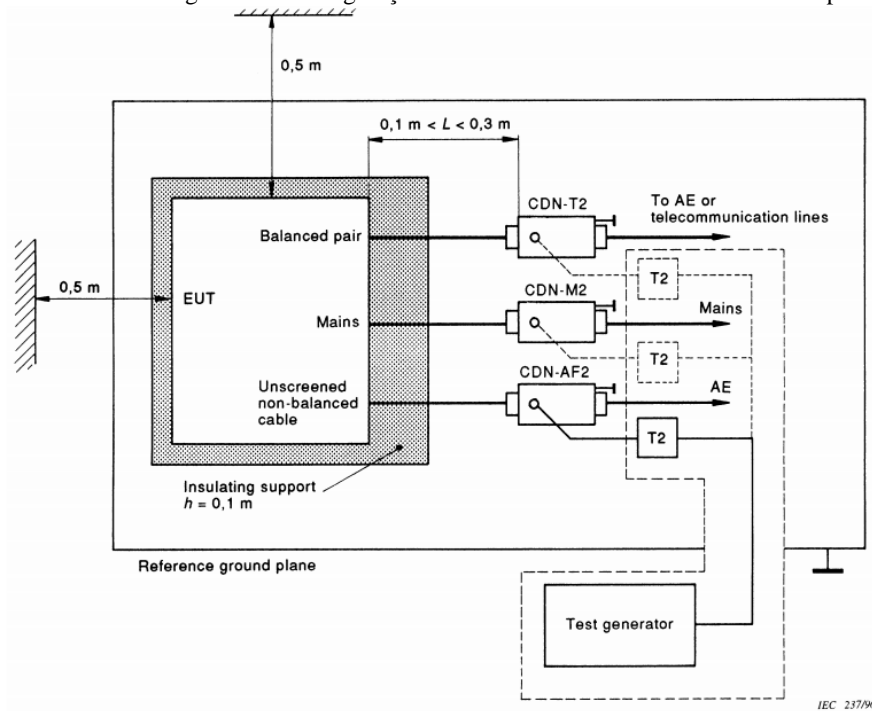
O Ensaio de Imunidade Conduzida ou Correntes de RF Injetadas, descrito na Norma IEC 61000 4-6, permite verificar se o equipamento quando submetido a perturbações conduzidas, por campos de radiofrequência, através de todos os cabos de alimentação, de sinais e de comunicação do mesmo, apresenta mau funcionamento sob algum aspecto. O ensaio é executado para ruído de radiofrequência através das ligações, na faixa de frequências de 150kHz a 80MHz.

Quando as tensões ou correntes de RF são injetadas nos cabos, estes podem funcionar como antenas que captam o ruído e posteriormente irradiam-no. De fato, o que acontece neste ensaio é que o equipamento fica exposto a correntes que fluem através dos seus cabos, que podem provocar o aparecimento de campos eletromagnéticos.

Para o acoplamento do ruído conduzido são usadas as Redes de Acoplamento e Desacoplamento - *Coupling Decoupling Network (CDN)*. Estes dispositivos são capazes de acoplar a perturbação ao cabo em questão, sendo ligados em série nos cabos.

Na Figura 33 é mostrado a configuração básica com os diversos tipos de CDN para cada tipo de entrada do equipamento em ensaio.

Figura 33 – Configuração de teste RF conduzida com diferentes tipos de CDN.



FONTE: (IEC61000-4-6: 2008)

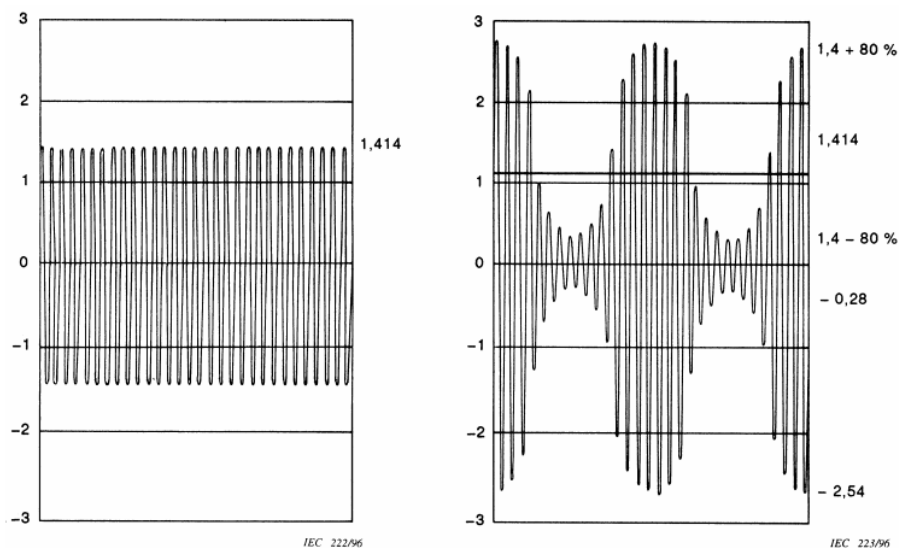
Na Figura 34 é mostrado a configuração básica do teste de imunidade à RF conduzida no laboratório do CIENTEC utilizando uma CDN M2.

Figura 34 – Configuração de teste RF conduzida CIENTEC



O sinal gerado para teste deve ser modulado em amplitude com índice de modulação de 80 % por um sinal modulante de 1kHz, na faixa de 150kHz a 80MHz.

Figura 35 – Exemplo de modulação do sinal de RF.



FONTE: (IEC61000-4-6: 2008)

O limite mínimo de aplicação desse ensaio é 3Vrms nas entradas de alimentação e E/S de comando.

#### 4.11 ENSAIO DE IMUNIDADE À CAMPO MAGNÉTICO: IEC61000-4-8.

Os produtos eletrônicos estão muitas vezes sujeitos a campos magnéticos na frequência da rede elétrica. Estes campos são frequentemente produzidos nas proximidades de transformadores de potência ou cabos percorridos por alta corrente e podem causar problemas com monitores de vídeo, sensores de efeito de Hall e outros produtos eletrônicos com sensibilidade aos campos magnéticos.

O ensaio baseia-se em submeter o equipamento em teste a um campo magnético de baixa frequência durante um minuto. O equipamento é colocado no centro de uma espira de  $1m^2$  que é percorrida por uma corrente alternada de 50Hz e 60Hz com corrente de 3A para equipamentos residenciais e 30A para equipamentos industriais. O campo é colocado nos três principais eixos espaciais, x, y e z.

As Figuras 36 e 37 mostram o ensaio no laboratório do CIENTEC.

Figura 36 – Ensaio de campo magnético de baixa frequência CIENTEC.



Figura 37 – Ensaio de campo magnético de baixa frequência CIENTEC.



#### **4.12 ENSAIO DE IMUNIDADE À VARIAÇÃO E INTERRUPÇÃO DE TENSÃO: IEC61000-4-11.**

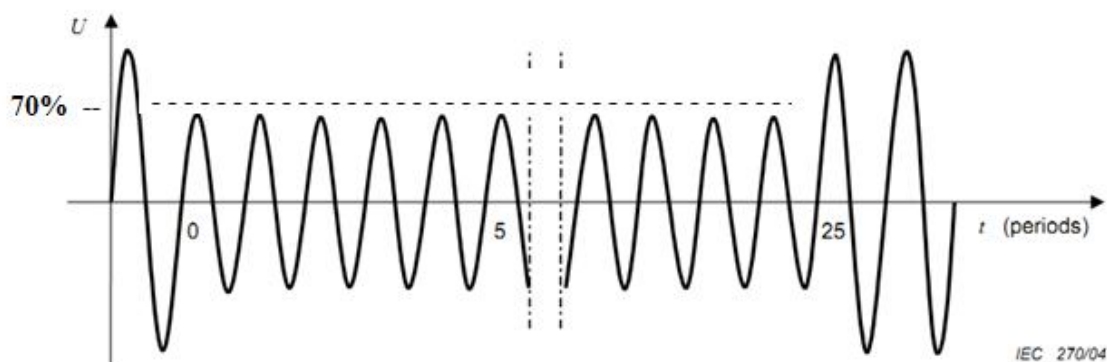
Este ensaio tem como finalidade demonstrar a imunidade do equipamento em teste ligado à rede de energia elétrica de baixa tensão, quando sujeito a variações e interrupções da tensão de alimentação. Para evitar que estes tipos de problemas danifiquem os equipamentos

eletrônicos, são simuladas neste ensaio variações e interrupções na tensão de alimentação do equipamento em teste conforme descrito na Norma IEC 61000-4-11.

As quedas de tensão, assim como as breves interrupções da alimentação de equipamentos ligados à rede de energia elétrica, devem-se frequentemente a defeitos na rede, na instalação ou a variações abruptas na carga do sistema. Conseqüentemente, diferentes tipos de testes são descritos na Norma EN 61000-4-11, para simular os efeitos das perturbações na tensão de alimentação dos equipamentos ligados à rede de energia elétrica.

Tensão residual é o valor mínimo (r.m.s) da tensão durante uma queda ou interrupção breve de tensão expressa em percentagem. A queda de tensão é uma redução repentina da tensão num ponto particular do sistema elétrico de energia, seguida de uma recuperação após um curto intervalo de tempo. A Figura 38 mostra um exemplo, presente na Norma IEC 61000-4-11, de uma diminuição até 70% durante 25 períodos do valor da tensão de alimentação.

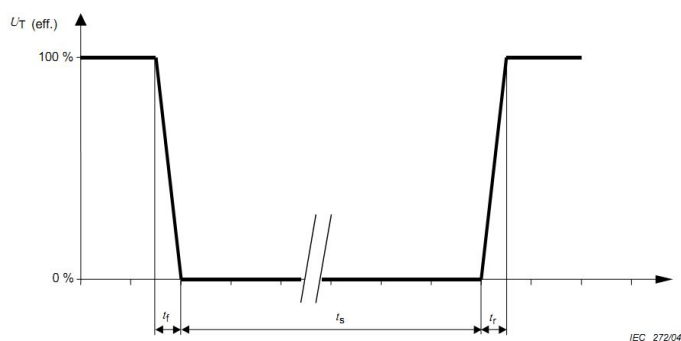
Figura 38 - Exemplo de redução de tensão



FONTE: (IEC61000-4-11: 2004)

Interrupção breve de tensão é um corte da tensão de alimentação por um período de tempo, que tipicamente não excede um minuto. Interrupções breves de tensão podem ser consideradas quedas de tensão com uma amplitude de 100%. A Figura 39 mostra um exemplo, da Norma EN 61000-4-11, de uma interrupção breve de tensão.

Figura 39 - Exemplo de interrupção breve de tensão



FONTE: (IEC61000-4-11: 2004)

Os limites utilizados foram de três interrupções de 10ms nos ângulos de 0 e 180°.

#### 4.13 REQUISITOS MÍNIMOS DOS ENSAIOS DE IMUNIDADE

Os requisitos mínimos relativos à imunidade são indicados na tabela 1:

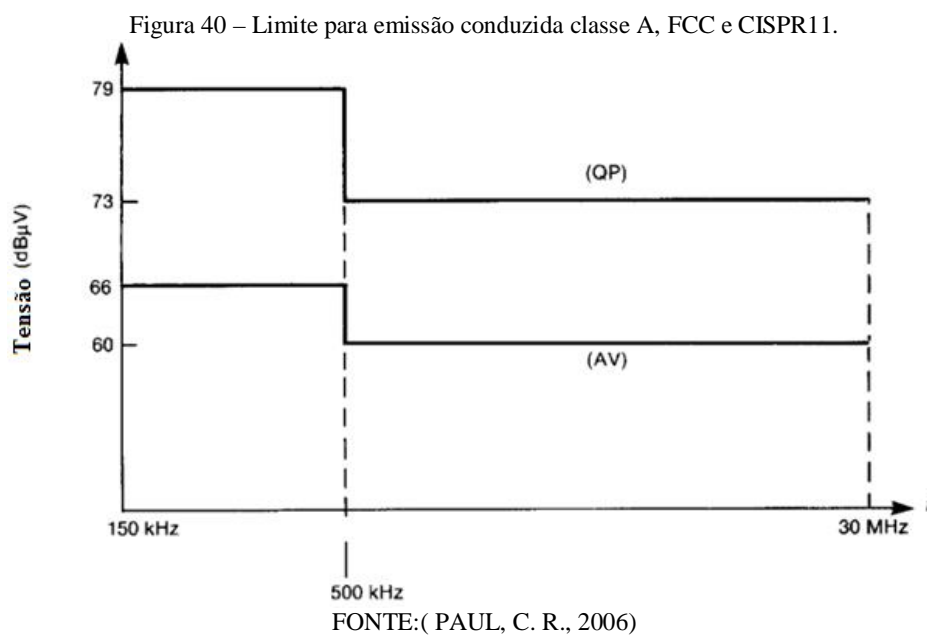
Tabela 9 – Requisitos mínimos relativos à imunidade eletromagnética.

| Acesso           | Fenômeno                          | Norma Fundamental | Valor do ensaio                        |
|------------------|-----------------------------------|-------------------|--|
| Invólucro        | Descargas Eletrostáticas          | IEC61000-4-2      | 4kV/4kV contato/ar                     |
|                  | Campo Eletromagnético Irradiado   | IEC61000-4-3      | 3 V/m                                  |
| Alimentação C.A. | Interrupção de Tensão             | IEC61000-4-11     | 1 período 100%                         |
|                  | Transitórios rápidos <i>Burst</i> | IEC61000-4-4      | 1 kV                                   |
|                  | Ondas de choque <i>Surge</i>      | IEC61000-4-5      | 0,5 kV Linha linha<br>1 kV Linha terra |
|                  | Perturbações de RF Conduzida      | IEC61000-4-6      | 3 Vrms                                 |
| Alimentação C.C. | Transitórios rápidos <i>Burst</i> | IEC61000-4-4      | 1 kV                                   |
|                  | Ondas de choque <i>Surge</i>      | IEC61000-4-5      | 0,5 kV Linha linha<br>1 kV Linha terra |

|                |                                   |              |                  |
|----------------|-----------------------------------|--------------|------------------|
|                | Perturbações de RF Conduzida      | IEC61000-4-6 | 3 Vrms           |
| E/S de comando | Transitórios rápidos <i>Burst</i> | IEC61000-4-4 | 0,5 kV           |
|                | Ondas de choque <i>Surge</i>      | IEC61000-4-5 | 1 kV Linha terra |
|                | Perturbações de RF Conduzida      | IEC61000-4-6 | 3 Vrms           |

#### 4.14 REQUISITOS MÍNIMOS DOS ENSAIOS DE EMISSÃO

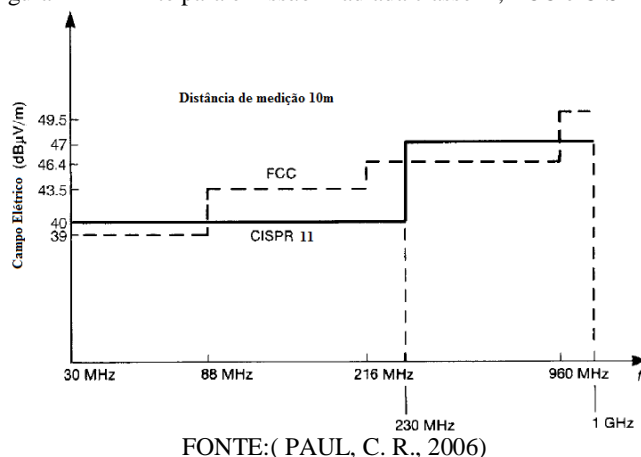
Os requisitos mínimos de emissão conduzida de acordo com as normas FCC e CISPR 11 são mostrados a seguir na Figura 40.



Os requisitos mínimos de emissão irradiada de acordo com as normas FCC e CISPR 11 são mostrados a seguir na Figura 41.



Figura 41 – Limite para emissão irradiada classe A, FCC e CISPR11.



A FCC define que um dispositivo eletrônico digital que trabalhe com pulsos elétricos acima de 9 kHz é coberto pela norma. Esta norma inclui, por exemplo, computadores, calculadoras, telefones, impressoras, modems, e a maioria dos equipamentos eletrônicos utilizados nos dias atuais.

É ilegal comercializar um "dispositivo digital" nos Estados Unidos e Canadá, a menos que as medições de irradiação do equipamento ou sistema estejam dentro dos limites da norma. A FCC considera que o marketing, o transporte e comércio, sob qualquer forma, de um equipamento ou sistema em seu território de abrangência sem cumprir as normas de compatibilidade eletromagnética é sujeito multas ou penas de prisão que podem ser impostas pela violação intencional desta regra.

A norma FCC divide ainda os dispositivos digitais em classe A e classe B. Os dispositivos classe A são aqueles que são comercializados para utilização em um ambiente comercial, industrial ou laboratorial. Dispositivos digitais da classe B são aqueles que são comercializados para utilização num ambiente residencial, não obstante a sua utilização em um ambiente comercial, industrial ou laboratorial. Os limites da Classe B são mais rigorosos do que os limites de classe A sob a suposição de que a interferência de um dispositivo em um ambiente industrial pode ser mais facilmente corrigida do que em um ambiente residencial. Os computadores pessoais e seus periféricos, por exemplo, são uma subcategoria de dispositivos digitais classe B. Eles devem ser testados pelo fabricante e os dados dos testes submetidos à FCC para a certificação.

## 5 RESULTADOS DOS ENSAIOS:

### 5.1 ENSAIO DE EMISSÃO RADIADA – CISPR 11: “*International Electrotechnical Commission – Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*”.

O objetivo desse ensaio é verificar os níveis de emissão radiada do equipamento sob ensaio. A Tabela 10 mostra os limites da norma.

Tabela 10 - Especificações da norma CISPR 11

| Limites quase pico para emissão de perturbação radiada de equipamentos classe A |   |  |
|---|---|--|
| Faixa de Frequências MHz  | Limites dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) para 10 m | Limites dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) para 3 m |
| 30 a 230  | 40  | 50,5   |
| 230 a 1000  | 47  | 57,5   |

#### 5.1.1 Resultados:

O equipamento sob ensaio foi colocado em funcionamento na sua forma usual dentro da câmara semianecóica. A partir dos pontos de maior emissão foram realizadas as leituras em *open-site*.

Os gráficos das Figuras 42 e 43 apresentam os resultados mais significativos dos ensaios iniciais.

Figura 42 – Medida de emissão irradiada frequência de 30MHz à 200MHz

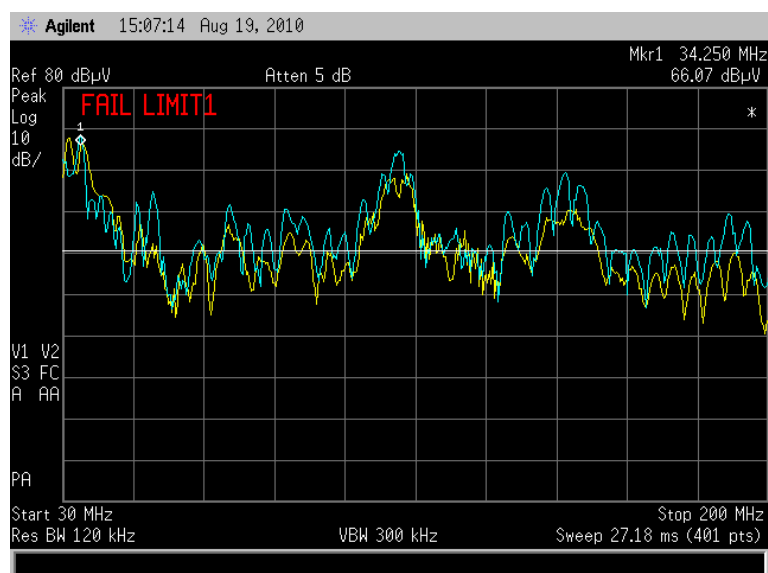
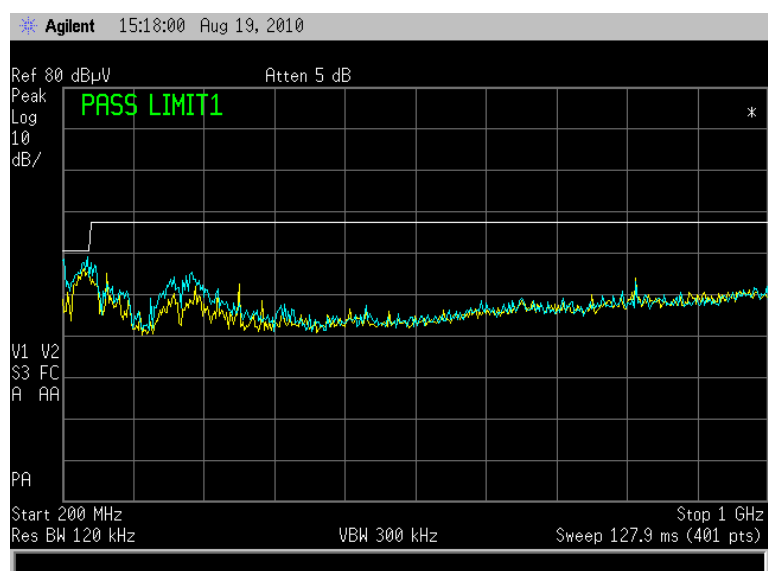


Figura 43 – Medida de emissão irradiada frequência de 200MHz à 1GHz



Conforme mostrado nas Figuras anteriores o equipamento foi reprovado, ultrapassando o limite de emissão na faixa de frequência de 30MHz à 200MHz com picos de até 16dB $\mu$ V/m acima do limite da norma de campo elétrico emitido pelo equipamento.

Muitos testes foram feitos com diversas configurações diferentes no *layout*, nos filtros de entrada e saída das fontes. Além de um estudo minucioso para encontrar a fonte geradora do

ruído. Foram testadas mais de 15 configurações diferentes de filtros e *layouts* somando mais de dois anos de testes e inclusive em laboratórios diferentes. Esses testes trouxeram boa experiência para a solução dos problemas encontrados, sendo que cada alteração diminuía um pouco a emissão do equipamento.

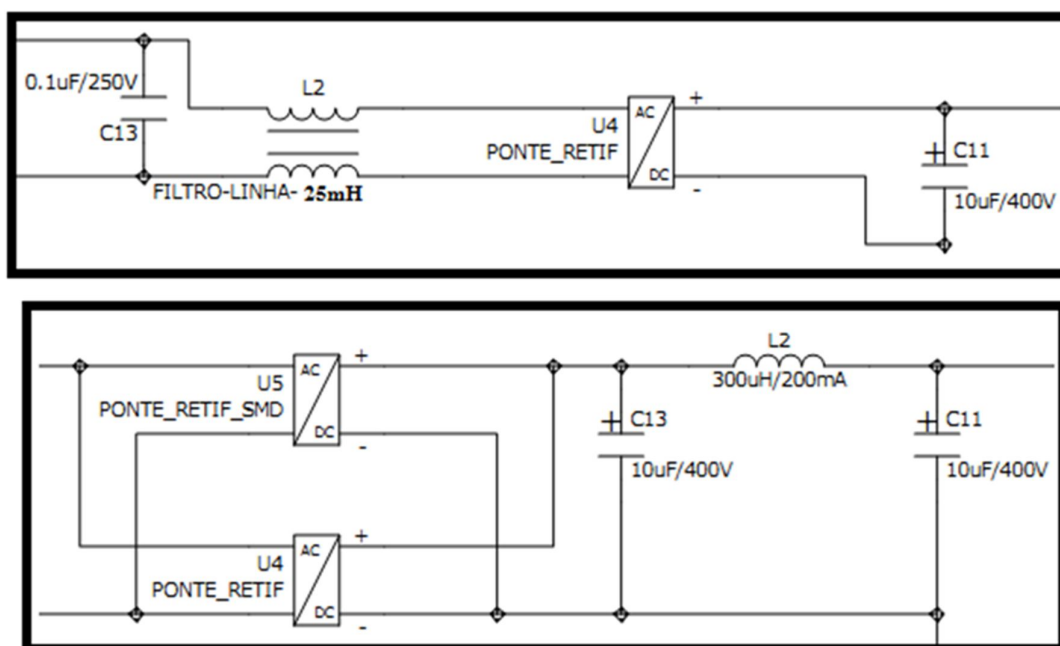
As soluções tiveram mais impacto no ensaio de emissão conduzida que acabou por ficar muito abaixo do esperado, porém a emissão irradiada ficou próxima do limite da norma com critério de avaliação B, ou seja, o equipamento está abaixo do limite especificado pela norma, mas dentro da incerteza de medição dos equipamentos de medição dos laboratórios utilizados (Anexo I).

As alterações mais impactantes nos resultados de emissão irradiada são apresentadas a seguir.

1 – Alteração do filtro de entrada de alimentação do equipamento:

Substituição do capacitor C13 de 1 $\mu$ F e indutor de modo comum L2 de 25mH por filtro  $\pi$  com dois capacitores de 10 $\mu$ F e um indutor de modo diferencial de 300 $\mu$ H.

Figura 44 – alterações do filtro de entrada.

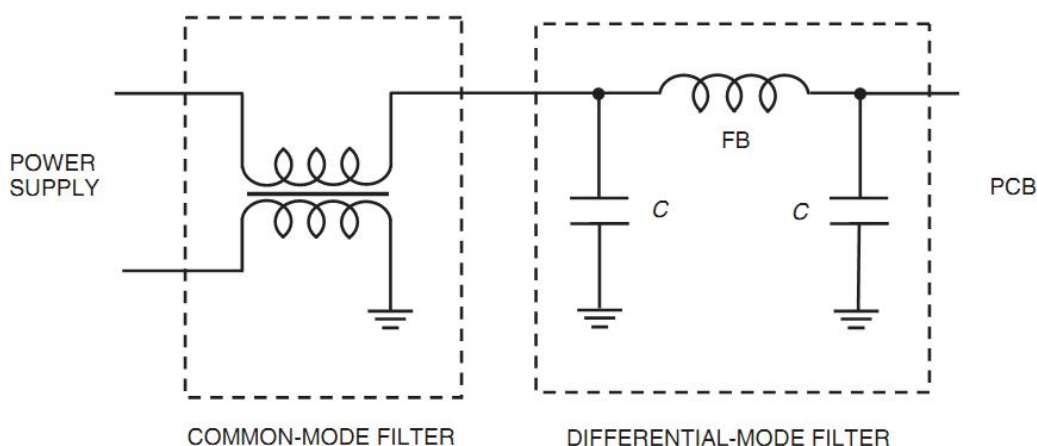


Foi utilizado a teoria da referência (H. OTT, 2009) para o projeto do filtro de entrada, porém nem todos os valores convergem, devido à diferenças nos resultados encontrados e minimização de custos.

### 5.1.2 Filtros de Entrada de Energia

Ruídos externos podem ser conduzidos para a placa de circuito, e o ruído interno pode ser transmitido para fora do equipamento pelos cabos de alimentação AC e CC. Correntes de alta frequência dos circuitos digitais e da fonte chaveada devem limitar-se a placa de lógica digital ou a placa da fonte, e estas correntes não podem fluir para a fiação da rede elétrica nem serem propagadas por radiação. Portanto, um filtro de entrada de energia deve ser uma prática de design padrão. A Figura 45 mostra o circuito de um filtro de entrada de energia típico.

Figura 45 – filtro de entrada de alimentação.



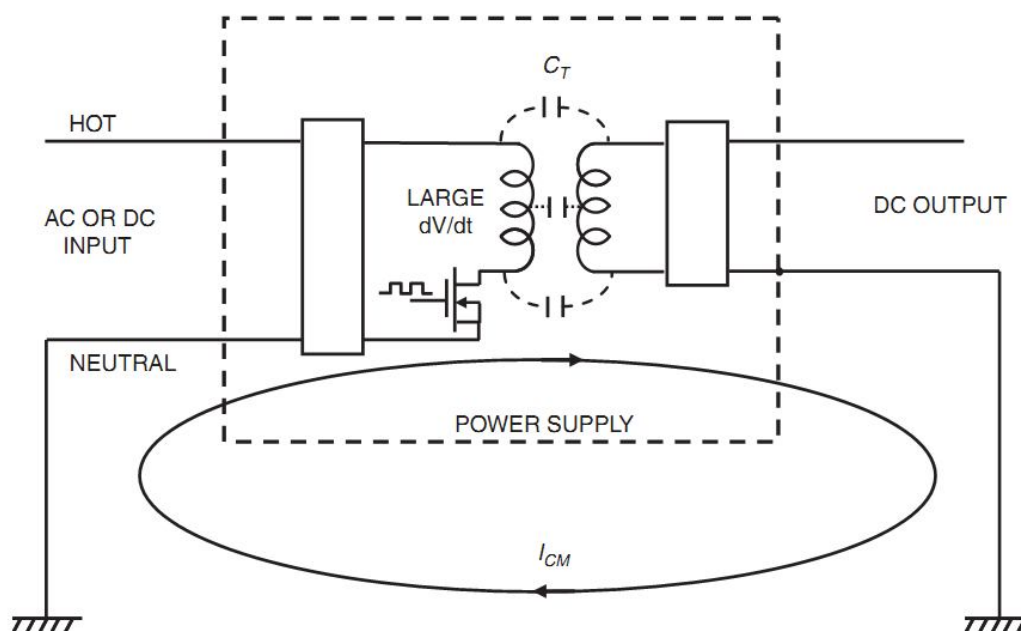
FONTE: (H. OTT, 2009)

O filtro deve conter uma seção de modo diferencial e uma de modo comum. O filtro de modo diferencial é geralmente um filtro  $\pi$  com um indutor em série. Os Valores típicos para os elementos filtrantes, capacitores são de 0,1mF a 0,001 $\mu$ F e um indutor, cuja impedância é entre 50 e 100 $\Omega$  para toda a faixa de frequência de interesse. Nessa aplicação, é de suma importância evitar a saturação do ferrite pela corrente máxima do equipamento. Se um indutor é usado, os valores típicos são de 0,5 a 5 $\mu$ H. O elemento do filtro de modo comum é geralmente um indutor de modo comum localizado na placa de circuito impresso ou um núcleo de ferrite no cabo de alimentação.

### 5.1.3 Acoplamento de Modo Comum Primário-Secundário.

Outro mecanismo pelo qual as correntes de modo comum são geradas em fontes de alimentação é mostrado na Figura. 46.

Figura 46 – exemplo de geração de ruído de modo comum.



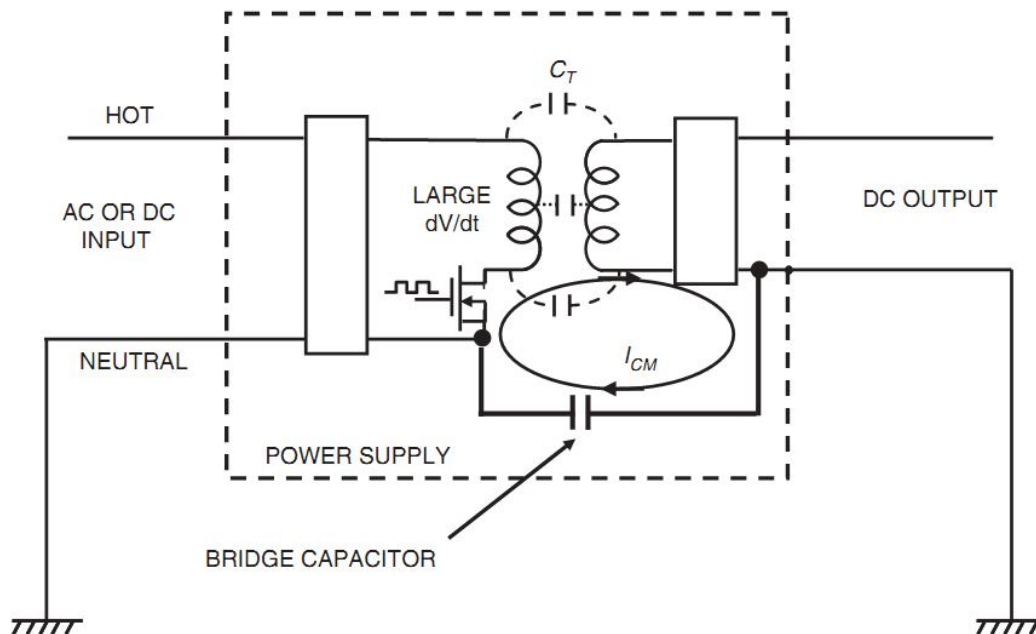
FONTE: (H. OTT, 2009)

Neste caso, o transistor de comutação atua como um gerador de ruído ao produzir uma grande ( $dV/dt$ ), grande variação de tensão no tempo, no enrolamento primário do transformador de potência. A magnitude desta tensão varia entre zero e a tensão de pico. Essa variação de tensão produz uma corrente de modo comum através das capacitâncias parasitas do transformador. Mesmo que o circuito de saída não esteja ligado a terra, este circuito pode ainda existir como resultado da capacitância parasita entre o circuito de saída e terra.

Este modo comum de corrente externa pode ser eliminada ou pelo menos minimizada proporcionando um circuito com menor impedância para essa corrente. Este resultado pode ser conseguido adicionando uma "ponte", capacitor, entre o primário e o secundário comum a terra ou neutro dentro da fonte de alimentação, como mostrado na Figura 47. Este capacitor deve ser aprovado pela agência de segurança porque ele se conecta entre uma das linhas de rede de alimentação e a terra do secundário. Normalmente, um capacitor tipo Y com alta isolamento e valor entre 1000 e 4700 pF. Para ser eficaz, o capacitor de ponte deve ser colocado

no circuito impresso em um local que minimiza a indutância em série com ele, e os traços devem manter um pequeno circuito para a corrente de modo comum.

Figura 47 – Exemplo de capacitor entre fontes



FONTE: (H. OTT, 2009)

#### 5.1.4 Ruído dos Diodos Retificadores de Alta Frequência

Estas fontes de ruído são dos diodos utilizados no processo de retificação dos sinais de alta frequência provenientes da fonte chaveada. Quando um diodo é polarizado diretamente, a carga é armazenada em sua capacitância de junção. Quando o diodo é desligado (polarização reversa), esta carga deve ser removida. Isto é referido como a recuperação inversa do diodo, que produz um acentuado pico negativo sobre a forma de onda de tensão quando o diodo é desligado, o que pode produzir ruído substancial e ser uma fonte de alta frequência de ruído de modo diferencial.

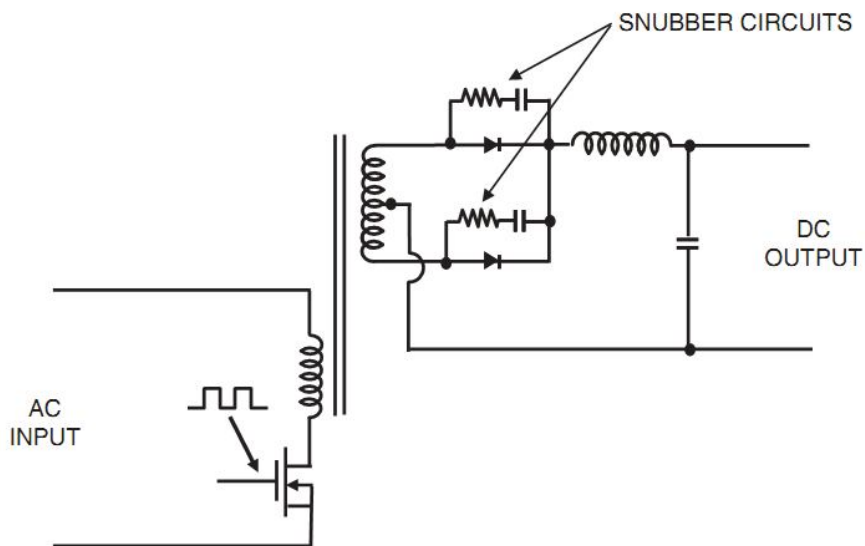
Alguns diodos são diodos de ação rápida e desligam-se rapidamente. Outros diodos são diodos de ação lenta e desligam-se lentamente. Diodos rápidos são normalmente preferidos por projetistas de fontes chaveadas, porque eles dissipam menos energia e são, portanto, mais eficientes. Diodos de ação rápida, no entanto, produzem maior ruído de alta frequência do que diodos lentos.

Os retificadores das fontes dos secundários provocam grande parte das emissões, porque estes diodos operam em frequências e correntes mais elevadas do que retificadores do primário. Estes impulsos de ruído podem ser conduzidos para fora da fonte de alimentação secundária e pode ser acoplado de volta através do transformador de comutação para o lado primário. Em ambos os casos, o ruído do diodo se manifesta como um ruído de modo diferencial.

Uma solução para este ruído de alta frequência produzida pelos diodos de comutação é colocar uma rede de amortecimento de redução de pico através de cada um dos diodos retificadores, como mostrado na Figura 49. A rede de amortecimento é composta de um circuito R C em série. Os valores típicos podem ser 470 pF e 10  $\Omega$ . O amortecedor fornece um caminho de corrente para descarregar a carga armazenada na junção do diodo quando o diodo está desligado como as correntes de alta frequência irão circular no circuito de amortecimento para o diodo, a área deste circuito deve ser mantida tão pequena quanto possível.

Considerando o fato de que um ou o outro dos dois diodos retificadores na Figura 48 está sempre ligado, as duas redes de amortecimento são efetivamente ligadas através de enrolamento secundário do transformador.

Figura 48 – Exemplo de utilização dos *snubbers*.



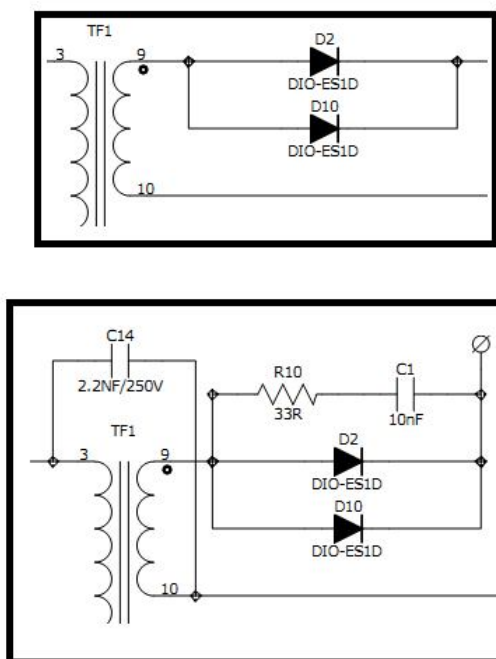
FONTE: (H. OTT, 2009)



Uma rede amortecedora R-C também pode ser utilizada através do transistor de comutação para reduzir o sinal de chaveamento da fonte. Embora o amortecimento possa ser muito eficaz na redução de ruído também existem efeitos colaterais indesejáveis associados a eles, tais como o aumento da dissipação de energia.

Na Figura 49 são mostradas as alterações feitas no Fieldlogger resultando em boa supressão da emissão de ruído irradiado.

Figura 49 – Soluções implementadas no Fieldlogger: snubber nos retificadores de alta frequência e capacitor entre fontes.



Foram feitas diversas outras alterações como *snubber* no transistor da fonte chaveada, introdução de capacitores de desacoplamento, blindagem do transformador e mudanças no layout, mas não tiveram um resultado satisfatório, portanto não foram implementadas.

A Tabela 11 mostra os maiores níveis de emissão encontrados em open-site após as alterações.

Tabela 11 – Maiores níveis de emissão encontrados

| Frequência | Polaridade da antena | Nível medido<br>[dB $\mu$ V/m] | Limite da<br>norma<br>[dB $\mu$ V/m] | Comparação com o<br>limite<br>[dB] |
|------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 105,88     | Horizontal           | 41                             | 50,5                                 | -9,5                               |
| 105,96     | Horizontal           | 39                             | 50,5                                 | -11,5                              |
| 110,88     | Horizontal           | 38                             | 50,5                                 | -12,5                              |
| 131,48     | Horizontal           | 35                             | 50,5                                 | -15,5                              |
| 136,28     | Horizontal           | 33                             | 50,5                                 | -17,5                              |
| 139,32     | Horizontal           | 40                             | 50,5                                 | -10,5                              |
| 139,44     | Horizontal           | 41                             | 50,5                                 | -9,5                               |
| 139,52     | Horizontal           | 42                             | 50,5                                 | -8,5                               |
| 147,64     | Horizontal           | 45                             | 50,5                                 | -5,5                               |
| 152,52     | Horizontal           | 47                             | 50,5                                 | -3,5                               |
| 155,56     | Horizontal           | 43                             | 50,5                                 | -7,5                               |
| 75,6       | Vertical             | 34                             | 50,5                                 | -16,5                              |
| 105,16     | Vertical             | 42                             | 50,5                                 | -8,5                               |
| 130,36     | Vertical             | 36                             | 50,5                                 | -14,5                              |
| 135,32     | Vertical             | 38                             | 50,5                                 | -12,5                              |
| 138,56     | Vertical             | 38                             | 50,5                                 | -12,5                              |
| 151,44     | Vertical             | 36                             | 50,5                                 | -14,5                              |

Para o ensaio de emissão radiada o equipamento foi classificado como critério B de acordo com o Anexo I - Critérios para Análise de Resultados Para Ensaio de Emissão Irradiada e Conduzida.

A incerteza associada ao ensaio é de  $\pm 5,4$ dB.

**5.2 ENSAIO DE EMISSÃO CONDUZIDA - CISPR 11: “International Electrotechnical Commission – Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement”.**

Este ensaio tem por objetivo verificar os níveis de emissão conduzida gerados pelo item ensaiado.

A Tabela 12 mostra os limites para equipamentos classe B e classe A.

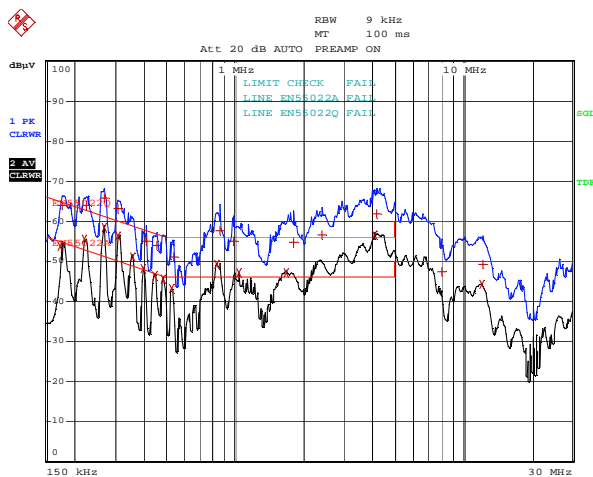
Tabela 12 - Especificações da norma CISPR 11

| Faixa de Frequências (MHz) | Limites para equipamentos classe B<br>[dB $\mu$ V] |         |
|----------------------------|--|---------|
|                            | Quase-pico   | Médio   |
| 0,15 a 0,50                | 66 a 56  | 56 a 46 |
| 0,50 a 5                   | 56   | 46      |
| 5 a 30                     | 60   | 50      |
| Faixa de Frequências (MHz) | Limites para equipamentos classe A [dB $\mu$ V]    |         |
|                            | Quase-pico   | Médio   |
| 0,15 a 0,50                | 79   | 66      |
| 0,50 a 30                  | 73   | 60      |

### 5.2.1 Resultados:

Na Figura 50 é mostrado o gráfico com a tabela dos valores encontrados nas primeiras medições de emissão conduzida. O gráfico mostra que o equipamento está emitindo ruído além do especificado pela norma para classe B, porém abaixo para classe A.

Figura 50 – Gráfico com medições do ensaio de emissão conduzida.



Date: 6.AUG.2010 15:30:19

A Tabela 13 mostra os valores medidos no teste.

Tabela 13 – Valores medidos

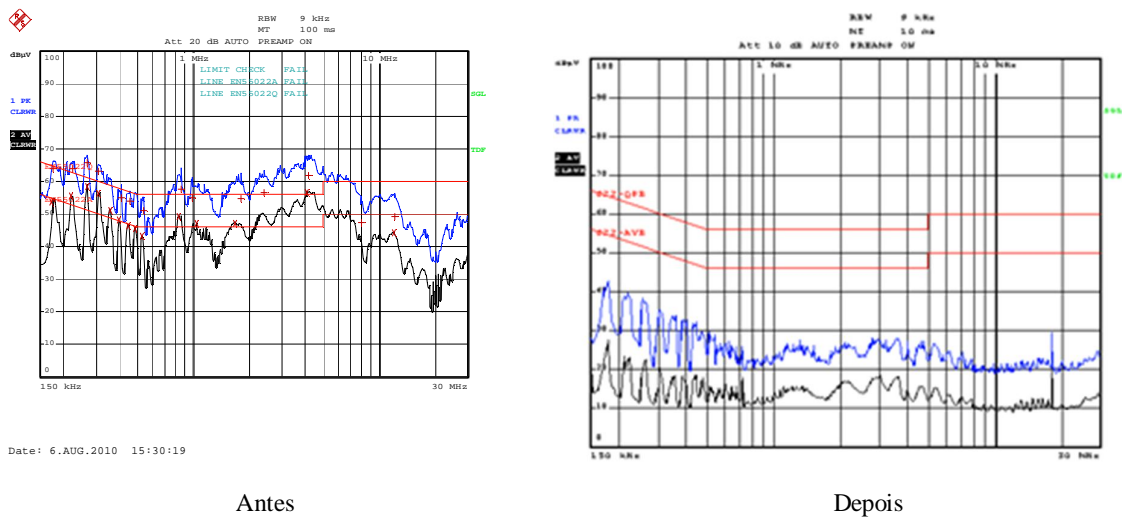
| Frequência<br>[Hz] | Valor médio<br>[dBμV] | ΔLimite<br>[dBμV] |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 174.000            | 53.753.029            | -1.014.219        |
| 178.000            | 63.927.101            | -0.651370         |
| 222.000            | 55.526.840            | 2.783.077         |
| 226.000            | 64.020.775            | 1.425.334         |
| 266.000            | 65.666.901            | 4.424.990         |
| 266.000            | 58.388.298            | <b>7.146.387</b>  |
| 306.000            | 63.164.360            | 3.086.004         |
| 310.000            | 56.318.932            | <b>6.348.445</b>  |
| 354.000            | 50.926.971            | 2.058.874         |
| 394.000            | 48.130.432            | 0.151507          |
| 406.000            | 54.944.870            | -2.784.861        |
| 442.000            | 46.408.592            | -0.615502         |
| 450.000            | 54.067.184            | -2.807.923        |
| 482.000            | 45.609.077            | -0.695448         |

|            |            |                   |
|------------|------------|-------------------|
| 526.000    | 43.202.454 | -2.797.546        |
| 534.000    | 51.011.063 | -4.988.937        |
| 830.000    | 49.199.707 | 3.199.707         |
| 858.000    | 57.651.539 | 1.651.539         |
| 986.000    | 55.029.594 | -0.970406         |
| 1.042.000  | 47.213.943 | 1.213.943         |
| 1.674.000  | 47.098.358 | 1.098.358         |
| 1.806.000  | 54.688.042 | -1.311.958        |
| 2.406.000  | 56.654.827 | 0.654827          |
| 4.078.000  | 56.457.424 | <b>10.457.424</b> |
| 4.154.000  | 61.844.917 | <b>5.844.917</b>  |
| 8.026.000  | 47.294.090 | -12.705.910       |
| 12.014.000 | 44.331.970 | -5.668.030        |
| 12.246.000 | 49.105.125 | -10.894.875       |

Após verificada a falha do equipamento no ensaio de emissão irradiada diversos layouts foram criados a partir de *application notes* dos fabricantes do CI de controle e das referências citadas na parte de emissão irradiada, porém as soluções encontradas se basearam nas seguintes alterações: colocado capacitor Y1 de alta isolação entre as fontes do equipamento e introduzido filtro  $\pi$  o que ocasionou em uma redução de mais de 10dB de atenuação nas emissões conduzidas.

Após as correções feitas principalmente para a correção das emissões irradiadas o equipamento diminuiu consideravelmente a emissão de ruído conduzido conforme mostrado na Figura 51.

Figura 51 – Resultado das alterações

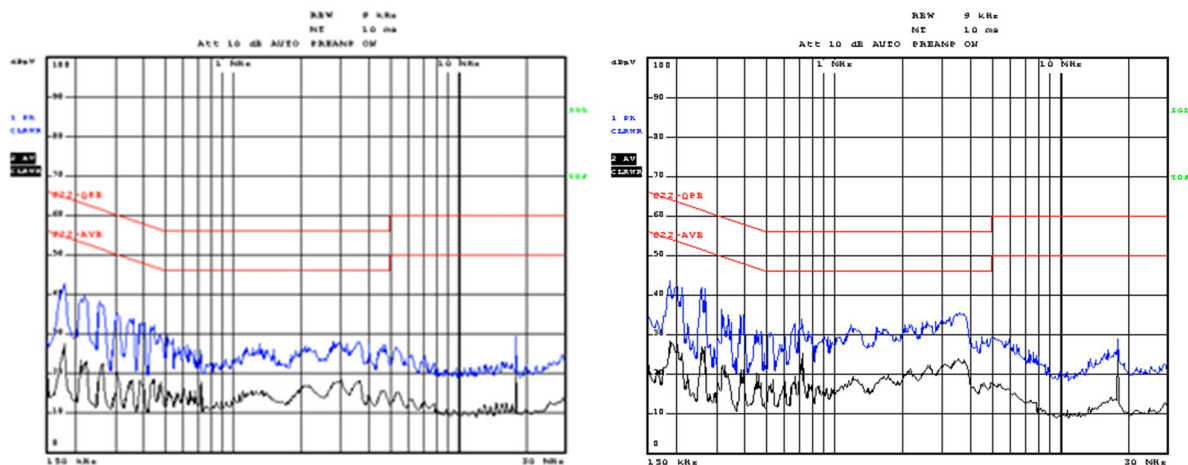


Date: 6.AUG.2010 15:30:19

O ensaio foi executado com o equipamento alimentado por 127VAC e 220VAC.

A Figura 52 mostra os gráficos com as medições finais do projeto.

Figura 52 - Gráficos com as medições finais do projeto.



Os níveis de emissão foram classificados como critério A de acordo com o Anexo I - Critérios para Análise de Resultados Para Ensaio de Emissão Radiada e Conduzida. A incerteza da medição associada ao ensaio é de  $\pm 3,45$ dB.

**5.3 ENSAIO DE IMUNIDADE À DESCARGA ELETROSTÁTICA – ESD:**  
**“*Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*”.**

Este ensaio tem por objetivo submeter o item ensaiado a descargas eletrostáticas que simulam os efeitos provocados pelo corpo humano, aplicadas em pontos de acesso ao operador. Foram aplicadas 10 descargas simples, pelo ar e por contato, de modo direto e indireto, perpendicularmente a cada ponto de teste, com intervalo de 1 segundo entre cada descarga.

A Tabela 14 apresenta as especificações da norma.

Tabela 14 - Especificações da norma IEC 61000-4-2, aplicáveis neste ensaio.

| Parâmetros do ensaio           | Especificações   |
|--------------------------------|--|
| Classe de severidade           | descarga pelo ar – III e II<br>descarga por contato – II |
| Tensão de descarga pelo ar     | 8kV e 4kV  |
| Tensão de descarga por contato | 4kV  |
| Polaridade da ponteira         | Positiva e negativa                                      |
| Capacitância da ponteira       | 150 pF   |
| Modo de aplicação              | Direto e indireto  |
| Resistência da ponteira        | 330 $\Omega$   |

**5.3.1 Resultados:**

A Tabela 15 mostra os resultados do ensaio.

Tabela 15 - Resultados do ensaio.

| Ponto de aplicação                         | Nível de tensão | Modo de aplicação | Ocorrências                              |
|--|-----------------|-------------------|--|
| Superfície externa plástica frontal/botões | +8kV            | Direto pelo ar    | Equipamento parou de funcionar (queimou) |
|  | -8kV            | Direto pelo ar    | Equipamento parou de funcionar (queimou) |

|                             |      |                      |  |
|-----------------------------|------|----------------------|--|
| Demais superfícies externas | +4kV | Direto pelo ar       | Sem ocorrências                          |
|                             | -4kV | Direto pelo ar       | Sem ocorrências                          |
| Conector USB                | +4kV | Direto por contato   | Equipamento parou de funcionar (queimou) |
|                             | -4kV | Direto por contato   | Equipamento parou de funcionar (queimou) |
| Conector Ethernet           | +4kV | Direto por contato   | Equipamento parou de funcionar (queimou) |
|                             | -4kV | Direto por contato   | Equipamento parou de funcionar (queimou) |
| Etiqueta metálica           | +4kV | Direto por contato   | Sem ocorrências                          |
|                             | -4kV | Direto por contato   | Sem ocorrências                          |
| Plano horizontal            | +4kV | Indireto por contato | Sem ocorrências                          |
|                             | -4kV | Indireto por contato | Sem ocorrências                          |
| Plano vertical              | +4kV | Indireto por contato | Sem ocorrências                          |
|                             | -4kV | Indireto por contato | Sem ocorrências                          |

Durante o ensaio o equipamento mostrou susceptibilidade à descargas eletrostática em diversos pontos:

1 – O equipamento queimou quando aproximado a ponteira de prova da parte inferior do equipamento.

2 – O equipamento queimou quando o surto foi aplicado nos conectores Ethernet.

3 – O equipamento queimou quando o surto foi aplicado nos conectores USB.

Foram testados diodos TVS que são descritos na seção 5.3.2 como forma de proteção do equipamento.



### 5.3.2 Diodos TVS (*Transient Supressor Voltage*)

A proteção de cabos de sinal pode ser conseguida com a adição de diodos de supressão de transiente de tensão (TVS). O diodo tvs é semelhante a um diodo de zener, mas com uma área maior de junção pn que é protegida contra as altas correntes dos transientes de tensão.

Os três parâmetros mais importantes de diodos TVS são os seguintes:

1 Tensão de trabalho

2 Tensão de ruptura

3 Máximo pico de corrente

Diodos de supressão de transientes de tensão estão disponíveis em configurações tanto unidirecional quanto bidirecional. Na seleção de um díodo TVS, a tensão de trabalho do diodo deve ser maior do que a máxima tensão de trabalho do circuito a ser protegido para garantir que o diodo não corte o sinal de tensão do circuito.

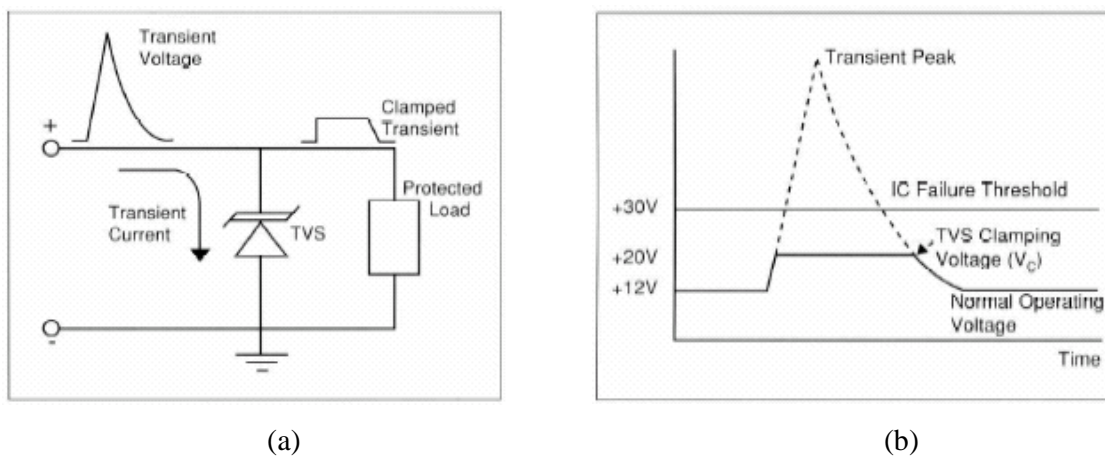
A tensão de ruptura representa a tensão em que o diodo irá grampear a corrente, ou seja a corrente do transiente de tensão será grampeada pelo diodo TVS protegendo o circuito. Esta é a tensão que o circuito protegido deve ser capaz de suportar, sem danos, durante o transitório.

A corrente de pico é a corrente máxima de transiente que o diodo pode tolerar sem danos. A adição de impedância em série para o circuito tal como uma resistência, antes do o diodo TVS vai ajudar a limitar o pico de corrente através do diodo.

Os diodos TVS devem ter uma conexão de baixa indutância a terra para efetivamente desviar a energia transiente dos circuitos susceptíveis.

A Figura 53 (a) apresenta o funcionamento de um diodo TVS no circuito e a Figura 53 (b) a forma do pulso depois do supressor.

Figura 53 – Funcionamento do diodo TVS.



Fonte:(Protek Devices TVS component fundamentals)

Assim foram aplicados diversos diodos TVS para a proteção dos circuitos danificados conforme mostrado nas Figuras 54, 55 e 56.

Figura 54 – Diodo TVS protegendo a entrada de sinais analógicos.

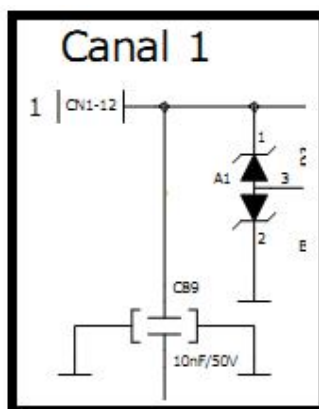


Figura 55 – Diodos TVS protegendo a entrada USB.

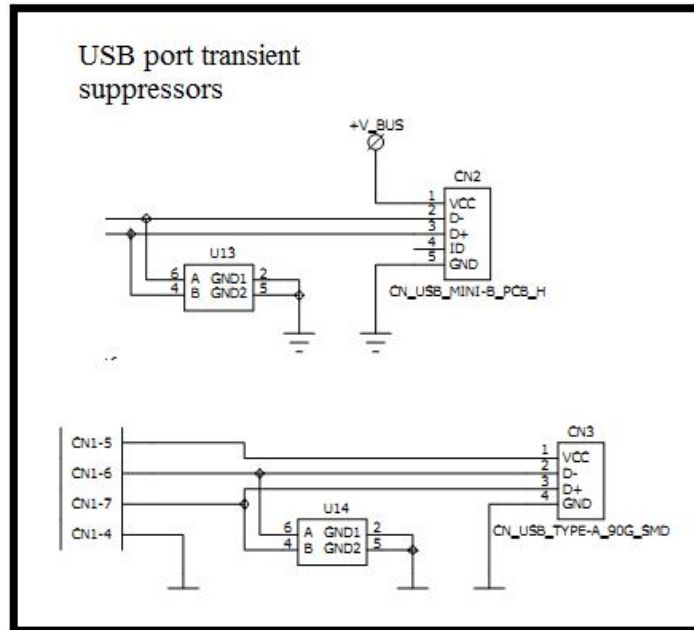
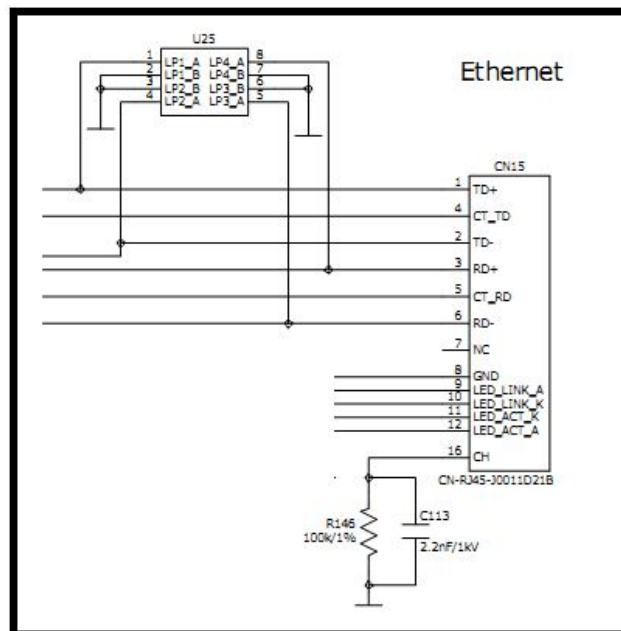


Figura 56 – Diodos TVS protegendo a entrada Ethernet.



### 5.3.3 RESULTADOS

A Tabela 16 mostra os resultados do ensaio após as alterações.

Tabela 16 - Resultados do ensaio ESD.

| Ponto de aplicação                         | Nível de tensão | Modo de aplicação    | Ocorrências     |
|--|-----------------|----------------------|-----------------|
| Superfície externa plástica frontal/botões | +8kV            | Direto pelo ar       | Sem ocorrências |
|  | -8kV            | Direto pelo ar       | Sem ocorrências |
| Demais superfícies externas                | +4kV            | Direto pelo ar       | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Direto pelo ar       | Sem ocorrências |
| Conector USB                               | +4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
| Conector Ethernet                          | +4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
| Etiqueta metálica                          | +4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Direto por contato   | Sem ocorrências |
| Plano horizontal                           | +4kV            | Indireto por contato | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Indireto por contato | Sem ocorrências |
| Plano vertical                             | +4kV            | Indireto por contato | Sem ocorrências |
|  | -4kV            | Indireto por contato | Sem ocorrências |

Durante o ensaio a indicação de leitura dos canais analógicos do equipamento permaneceram as mesmas não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

### 5.4 ENSAIO DE IMUNIDADE À RÁDIO FREQUÊNCIA RADIADA: IEC 61000-4-3: “Electromagnetic Compatibility - (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test”

Este ensaio tem por objetivo, verificar a imunidade do item ensaiado, quando submetido a campos eletromagnéticos irradiados.

O equipamento apresentou variações nos valores lidos das entradas analógicas e perdeu algumas funções básicas de comunicação e processamento quando aplicados os campos de rádio frequência.

Para solucionar o problema foram colocados capacitores de desacoplamento e capacitores especiais de desacoplamento chamados X2Y descritos a seguir.

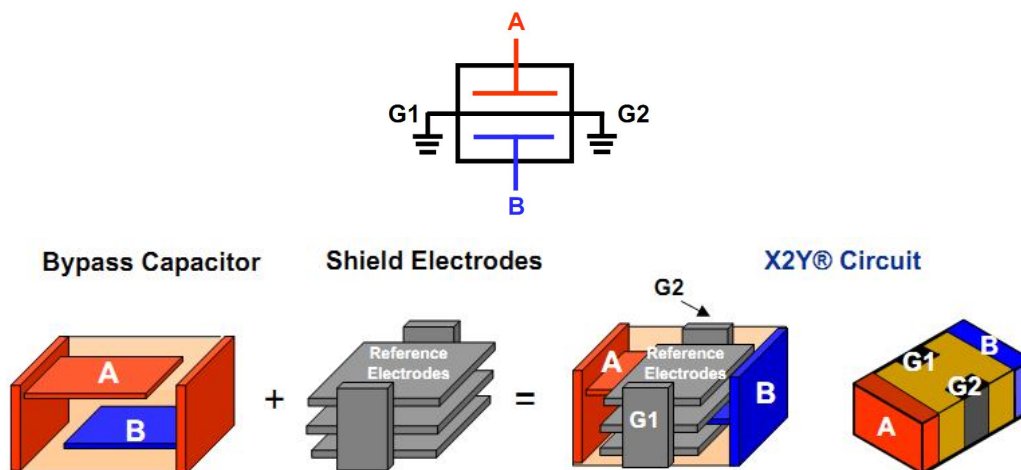
#### 5.4.1 CPACITORES SUPRESSORES DE RUÍDO X2Y

A estrutura dos capacitores X2Y consiste em:

1. Um capacitor de desacoplamento padrão.
2. Um conjunto de eletrodos de “referência” paralelos.
3. Duas terminações laterais, chamados de G1 e G2, que são ligados aos eletrodos de referência.

As terminações laterais combinam com os eletrodos de referência paralelos para formar uma estrutura semelhante a uma Gaiola de Faraday que rodeia e separa os eletrodos A e B um do outro. Este arranjo de eletrodos constitui o fundamento básico de qualquer novo Capacitor X2Y.

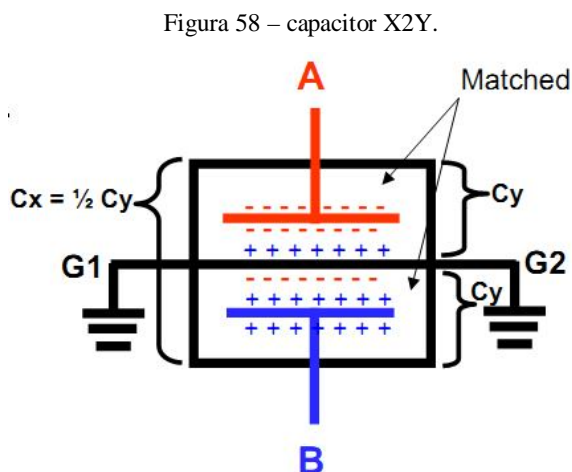
Figura 57 – capacitor X2Y.



FONTE: (X2Y Technology in Balance; 2003)

A inserção de eletrodos de referência paralelas dentro do capacitor de desacoplamento divide um único dispositivo desbalanceado, criando um dispositivo balanceado. O dispositivo equilibrado é composto por duas metades nominalmente idênticas.

A Figura 58 mostra a divisão das capacitâncias em um capacitor X2Y



FONTE: (X2Y Technology in Balance; 2003)

O desenho do capacitor X2Y é semelhante a uma estrutura retangular coaxial dupla a Gaiola de Faraday interna forma um recipiente blindado para cada um dos condutores no interior do capacitor e em alta frequência. O ruído do circuito irá escolher o caminho de baixa impedância para a terra e as correntes opostas de ruído irão se cancelar

São mostradas as alterações feitas no equipamento afim de reduzir a susceptibilidade à RF irradiada.

A Figura 59 mostra os diversos capacitores de desacoplamento colocados no circuito afim de reduzir a susceptibilidade à RF.

A Figura 60 mostra um capacitor X2Y na entrada do sinal analógico também para a proteção contra RF.

Figura 59 – Capacitores X2Y e de desacoplamento acrescentados no equipamento.

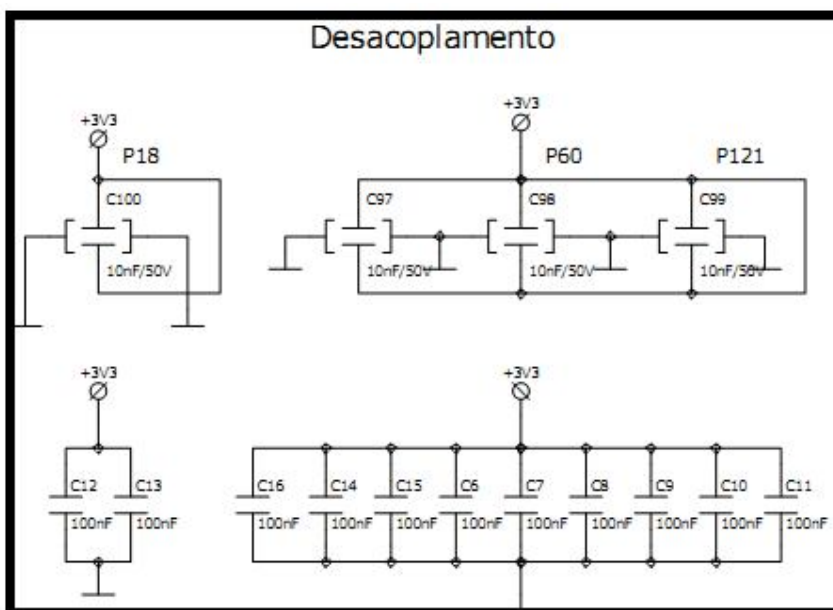
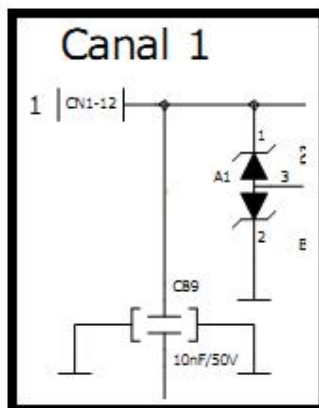


Figura 60 – Capacitores X2Y na entrada analógica.



A Tabela 17 apresenta as especificações da norma.

Tabela 17 – Especificações do ensaio

| Parâmetros do ensaio                 | Especificações |
|--------------------------------------|----------------|
| Classe de severidade                 | II             |
| Intensidade do campo (sem modulação) | 3 V/m          |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Modo de Aplicação                | Quatro faces, polarização horizontal e vertical |
| Faixa de Freqüências             | 80MHz a 2000MHz                                 |
| Modulação                        | AM (1KHz e 80%)                                 |
| Comprimento de exposição do cabo | 1m  |

#### 5.4.2 RESULTADOS:

A Tabela 18 mostra os resultados do ensaio para um tempo de aplicação de 3 segundos em cada frequência.

Tabela 18 – Resultados do ensaio

| Indicação da temperatura sem aplicação de radiofrequência | Polarização | Face ensaiada | Faixa de frequências | Frequências em que o equipamento foi afetado | Indicação das entradas analógicas com aplicação de radiofrequência |
|---|-------------|---------------|----------------------|--|--|
| 29°C<br>215°C   | Vertical    | Frontal       | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Direita       | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Posterior     | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Esquerda      | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   | Horizontal  | Frontal       | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Esquerda      | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Posterior     | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |
|   |             | Direita       | 80MHz - 1GHz         | Sem ocorrências                              | 29°C<br>215°C  |



Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

**5.5 ENSAIO DE IMUNIDADE A TRANSIENTES ELÉTRICOS RÁPIDOS – BURST – IEC61000-4-4: “*Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurements techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*”**

Neste ensaio o item é submetido a injeções de distúrbios elétricos, ou seja, transientes elétricos de elevada amplitude e alta taxa de repetição, que são aplicados de forma direta nos circuitos de alimentação e indireta nos circuitos dos sensores. A Tabela 19 apresenta as especificações da norma aplicáveis para este ensaio.

Tabela 19 – Especificações da norma aplicáveis para este ensaio

| Parâmetros do Ensaio     | Especificações                                    |
|--------------------------|---|
| Nível de severidade      | IV – alimentação<br>II – linha de sinais          |
| Tensão de aplicação      | linha alimentação – 4kV<br>linha de sinais – 500V |
| Modo de aplicação        | Direto e indireto (calha capacitiva)              |
| Polaridade               | Positiva e negativa                               |
| Tempo de subida 1º pulso | 5 ns $\pm$ 30%                                    |
| Duração do transiente    | 15ms $\pm$ 20%                                    |
| Período de transientes   | 300 ms $\pm$ 20%                                  |
| Taxa de repetição        | 5kHz  |
| Tempo de aplicação       | >60s  |
| Impedância do gerador    | 50 $\Omega$ $\pm$ 20%                             |

### 5.5.1 RESULTADOS

Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

A Tabela 20 mostra os resultados do ensaio de *Burst*.

Tabela 20 – Resultados do ensaio.

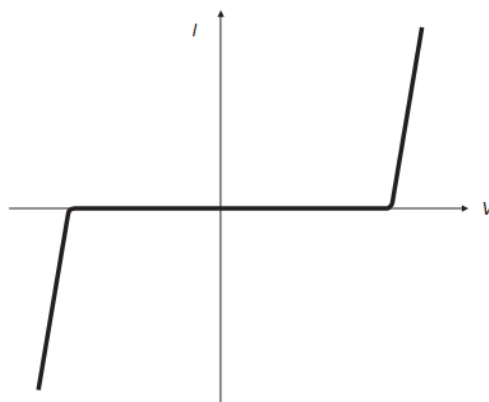
| Circuito aplicado | Indicação de temperatura sem aplicação do distúrbio | Nível de tensão | Modo de aplicação      | Indicação com aplicação do distúrbio |
|-------------------|---|-----------------|------------------------|--------------------------------------|
| Fase + neutro     | 29°C<br>215°C                                       | +4kV            | Direto                 | 29°C<br>215°C                        |
|                   |   | -4kV            | Direto                 | 29°C<br>215°C                        |
| Linha do sensor   |   | +500V           | Acoplamento capacitivo | 29°C<br>215°C                        |
|                   |   | -500V           | Acoplamento capacitivo | 29°C<br>215°C                        |

Para esse ensaio foi utilizado proteção contra surtos que seguem descritas a seguir.

### 5.5.2 Supressor de Transientes SURGE Varistor de Óxido Metálico (MOV).

Varistores de óxido metálico são resistências variáveis com a tensão (não-lineares) fabricados a partir de várias misturas de óxidos de zinco, em que a resistência diminui quando a tensão através do dispositivo excede o nível de limiar. Uma curva típica de V-I para o Varistor é mostrada na Figura 64.

Figura 61 – Relação típica de tensão X corrente de varistores MOV.



FONTE: (H. OTT, 2009)

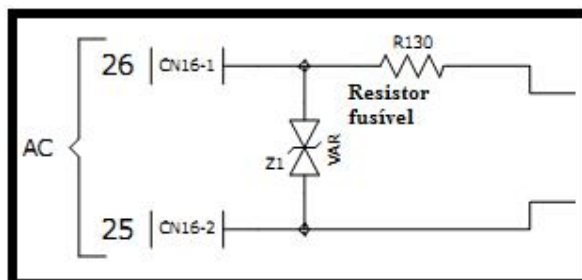
Como pode ser observado, o varistor é um dispositivo bipolar simétrico em ambas as tensões positivas e negativas. A tensão de ruptura é geralmente definida como a tensão em que a corrente através do varistor ultrapassa 1 mA. Toda a energia do pulso transiente *surge* deve ser dissipado no varistor.

MOVs tradicionais são mais comumente usados em linhas de energia AC. Seu tempo de resposta é mais lento do que os diodos TVS e mais rápido do que os tubos de gás. Eles têm tempos de resposta na ordem das centenas de nano segundos, o que é rápido o suficiente para o Transiente de *surge*, mas não costuma ser rápido o suficiente para ESD. Eles podem tolerar picos de correntes na ordem das centenas, ou milhares, de ampères e pode dissipar dezenas de Joules ou mais de energia.

Os MOVs degradam gradualmente quando submetidos a picos de correntes, que normalmente não é um problema, porque eles suportam alguns milhões de descargas. De todas as proteções, os MOVs são o melhor dispositivo para a proteção da linha de alimentação AC de equipamentos eletrônicos contra surtos de alta energia. Geralmente não são indicados para surtos burst, mas as novas tecnologias abrangem também os transientes rápidos.

A Figura 65 mostra a inserção do varistor na entrada de alimentação do FieldLogger.

Figura 62 – Proteção contra surtos Varistor.



### 5.6 ENSAIO DE IMUNIDADE A SURTOS DE TENSÃO – *SURGE* – IEC61000-4-5: “Testing and measurement techniques – Surge immunity test”.

Neste ensaio o item é submetido a injeções de distúrbios elétricos de alta tensão, simulando transientes originados de descargas atmosféricas. A Tabela 21 apresenta as especificações da norma.

Tabela 21 – Especificações da norma IEC 61000-4-5 utilizadas no ensaio.

| Parâmetros do Ensaio                        | Especificações  |                   |
|---|---|-------------------|
| Nível de severidade                         | IV  |                   |
| Tensão de aplicação em linha de alimentação | Modo diferencial<br>2kV                               | Modo comum<br>4kV |
| Modo de aplicação                           | Direto  |                   |
| Polaridade                                  | Positiva e negativa                                   |                   |
| Limite de Corrente                          | 0,250 a 2,0 kA  |                   |
| Duração do transiente                       | 1,2 x 50 $\mu$ s                                      |                   |
| Tempo entre pulsos                          | 60s   |                   |
| Numero de pulsos                            | 5 em cada polaridade                                  |                   |
| Impedância do gerador                       | 12 $\Omega$ modo comum<br>2 $\Omega$ modo diferencial |                   |

### 5.6.1 RESULTADOS

Nos primeiros ensaios no protótipo da fonte sem as proteções recomendadas o equipamento queimou. Acrescentado a proteção citada na seção 5.5.2 (Varistor de óxidos metálicos (MOVs)) o equipamento funcionou normalmente durante os surtos.

Foram aplicados distúrbios na alimentação em modo diferencial entre fase e neutro.

A Tabela 22 mostra os resultados do ensaio.

Tabela 22 - Resultados do ensaio

| Circuito aplicado | Indicação de temperatura sem aplicação do distúrbio | Nível de tensão | Indicação com aplicação do distúrbio |
|-------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| fase + neutro     | 29°C<br>215°C                                       | +2kV            | 29°C<br>215°C                        |
|                   |   | -2kV            | 29°C<br>215°C                        |

Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

### **5.7 ENSAIO DE IMUNIDADE À RADIOFREQUÊNCIA CONDUZIDA – IEC61000-4-6: “*Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and Measurements Techniques – Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields*”**

Este ensaio tem por objetivo submeter o item ensaiado a distúrbios conduzidos nos terminais de energia elétrica, sendo induzidos por campos de radiofrequência. A Tabela 23 mostra as especificações da norma.

Tabela 23 - Especificações da norma IEC 61000-4-6, aplicáveis neste ensaio.

| Parâmetros do ensaio          | Especificações |
|-------------------------------|----------------|
| Nível de severidade           | II e III       |
| Nível de tensão sem modulação | 3 e 10Vrms     |
| Faixa de frequências          | 150KHz – 80MHz |
| Modulação                     | AM 80% 1kHz    |

### 5.7.1 RESULTADOS:

O equipamento apresentou variações nos valores lidos das entradas analógicas e perdeu algumas funções básicas de comunicação e processamento quando aplicados os campos de rádio frequência conduzidos.

Para tanto foram colocados capacitores de desacoplamento e capacitores especiais de desacoplamento chamados X2Y conforme descrito na seção 5.4.1.

A Tabela 24 mostra os resultados do ensaio após as alterações.

Tabela 24 - Resultados do ensaio.

| Circuito aplicado | Indicação de temperatura sem aplicação do distúrbio | Faixa de frequências | Nível de tensão | Indicação com aplicação do distúrbio |
|-------------------|---|----------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Alimentação       | 24°C<br>215°C                                       | 150kHz~80MHz         | 10V             | 24°C<br>215°C                        |

Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

**5.8 ENSAIO DE IMUNIDADE À CAMPO MAGNÉTICO CONFORME NORMA IEC 61000-4-8 –“*Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and Measurements Techniques – Power frequency magnetic field immunity test*”**

Este ensaio tem por objetivo, verificar a imunidade do item ensaiado, quando submetido a campos magnéticos na frequência de 50Hz e 60Hz aplicados em equipamentos e sistemas eletroeletrônicos.

A Tabela 25 apresenta as especificações da norma.

Tabela 25 - Especificações da norma IEC 61000-4-8.

| Parâmetros do ensaio           | Especificações |
|--------------------------------|----------------|
| Classe de severidade           | IV             |
| Intensidade do campo magnético | 30A/m          |
| Período de aplicação           | 60 segundos    |
| Pontos de imersão              | 3 eixos        |

**5.8.1 RESULTADOS:**

Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.

**5.9 ENSAIO DE IMUNIDADE A REDUÇÃO E À INTERRUPÇÃO DE TENSÃO, CONFORME NORMA IEC 61000-4-11, “*Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and Measurements Techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*”.**

Neste ensaio o item é submetido a interrupções e reduções de tensão simulando falhas da rede elétrica. O ensaio foi realizado com a tensão de operação mínima e máxima especificada pelo fabricante.

A Tabela 26 apresenta as especificações da norma

Tabela 26 – Especificações da norma IEC 61000-4-11.

| Parâmetros do Ensaio                                  | Porcentagem de redução |
|---|------------------------|
| Nível de tensão<br>$U_t=100V_{ca}$<br>$U_t=240V_{ca}$ | 100% = 0V<br>100% = 0V |
| Variação de tensão                                    | 100V<br>240V           |
| Duração em períodos(T)                                | $t_s = 0,6 T$ (10ms)   |
| Ângulos de aplicação                                  | 0° e 180°              |
| Número de interrupções                                | 3                      |

### 5.9.1 RESULTADOS:

A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos durante o ensaio.

Tabela 27 – Resultados do ensaio.

| Tensão de alimentação | Porcentagem de redução | Tempo de interrupção | Ângulo da interrupção | Resultado       |
|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| 100Vca                | 100% = 0V              | 0,6T (10ms)          | 0°                    | Operação normal |
|                       |                        |                      | 180°                  | Operação normal |
| 240Vca                | 100% = 0V              | 0,6T (10ms)          | 0°                    | Operação normal |
|                       |                        |                      | 180°                  | Operação normal |

Durante o ensaio a indicação de temperatura permaneceu a mesma não sendo observadas quaisquer anormalidades no funcionamento do equipamento durante o ensaio. Após o fim do ensaio o equipamento operou normalmente.



## 5.10 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS:

A Tabela 28 mostra a interpretação dos resultados conforme os critérios dos Anexos III e VI.

Tabela 28: Interpretação dos ensaios.

| Ensaio   | Critério de classificação |
|--|---------------------------|
| Ensaio de limite de emissão radiada<br>CISPR11 – Classe A  | B                         |
| Ensaio de limite de emissão conduzida<br>CISPR11 – Classe A  | A                         |
| Ensaio de Imunidade à Descarga Eletrostática – nível II: $\pm 4\text{kV}$ contato<br>nível III: $\pm 8\text{kV}$ ar<br>IEC61000-4-2                      | A                         |
| Ensaio de Imunidade à Radiofrequência Radiada – nível II: $3\text{V/m}$<br>IEC61000-4-3  | A                         |
| Ensaio de Imunidade a Transientes Elétricos – nível IV – alimentação: $\pm 4\text{kV}$<br>nível II – linha de sinais: $\pm 500\text{V}$<br>IEC 61000-4-4 | A                         |
| Ensaio de Imunidade a Surtos de Tensão – nível IV – alimentação: $\pm 2\text{kV}$<br>IEC 61000-4-5   | A                         |
| Ensaio de Imunidade à Radiofrequência Conduzida – nível II: $3\text{V}$<br>nível III: $10\text{V}$<br>IEC61000-4-6                                       | A                         |
| Ensaio de Imunidade à Campo Magnético – nível IV: $30\text{A/m}$<br>IEC61000-4-8   | A                         |
| Ensaio de Imunidade à Variação e Interrupção de Tensão – $100\% - 10\text{ms}$<br>IEC61000-4-11  | A                         |

## 6 CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho, foram estudadas e analisadas as diferentes etapas que constituem o processo de certificação em compatibilidade eletromagnética de um equipamento eletrônico desenvolvido na NOVUS Produtos Eletrônicos LTDA. Este processo, como se verificou, é de extrema importância para introdução de novos produtos no mercado mundial. Neste contexto, foram apresentadas as normas utilizadas para a realização deste trabalho, assim como as normas básicas IEC de EMC, que estabelecem regras, procedimentos e métodos de ensaio, que permitiram avaliar a conformidade do equipamento em estudo com os requisitos aplicáveis.

A análise dos requisitos de EMC revelou-se longa e bastante exigente sendo que, no final, se verificou que depois das alterações o equipamento em estudo cumpre com todos os requisitos essenciais relativos à EMC exigidos pela Norma IEC 61326. Desta avaliação, ficou evidente que um sistema ou equipamento concebido sobre as boas práticas de EMC leva a uma redução do tempo e do custo da certificação de EMC, particularmente, a ocorrência de falhas nos ensaios que exigiriam um esforço de reformulação com elevados prejuízos para a empresa.

Com este trabalho, exploraram-se também os conceitos e os requisitos de Compatibilidade Eletromagnética que devem ser cumpridos para obtenção de Marcação CE no equipamento alvo deste trabalho. Desta análise, verificou-se que para garantir os requisitos mínimos de qualidade em termos de compatibilidade eletromagnética, é necessário assegurar o correto funcionamento de um equipamento em ambientes susceptíveis a perturbações eletromagnéticas, assim como limitar as perturbações eletromagnéticas introduzidas pelo próprio no ambiente que o rodeia. Analisaram-se, assim, os conceitos de interferência eletromagnética segundo a forma de perturbações conduzidas e radiadas, referindo os fenômenos de emissão e imunidade eletromagnética para os quais o equipamento alvo deste estudo deverá possuir um nível de proteção adequado. Ilustraram-se, por exemplo, diversas soluções para os problemas encontrados. Para cumprir estes propósitos, devem ser introduzidas regras na fase de projeto, produção e instalação do equipamento.

Após a realização dos Ensaio de Compatibilidade Eletromagnética, em conformidade com as Normas aplicáveis, verificou-se que o equipamento em estudo obteve resultados válidos que traduzem o desempenho satisfatório do mesmo no seu ambiente eletromagnético.

## REFERÊNCIAS

**PAUL, C. R.** Introduction to Electromagnetic Compatibility - Second Edition -John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

**OTT, H. W.** Electromagnetic Compatibility Engineering - John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.

**DIRETIVA 2004/108/CE** do parlamento europeu e do conselho, (2004)

**IEC 61326: (2006)** Eletrical equipment for measurement, control and laboratory use EMC requirements.

**IEC61000-3-2: (2005)** - “International Electrotechnical Commission – Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).

**IEC61000-3-3: (2008)** - “International Electrotechnical Commission – Voltage Fluctuation and flicker”

**IEC61000-4-2: (2008)** - International Electrotechnical Commission Testing and Measurements Techniques - Section 2: “Electrostatic Discharge Requirements”.

**IEC61000-4-3: (2006)** - International Electrotechnical Commission Testing and Measurements Techniques - Section 3: “Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test”.

**IEC61000-4-4: (2004)** - International Electrotechnical Commission “Testing and Measurements Techniques - Section 4: Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test”.

**IEC61000-4-5: (2005)** - International Electrotechnical Commission “Testing and Measurements Techniques - section 5 - Surge immunity test”.

**IEC61000-4-6: (2008)** – International Electrotechnical Commission “Testing and Measurements Techniques - Section 6 Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields”.

**IEC61000-4-11: (2004)** - International Electrotechnical Commission “Testing and Measurements Technics - Section 11; Voltage dips, short interruptions and voltage variations

**CISPR 11: (1990)** International Electrotechnical Commission “Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement”.


**M. B. de Liz. (2003).** Contribuição para a redução da Interferência Eletromagnética em Fontes Chaveadas. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 168 pp.

**M. B. de Liz. (1999).** Introdução à Compatibilidade Electromagnética em Conversores Estáticos. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 89 pp.

**H. Pinto (2010).** Análise de Requisitos para obtenção de Marcação CE em Fontes de Alimentação Ininterruptas. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal.275pg.

**H. Pinto (2010).** Estudo da Compatibilidade Eletromagnética em Equipamentos Eletromédicos para Testes de Pré-Conformidade de Imunidade Eletromagnética. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.97pg.

## APÊNDICE I – DoC FieldLogger

|  |   |   |
|--|---|---|
| <br><b>NOVUS</b><br>PRODUTOS ELETRONICOS LTDA | RUA ÁLVARO CHAVES, 155<br>PORTO ALEGRE - RS – BRAZIL<br>90220-040 | TEL: 55-51-3323 3600<br>FAX: 55-51-3323 3644<br>www.novusautomation.com |
|  |   |   |

### DECLARATION OF CONFORMITY

#### 1. Declaration of Conformity

This Declaration of Conformity is made against the Electromagnetic Compatibility Directive (2004/108/EC).

#### 2. Product model

FieldLogger

#### 3. Product description

The FieldLogger is a data acquisition and recording instrument with graphic user interface, 8 universal analog inputs and 8 digital I/O that features communication interfaces like Ethernet, USB and RS-485, TCP-IP and Modbus protocols. It can operate as online recording and supervision system or as a stand alone data logger with real time clock and internal data memory. Also capable of managing alarms allows several ways to notify the user.

#### 4. Conformity

The FieldLogger conforms to the following standards:

- EMC: EN 61326-1:2006

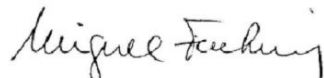
| Emission: | Standard        | Description  |  |
|-----------|-----------------|--|--|
|           | CISPR11/EN55011 | Conducted and Irradiated emission                            |  |
| Immunity: | Standard        | Description  | Severity level   |
|           | EN61000-4-2     | Electrostatic Discharge test                                 | CD $\pm 4$ kV<br>AD $\pm 8$ kV                               |
|           | EN61000-4-3     | Radiated Susceptibility test                                 | 10 V/m   |
|           | EN61000-4-4     | Electrical Fast Transients                                   | $\pm 4$ kV (on power supply)<br>$\pm 1$ kV (on other inputs) |
|           | EN61000-4-5     | Voltage surge  | $\pm 2$ kV   |
|           | EN61000-4-6     | Conducted disturbances,<br>Induced by radio frequency fields | 10 V,RMS (on power supply)                                   |
|           | EN61000-4-8     | Magnetic Field Immunity                                      | 30 A/m, 50 Hz  |
|           | EN61000-4-11    | Voltage dips, short interruptions                            | 100% interruption for 10ms                                   |

- Safety: EN61010-1:2001 (UL file E300526)

#### 5. Manufacturer:

NOVUS PRODUTOS ELETRONICOS LTDA  
 Rua Alvaro Chaves, 155  
 Porto Alegre, RS, BRAZIL 90220-040

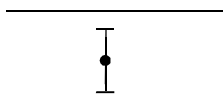
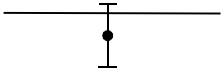
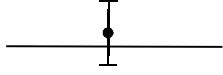
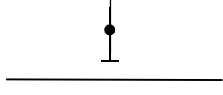

Porto Alegre, 15/October/2012



Miguel Fachin Jr.  
 R&D Director

## ANEXO I

## CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS PARA ENSAIOS DE EMISSÃO CONDUZIDA E RADIADA

| Critério   | Resultado da medição  | Comentários  |
|--|---|--|
| A  |    | O item ensaiado atende integralmente aos requisitos impostos pela norma;   |
| B  |    | O resultado do ensaio está abaixo do limite da especificação por uma margem menor que a incerteza associada ao ensaio. Entretanto, o resultado da medição indica uma probabilidade maior do item ensaiado estar de acordo com o limite da norma. |
| C  |  | O resultado da medição está acima do limite da norma por uma margem menor que a incerteza associada à medição. Entretanto, o resultado da medição indica uma probabilidade maior que o item ensaiado não estar de acordo com o limite da norma;  |
| D  |  | O item ensaiado não atende aos requisitos impostos pela norma;   |
| <p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•: valor do nível lido (dB<math>\mu</math>V ou dB<math>\mu</math>V/m).</li> <li>: variação do valor lido em função da incerteza associada aos ensaios</li> <li>—: limite da norma</li> </ul> |   |  |

**ANEXO II****CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE RESULTADOS PARA ENSAIOS DE IMUNIDADE**

| <b>Critério</b> | <b>Descrição</b>  |
|-----------------|---|
| <b>A</b>        | Desempenho normal dentro dos limites especificados pelo fabricante, solicitante ou comprador.   |
| <b>B</b>        | Perda temporária de função ou degradação do desempenho que cessa após a interrupção do distúrbio recuperando seu desempenho normal sem a intervenção do operador. |
| <b>C</b>        | Perda temporária de função ou degradação do desempenho cuja correção requer intervenção do operador.  |
| <b>D</b>        | Perda de função ou degradação do desempenho que não é recuperável devido à danos no hardware ou software, ou perda de dados.                                      |