

EDUARDO PRADO SOARES

INTRODUÇÃO A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA AUTOMOTIVA

São Caetano do Sul

2013

EDUARDO PRADO SOARES

INTRODUÇÃO A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA AUTOMOTIVA.

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Wanderlei Marinho da Silva

São Caetano do Sul

2013

Soares , Eduardo Prado

Introdução a compatibilidade eletromagnética automotiva.

Eduardo Prado Soares. São Caetano do Sul, SP: CEUN-CECEA, 2013.

75p.

Monografia — Especialização em Engenharia Automotiva. Centro
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.
Orientador: Prof. Wanderlei Marinho da Silva

1. Introdução, 2. Revisão Bibliográfica, 3. Método, 4.Resultados, 5.
Conclusões e Sugestões.

Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário.

RESUMO

É notório o aumento de sistemas eletrônicos embarcados em veículos na última década. Estes sistemas estão presentes no gerenciamento eletrônico de motor, sistemas de navegação e treinamento, controle eletrônico de tração, sistema eletrônico de diagnóstico, sistemas remotos de rastreamento e bloqueio veicular entre muitos outros, mas toda esta integração trouxe consigo a necessidade de garantir o funcionamento satisfatório de todo o conjunto. Por isso aos inúmeros testes aos quais o veículo é submetido durante o seu desenvolvimento agregou-se a necessidade de testes de Compatibilidade Eletromagnética, pois desta forma além dos testes de funcionalidade objetiva executados nos vários sistemas embarcados seja possível garantir que não haja degradação de suas funções devido a interferência eletromagnética geradas por sistemas internos e/ou externos ao veículo. Este trabalho visa apresentar uma introdução a este assunto, que nas últimas décadas tornou-se uma área de grande importância dentro a indústria automobilística.

Palavras-chave: Compatibilidade Eletromagnética Automotiva, Interferência Eletromagnética, Eletrônica Embarcada Automotiva.

ABSTRACT

A remarkable fact during the last decades on automotive industry is the huge electronic systems increase on vehicles. These systems are present on engine management, navigation systems, enterainment systems, vehicle localization and blocking systems and others. In order to guarantee a safistactory and safe operation (operation without performance degradation) of these systems, Electromagnetic Compatibility (EMC) tests was added to automotive test requirements.

This work intents to provide an introduction to this theme due to the great importance given to EMC on Automotive industry.

Keywords: Automotive Electromagnetic Compatibility. Electromagnetic Interference.

Automotive Embedded Electronics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Exemplos de fontes de interferência eletromagnética | 14 |
| Figura 2 – Modelo básico de EMC | 15 |
| Figura 3 – Comprimento de onda de Frequências | 17 |
| Figura 4 – Convergência da Indústria Eletrônica e da Indústria Automotiva..... | 19 |
| Figura 5 – Aumento da eletrônica embarcada em automóveis..... | 20 |
| Figura 6 – Evolução da Eletrônica e aplicações automotivas..... | 20 |
| Figura 7 – Distribuição eletrônica em um carro de 1970 | 21 |
| Figura 8 – Distribuição eletrônica em um carro de atual | 22 |
| Figura 9 – Variação do ponto de retorno de sinal em função da frequência..... | 24 |
| Figura 10 – Circulação de corrente para sinais de frequências baixas e altas | 25 |
| Figura 11 – Diferença de potencial entre pontos de aterramento | 25 |
| Figura 12 – Aterramento série | 26 |
| Figura 13 – Aterramento Paralelo | 27 |
| Figura 14 – Aterramento Multiponto | 27 |
| Figura 15 – Acoplamento Galvânico | 28 |
| Figura 16 – Acoplamento Indutivo..... | 29 |
| Figura 17 – Modelamento do acoplamento indutivo e capacitivo | 30 |
| Figura 18 – Modelamento do Acoplamento Irradiado..... | 31 |
| Figura 19 – Comparativo do Comprimento de onda de um sinal Senoidal e o tamanho físico de uma antena..... | 32 |
| Figura 20 – Padrão de campo de uma antena dipolo e monopolo | 33 |
| Figura 21 – Capacitância e circulação de corrente na antena dipolo | 33 |
| Figura 22 – Capacitância e circulação de corrente na antena monopolo | 34 |
| Figura 23 – Modelamento de antena dipolo e monopolo..... | 34 |
| Figura 24 – Papel do condutor no aumento da eficiência do sinal irradiado..... | 35 |
| Figura 25 – Diagrama de Irradiação de uma antena | 36 |
| Figura 26 – Campos Elétricos e Magnéticos em condutores paralelos | 37 |
| Figura 27 – Características distribuídas em uma linha de transmissão..... | 37 |
| Figura 28 – Linha de transmissão multicondutor..... | 38 |
| Figura 29 – Modelamento de interferência por Crosstalk | 39 |
| Figura 30 – Blindagem de um circuito..... | 40 |
| Figura 31 – Mecanismo da atenuação por blindagem..... | 40 |
| Figura 32 – Modelos de filtro..... | 41 |
| Figura 33 – Divisão dos testes de EMC | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 34 – Modelo do corpo humano para descarga eletrostática | 46 |
| Figura 35 – Diagrama do Relé | 47 |
| Figura 36 – Construção Interna do Relé | 48 |
| Figura 37 – Diagrama de blocos do Relé | 48 |
| Figura 38 – Diagrama da montagem física do teste | 49 |
| Figura 39 – Diagrama da montagem física do teste | 51 |
| Figura 40 – Diagrama da montagem física do teste | 52 |
| Figura 41 – Diagrama da montagem física do teste | 53 |
| Figura 42 – Diagrama da montagem física do teste | 54 |
| Figura 43 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz sem Modulação | 55 |
| Figura 44 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz em Modulação por Pulso | 55 |
| Figura 45 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz em Modulação por Pulso | 56 |
| Figura 46 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 1GHz a 2GHz em Modulação por Pulso | 56 |
| Figura 47 – Exposição a Campo de 600V/m em frequências de 1GHz a 2GHz em Modulação por Pulso | 57 |
| Figura 48 – Leitura de campo irradiado para frequências de 530kHz a 1.71MHz | 58 |
| Figura 49 – Leitura de campo irradiado para frequências de 45.2MHz a 200MHz | 59 |
| Figura 50 – Leitura de campo irradiado para frequências de 200MHz a 439MHz | 59 |
| Figura 51 – Leitura de campo irradiado para frequências de 1.567MHz a 1.583MHz | 60 |
| Figura 52 – Simulação de transientes causados por desconexão de cargas indutivas | 60 |
| Figura 53 – Simulação trasientes causados pela indutância presente nos chicotes..... | 61 |
| Figura 54 – Simulação de transientes causados por motores DC..... | 61 |
| Figura 55 – Simulação de transientes causados por chavamento de alta frequência | 62 |
| Figura 56 – Simulação “Load Dump”- Desconexão da bateria com o alternador em funcionamento | 62 |
| Figura 57 – Leitura de emissões conduzidas para Frequências de 53kHz a 1.71MHz..... | 63 |
| Figura 58 – Pontos de aplicação de descarga eletrostática | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Fonte de Interferência Eletromagnética..... | 15 |
| Tabela 2 – Normas Internacionais | 43 |
| Tabela 3 – Intensidade de Campo no ambiente automotivo..... | 44 |
| Tabela 4 – Valores típicos de ESD | 45 |
| Tabela 5 – Equipamentos de teste Imunidade Irradiada | 49 |
| Tabela 6 – Faixa de frequências, intensidade de campo, modulação e polarização | 50 |
| Tabela 7 – Equipamentos de teste de Emissões Irradiadas..... | 50 |
| Tabela 8 – Equipamentos de teste de Imunidade Conduzida | 52 |
| Tabela 9 – Configurações dos pulsos | 52 |
| Tabela 10 – Equipamentos de teste de Emissões Conduzidas | 53 |
| Tabela 11 – Equipamentos de Teste ESD | 53 |
| Tabela 12 – Valores e Modos de Descarga | 54 |
| Tabela 13 – Normas EMC automotivas | 71 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas. |
| EC | (European Community) Comunidade Européia. |
| SAE | (Society of Automotive Engineers) Sociedade de Engenheiros Automotivos. |
| CISPR | (Comité International Spécial des Perturbationa Radio électriques) Comitê Especial Internacional de Radio Interferência. |
| EMC | Electromagnetic Compatibility – Compatibilidade Elétromagnética. |
| EMI | Electromagnetic Interference – Interferência Elétromagnética. |
| FCC | (Federal Communication Comission) – Comissão Federal de Comunicação. |
| ISO | (International Organization for Standardization) Organização Internacional de Padronização. |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. |
| λ | Comprimento de onda. |
| f | Frequência em Hertz |
| c | Constante da velocidade da luz no vácuo. |
| AM | Amplitude Modulada. |
| FM | Frequência Modulada. |
| Ω | Resistência elétrica em Ohms. |
| Hz | Hertz. |
| MOS | (Metal Oxide Semiconductor) Semicondutor Metal-Óxido. |
| RF | Radio Frequência. |
| ESD | (Electrostatic Discharge) Descarga Eletrostática. |
| DC | Corrente Contínua. |
| PWM | Pulse Width Modulation – Modulação por Largura de Pulso. |
| HF | (High Frequency) Alta Frequência. |
| LF | (Low Frequency) Baixa Frequência. |
| UHF | (Ultra High Frequency) – Ultra Alta Frequência. |
| VHF | (Very High Frequency) – Frequência Muito Alta. |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 13 |
| 2.1 Introdução | 13 |
| 2.1.1 Fontes de perturbação eletromagnética | 13 |
| 2.1.2 Mecanismo da interferência eletromagnética..... | 15 |
| 2.1.3 Comprimento de onda | 16 |
| 2.2 Histórico | 18 |
| 2.3 EMC E A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA..... | 18 |
| 2.3.1 A evolução da eletrônica embarcada..... | 20 |
| 2.3.2 Exemplos de falhas relacionadas a EMI em automóveis | 23 |
| 2.4 Conceitos Básicos usados em EMC | 23 |
| 2.4.1 Alimentação e Retorno do Sinal..... | 23 |
| 2.4.2 Aterramento | 24 |
| 2.4.3 Acoplamento Galvânico | 28 |
| 2.4.4 Acoplamento Indutivo (Magnético) | 29 |
| 2.4.5 Acoplamento Capacitivo (Elétrico) | 30 |
| 2.4.6 Acoplamento Irradiado | 31 |
| 2.4.7 Antenas | 32 |
| 2.4.8 Linha de Transmissão..... | 36 |
| 2.4.9 Crosstalk | 38 |
| 2.4.10 Blindagem e Filtro | 39 |
| 2.5 Normalização EMC | 41 |
| 2.5.1 Divisão das Normas..... | 42 |
| 2.5.2 Emissão Irradiada (RI) e Imunidade Irradiada (RE) | 43 |
| 2.5.3 Emissão Conduzida (CE) e Imunidade Conduzida (CI)..... | 44 |
| 2.5.4 ESD..... | 45 |
| 3 MÉTODO | 47 |
| 3.1 Introdução | 47 |
| 3.2 Teste de EMC | 47 |
| 3.2.1 Relé | 47 |
| 3.2.2 Descrição dos testes..... | 49 |

| | |
|---|----|
| 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 54 |
| 4.1 Imunidade Irradiada – RI..... | 54 |
| 4.2 Emissões Irradiadas – RE | 58 |
| 4.3 Imunidade Conduzida – CI..... | 60 |
| 4.4 Emissões Conduzidas – CE | 64 |
| 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 65 |
| Alinhamento com problemas e objetivos. Sugestão de novas pesquisas e limitações. | 65 |
| REFERÊNCIAS | 66 |
| ANEXO A – Normas EMC Automotivas | 71 |

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa apresentar, através de pesquisa bibliográfica, uma introdução a Compatibilidade Eletromagnética Automotiva, apresentando um breve histórico da evolução e aumento dos sistemas eletrônicos embarcados, seu impacto na geração de interferências eletromagnéticas e os problemas associados a esta integração.

Este tema foi escolhido devido a importância atribuída a Compatibilidade Eletromagnética (EMC) nos últimos anos e escassez de materiais em língua Portuguesa com este foco na área Automotiva.

Verifica-se atualmente a aplicação maciça de sistemas eletrônicos nos automóveis, como os sistemas de Gerenciamento eletrônico do motor (ex. injeção eletrônica), Sistemas de Conforto e Conveniência tais como: vidros elétricos, Alarme, sistemas de abertura e acionamento remoto do veículo, ar condicionado com controle digital), Entretenimento (Radios, DVD's) e suas interfaces com celulares (ex. viva voz), Sistemas de Segurança (AirBag, Freios AntiBlocantes – ABS, Programa eletrônico de estabilidade- ESP, Sistema de Controle de tração – TCS), radar automotivo, sistema de visão noturna entre outros. Todos estes sistemas, utilizando microprocessadores com altas frequências de operação (em alguns casos superiores a 1GHz), redes de comunicação com médias e altas taxas de transmissão tanto via condutores quanto via rádio freqüencia (RF), devem operar sem degradação de suas funções, na presença do ruído eletromagnético causados pelos sistemas internos e externos aos veículos (ex.: Linhas de transmissão de alta/altíssima tensão, antenas de micro-ondas, antenas de transmissão de AM e FM, redes de telefonia móvel).

Neste ponto a Compatibilidade Eletromagnética tem sua importância destacada, pois não estamos tratando somente de conforto, conveniência do condutor e passageiros (que tem sua importância na qualidade percebida do produto), mas também de itens relacionados a segurança e portanto sujeito a legislação dos países onde o veículo é comercializado. Como afirmado no início deste texto este trabalho visa apresentar uma introdução sobre este tema, servindo como uma referência adicional àqueles que se interessam pela Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.

Organização do trabalho

O capítulo 2 apresenta as definições básicas na área da Compatibilidade Eletromagnética. Neste capítulo também é apresentado um breve histórico a respeito da compatibilidade eletromagnética e o crescimento da sua importância devido ao aumento da eletrônica embarcada, bem como alguns casos de problemas causados por Interferência Elétrromagnética na indústria automotiva, também apresenta os conceitos básicos utilizados no estudo da Compatibilidade Eletromagnética e sua Normalização

O capítulo 3 apresenta o plano de testes para a avaliação de um componente eletrônico para a avaliação do seu comportamento para uso em veículo.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos destes testes.

No capítulo 5 são sugeridos alguns temas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Definições Iniciais:

Compatibilidade Eletromagnética – EMC – Capacidade/habilidade de um sistema de realizar suas funções corretamente, sem degradação ou perda de desempenho dentro do ambiente eletromagnético a que foi projetado, isto é, sem sofrer influência de outros sistemas presentes nos locais de operação do mesmo, sem emitir causando interferência a outros sistemas ou a si mesmo (Paul 2006, Pires 2008). Resumindo, um sistema/dispositivo é eletromagneticamente compatível quando este é imune a sinais interferentes presentes no seu ambiente de operação e também não é fonte de interferência eletromagnética

Interferência Eletromagnética – EMI – Energia eletromagnética proveniente de uma fonte intencional ou não intencional que afete degradando ou impedindo o funcionamento de um dispositivo eletrônico.(RYBAK, STEFFKA 2004).

Susceptibilidade Eletromagnética – EMS – Grau de sensibilidade de um sistema eletrônico a exposição a EMI. Quanto mais suscetível, mais sensível é este sistema.(RYBAK, STEFFKA 2004).

Imunidade Eletromagnética – Grau de robustez de um sistema eletrônico a exposição a EMI. Quanto mais imune, menos sensível este sistema será.(RYBAK, STEFFKA 2004).

2.1.1 Fontes de perturbação eletromagnética

A EMI de acordo com a sua origem pode ser classificada em:

- a) Naturais – Raios, Radiação Solar, Tempestades Geo Magnéticas.
- b) Artificiais Intencionais – Geradas pelo homem, cuja função é emitir ondas eletromagnéticas – transmissoras AM/FM, Antenas de micro-ondas para transmissão de dados, radio comunicação faixa do cidadão, etc.

- c) Artificiais Não-Intencionais – Geradas pelo homem – Motores elétricos, linhas de transmissão de alta tensão, sistemas de ignição, lâmpadas fluorescentes, equipamentos de informáticas, etc.

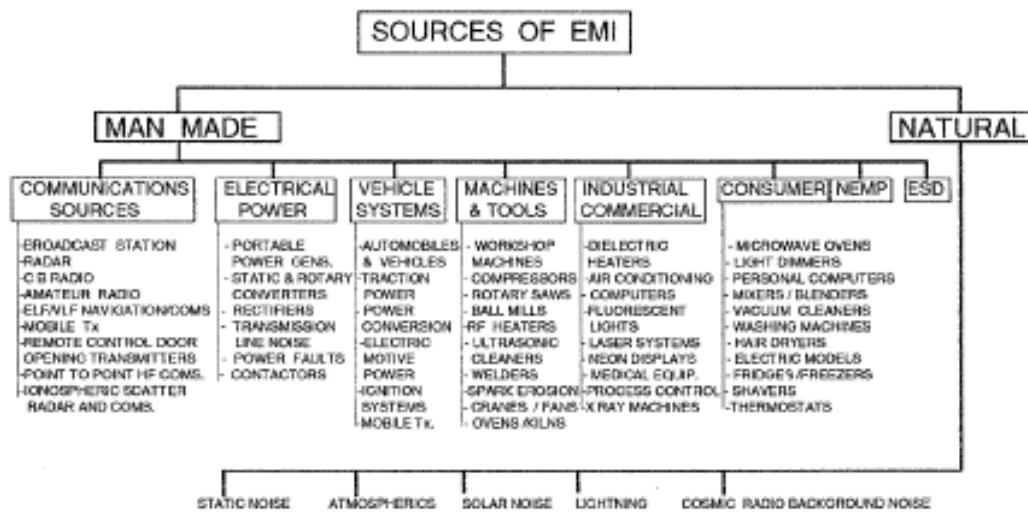


Figure 1.2 Groups of EMI sources

Figura 1 – Exemplos de fontes de interferência eletromagnética.

FONTE: MORGAN, D., 2007, p.3.

Table 1.2 Frequencies and noise levels from typical interference sources

| Source type | Comments |
|----------------------------------|--|
| Mains disturbances | Double exponential transients with risetimes of 1 μ s and falltimes of 50 μ s at approx. 10 kV 100 kHz ringing waveform with 0.5 μ s rising edge Power dips up to 100 ms long Power frequency harmonics up to 2 kHz |
| <i>Unintended radiators</i> | |
| Switches and relays | Transients with risetimes of a few ns and levels up to 3 kV producing frequencies into the VHF band |
| Commutator motors | Produce frequencies up to 300 MHz at repetition rates of up to 10 kHz |
| Human electrostatic discharge | 1–10 ns risetime 30–200 ns falltime amplitudes up to 15 kV |
| Switching semiconductors | Risetimes from 20 to 1000 ns at rep rate of kHz to 10 MHz for voltages up to 300 V |
| Switched-mode power supplies | Produce continuous spectrum of noise from kHz to 100 MHz |
| Digital logic | Circuits produce continuous noise up to 500 MHz |
| Industrial and medical equipment | Motors heating in 1–199 kHz range. Medical equipment operates from 13–40 MHz. Using high power—hundreds of watts |

Tabela 1 - Fontes típicas de ruído seus níveis e frequências

FONTE: MORGAN, D., 2007, p.4.

2.1.2 Mecanismo da interferência eletromagnética

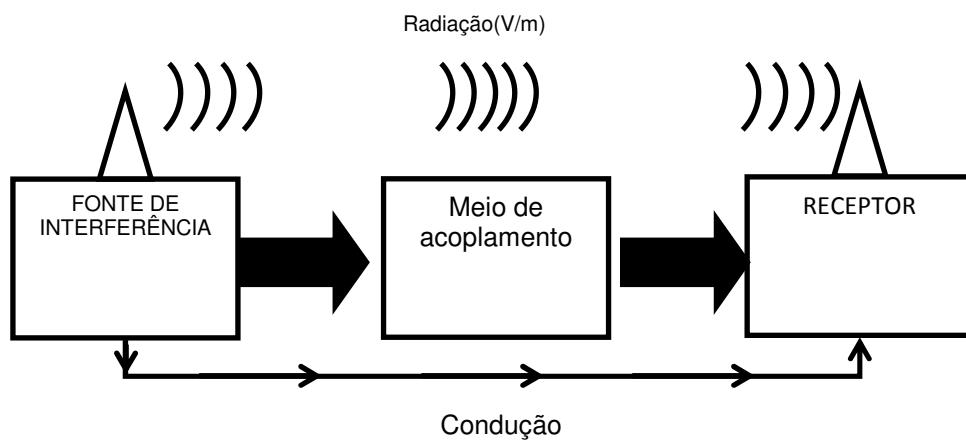


Figura 2 - Modelo básico de EMC

A EMI segue necessariamente o modelo fonte – meio – destino como apresentado na figura 2

Estes três elementos estão sempre presentes em problemas de interferência eletromagnética sendo:

FONTE - onde a energia EM é gerada.

Intencional – O objetivo desta fonte é emissão de sinais eletromagnéticos, temos como exemplo transmissoras de FM, AM, Televisão, Antenas de Celulares e comunicação de dados.

Não-Intencional – Esta fonte não tem como objetivo a emissão de sinais eletromagnéticos, mas devido natureza de operação este sinais são gerados. Sinais emitidos por este tipo de fonte não carrega nenhuma informação útil. Como exemplo disto tem-se o Sistema de ignição veicular, motores elétricos.

Meio – Caminho de propagação da interferência podem ser por cabos, antenas, trilhas em placas de circuito impresso, Retornos de alimentação comuns (negativo, terra), capacitâncias e indutâncias parasitas presentes no sistema.

Receptor – Equipamento cujo funcionamento é alterado ou impedido devido a EM gerado pela fonte e conduzida ou irradiada pelo meio.

2.1.3 Comprimento de onda

Como destacado por PAUL (2006), um comprimento de onda é a distância que uma única frequência senoidal leva para completar o ciclo de 360°.

$$\lambda = c/f$$

Onde:

λ = Comprimento de onda, em metros;

c = constante da velocidade da luz no espaço livre;

f = frequência da onda, em Hz.

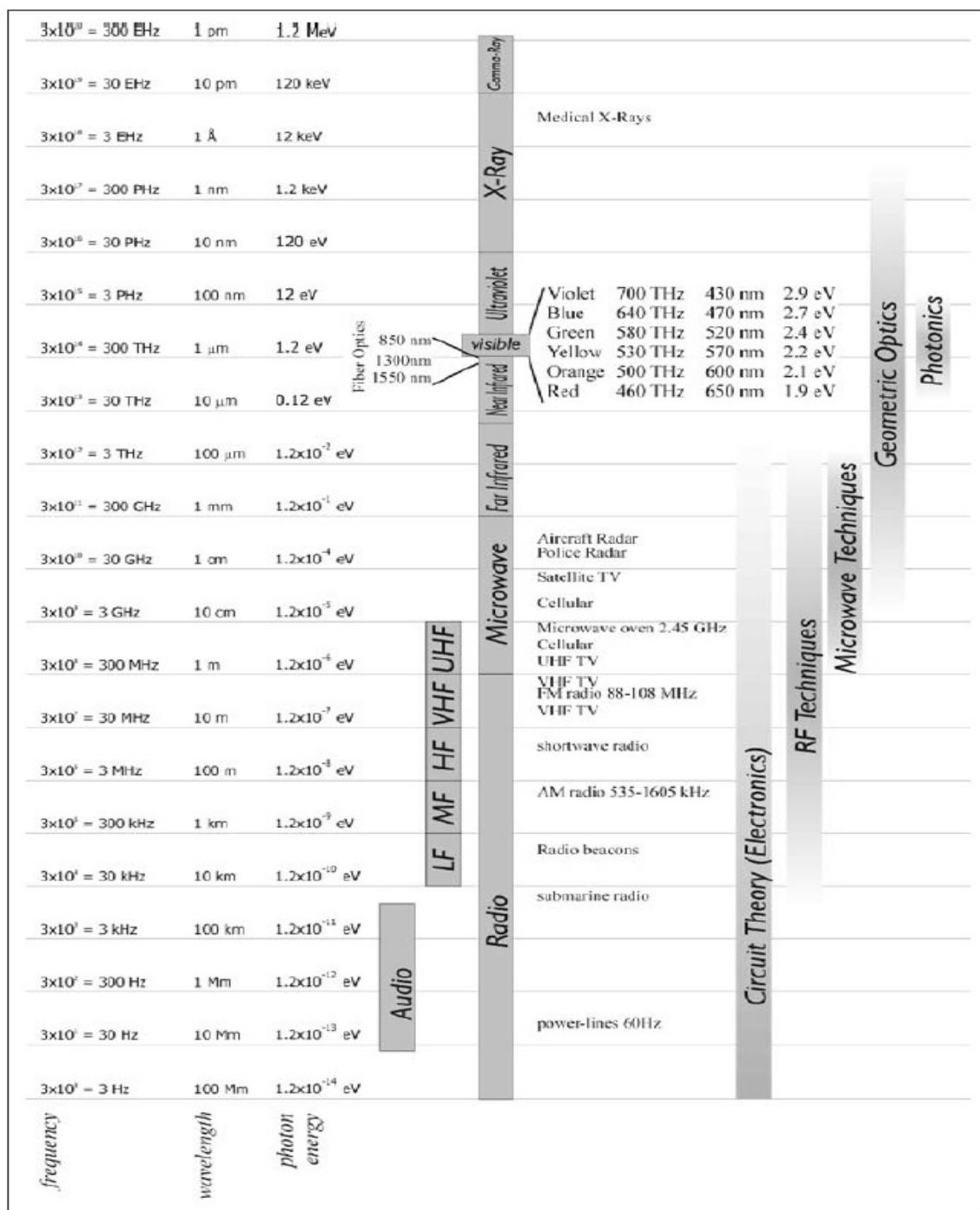


Figura 3 – Comprimento de onda de frequências partindo de 3Hz até 3EHz

FONTE: SCHMITT, R., 2002, p. 5.

Figura 3 apresenta o espectro eletromagnético, de acordo com a frequência comprimento de onda e classificação desde ondas de audio até raios cósmicos.

2.2 Histórico

Conforme descrito por PAUL (2006, p.10) os problemas relacionados com interferência eletromagnética já eram presentes em 1920 com os rádios da época. Durante a segunda guerra mundial (1945) a necessidade do uso intenso de sistemas de radio comunicação, radares, portanto o aumento do uso do espectro eletromagnético, interferências e alguns casos mau funcionamento foram detectados, mas facilmente resolvidos devido a tecnologia da época onde a densidade de equipamentos eletrônicos não era tão grande. Nos anos 1950 tem início o uso dos transistores bipolares baseado na tecnologia dos semicondutores (que operavam com amplitudes de sinais muito menores que as válvulas) sendo dispositivos mais sensíveis a interferências. Em 1960 houve o surgimento dos circuitos integrados, que aumentava a densidade de circuitos eletrônicos. A década de 1970 é um ponto especial devido ao início do uso do microprocessador, que apresentava integração eletrônica muito maior, operava com sinais de baixa amplitude e baixa potência, e verificamos o início do processamento digital de sinais que substituiu o processamento analógico. Houve ganhos em eficiência/velocidade/dimensões dos sistemas, mas a operação destes circuitos gerava grande ruído devido a densidade espectral inerente aos sinais utilizados. Considerando que a escala de integração eletrônica hoje é imensamente maior do que em 1970, as frequências de operação de microprocessadores facilmente superam 1GHz verifica-se que os a importância da Compatibilidade eletromagnética ganhou destaque a partir de 1970 e tornou-se uma área de aplicação importantíssima para os sistemas atuais.

2.3 EMC E A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Em 1952 foi instituída a norma de limitação do ruído eletromagnético causado pelo sistema de ignição dos veículos no Reino Unido.

Em 1958 é lançada a 1^a edição da norma SAE J551 estabelecendo métodos e limites para emissão eletromagnética. Estes limites são adotados pela CISPR-12. SANTOS(2002, p.7).

Em 1968 O FCC regulamenta o limite para o ruído eletromagnético causado pelo sistema de ignição dos veículos nos EUA. SANTOS(2002, p.8).

Em 1972 é emitida a diretiva 72/245/EC que regula a emissão eletromagnética automotiva na Europa. SANTOS(2002, p.8).

Em 1979 FCC regulamenta as emissões para sistema digitais operando a partir de 9kHz. PIRES(2008, p.25).

Em 1995 é introduzida a Diretiva de EMC Automotiva 95/54/EC. SANTOS(2002, p.8).

Em 2004 a diretiva 2004/104/EC atualiza os métodos de teste devido ao aumento da eletrônica embarcada aplicada aos novos veículos. PIRES(2008, p.35).

É percebido que a partir da década de 1950, que as normas automotivas começam a abrange sistemas além dos rádios automotivos, isto devido ao emprego de sistemas eletrônicos nos veículos.

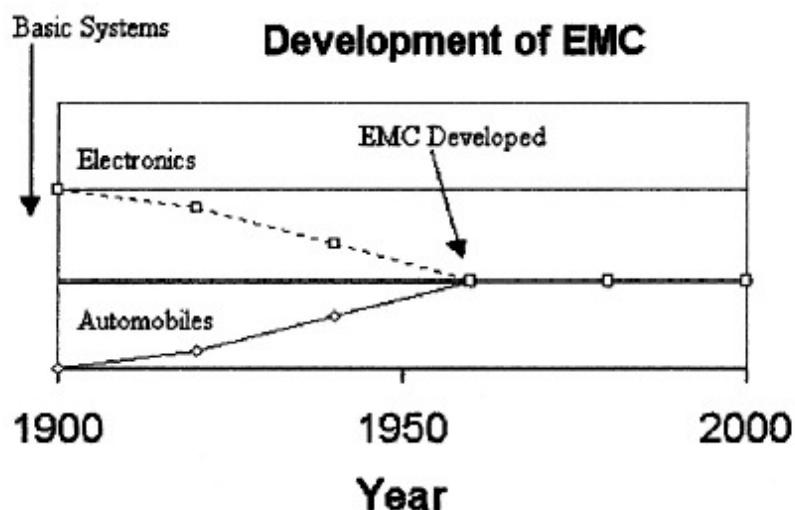


Figura 4 – Convergência da Indústria Eletrônica e da Indústria Automotiva

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.XII.

2.3.1 A evolução da eletrônica embarcada

Abaixo a figura 5 apresenta o aumento de dispositivos eletrônicos embarcados em veículos no decorrer dos anos.

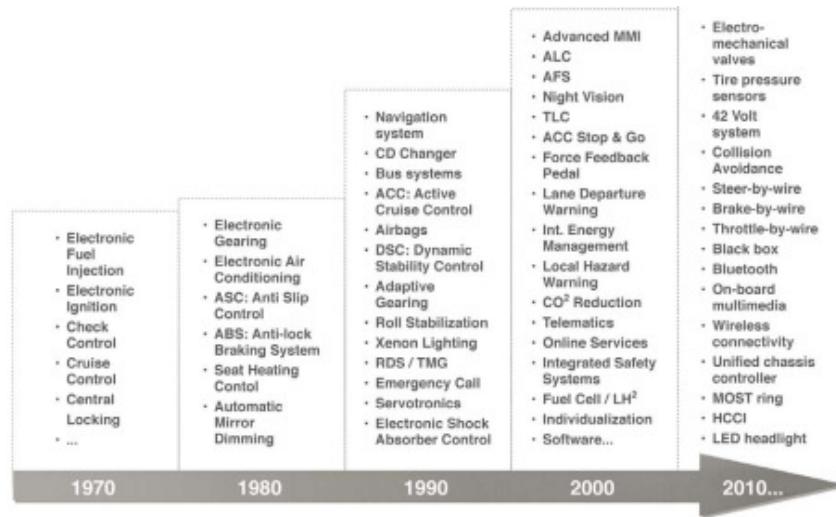


Figura 5 – Aumento da eletrônica embarcada em automóveis.

FONTE: CHONG, A.,2010 , p.16.

Verifica-se que a partir da década de 70 cada vez mais funções controlados por sistemas eletrônicos agregados aos veículos, funções relativas ao gerenciamento das funções do motor, transmissão, conforto, segurança, telemática etc.

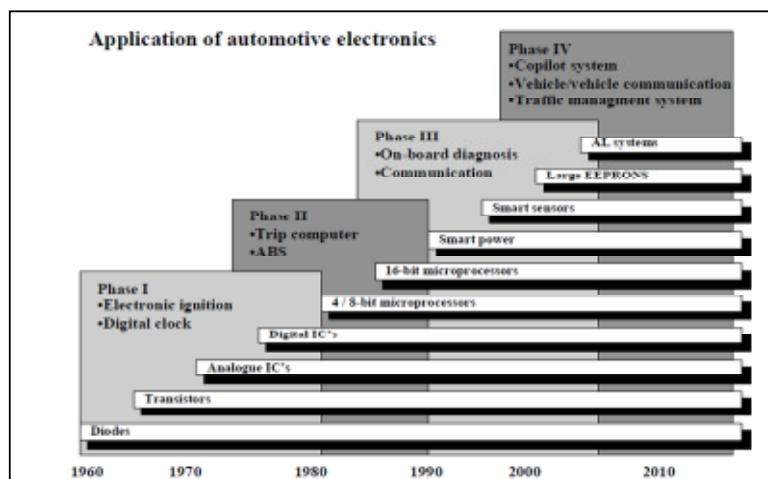


Figura 6 – Evolução da Eletrônica e aplicações automotivas.

FONTE: SANTOS, G.,GALVÃO, B.,1998, p.4.

Na Figura 7 é apresentado um esquema de distribuição elétrica de um veículo típico na dédada de 1970. Nota-se a ausência de módulos eletrônicos, sendo composto basicamente

pelo sistema de carga, sistema de ignição, os chicotes de alimentação do sistema de iluminação e sinalização do veículo.

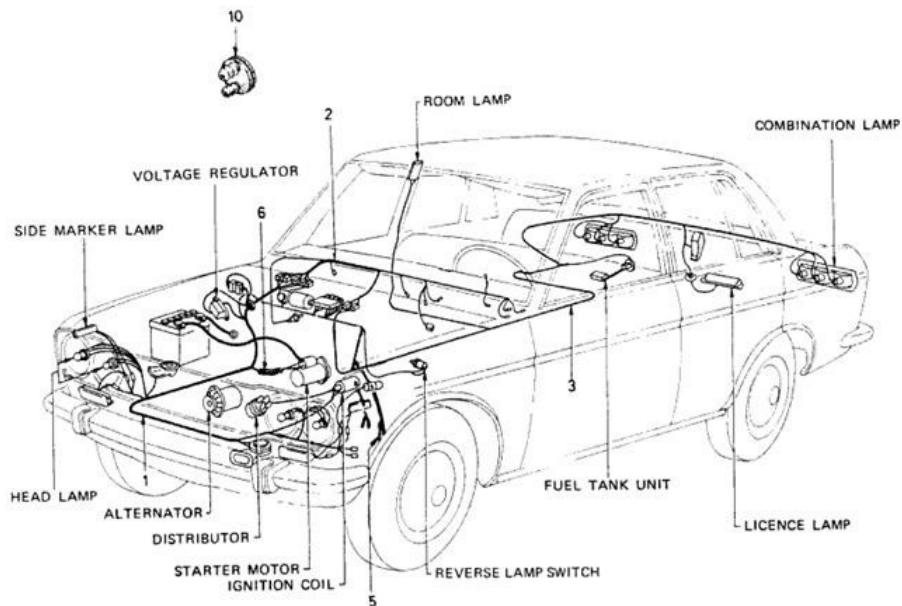


Figura 7 – Distribuição eletrônica em um carro de 1970

FONTE: Disponível em <<http://www.wiringdiagrams21.com/wp-content/uploads/2010/03/datsun-510-wiring-diagram.png>> Acesso em 18 fev. 2013.

A Figura 8 apresenta o esquema de distribuição elétrica de um veículo fabricado após 2008, é notório o aumento da complexidade dos sistemas embarcados:

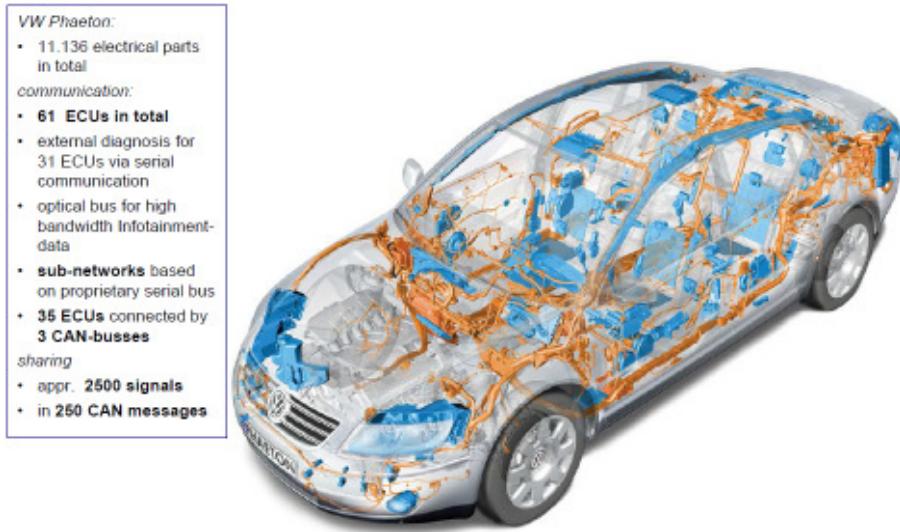


Figura 8 – Distribuição eletrônica em um carro de atual

FONTE: Disponível em <<http://forums.subdriven.com/showthread.php?5581209-JD%92s-archives-VW-Phaeton&p=75842305>> Acesso em 18 fev. 2013.

Com a evolução da eletrônica, do processamento digital de sinais, o uso de protocolos de comunicação, sistemas operando em tensões cada vez menores, frequências de operação cada vez mais altas, é cada vez mais crítico para o funcionamento desejado o veículo da sua imunidade à interferência eletromagnética. O que no passado era somente o desconforto com o sistema de áudio onde se podia notar estalos e/ou ruídos agora pode tornar-se situações onde sistemas de segurança e dirigibilidade podem ser afetados sofrendo degradação de seu modo de funcionamento.

2.3.2 Exemplos de falhas relacionadas a EMI em automóveis

Exemplos:

- Um novo modelo de automóvel foi equipado com um sistema micro-controlado para controle de emissões e monitoramento de combustível. O concessionário recebe a reclamação que quando este veículo passa por uma rua específica, o mesmo desligava. Medidas de campos eletromagnéticos realizadas na região indicaram a presença de uma transmissor FM ilegal na região. Os sinais transmitidos interferiam no micro-controlador interrompendo sua operação normal.(PAUL, 2006, p.13)
- Um certo trailer foi equipado com um sistema de frenagem eletrônico. Ao transitar em áreas onde transmissores na faixa do cidadão (MHz) eram utilizados, algumas vezes os freios travavam. O problema era causado pela interferência nesta faixa específica que interferiam no circuito dos freios. O problema foi solucionado aplicando-se blindagem aos circuitos.(PAUL, 2006, p.13)
- Durante o inicio do uso dos sistema de ABS, veículos Mercedes Benz, apresentavam um problema grave de frenagem em um determinado trecho da Autobahn. O problema era causado por transmissores de radio nas proximidades eram a causa dos problemas. A solução a curto prazo foi a construção de uma tela ao longo da rodovia para atenuar o EMI para que o freios operassem de forma apropriada.(RYBAK E STEFFKA, 2004, p227)
- No início dos anos 1970 um determinado fabricante de veículos introduziu um novo sistema de injeção de combustível que apresentava sensibilidade na faixa de 150MHz, que causava a liberação de combustível em todos os cilindros e não somente no cilindro correto, de acordo com a ordem de ignição.(RYBAK E STEFFKA, 2004, p227).

2.4 Conceitos Básicos usados em EMC

2.4.1 Alimentação e Retorno de sinal

O sinal elétrico, pela teoria de circuitos segue a rota de menor resistência, mas tratando-se de sinais variáveis no tempo e alta frequência esta afirmação não é válida, pois nesta condição o sinal elétrico segue a rota de menor impedância (definidos pelo de conjunto de resistências, indutâncias e capacitâncias presentes no circuito).

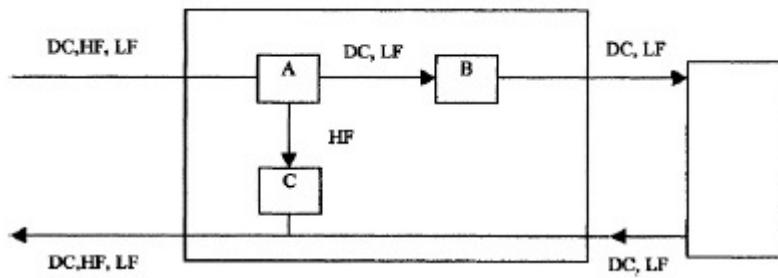


Figura 9 – Variação do ponto de retorno de sinal em função da frequência

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.19.

No circuito temos os módulos A, B, C e a carga L. Podemos ver que na entrada temos sinais de alta frequência (HF), baixa frequência (LF) e sinal continuo (DC). Verifica-se que os sinais DC, LF seguem todo o circuito, enquanto o sinal HF segue de A para C, onde este encontra a menor impedância. Este processo é denominado Acoplamento. Este pode ser Galvânico (Impedância Comum), Indutivo (Magnético), Capacitivo (Elétrico) e Irradiado (Eletromagnético).

Estes tópicos são apresentados nos itens 2.4.6, 2.4.7, 2.4.8, 2.4.9 respectivamente.

2.4.2 Aterramento

O terra é normalmente definido como um ponto onde a tensão não muda independentemente do fluxo de corrente drenado por teste ou um ponto ou plano utilizado como referência. Quando tratamos de sistemas reais, verifica-se que os pontos de terra não são equipotenciais, tem limitação de absorção de corrente elétrica. É importante separar o que conhecemos como terra de proteção elétrica, ao de equipamentos elétricos, para o que tratamos aqui a melhor definição é o caminho com a menor impedância para a corrente elétrica retornar a fonte.

Baseado no conceito acima pode-se afirmar que para um cabo ou trilha de retorno a impedância é a característica mais importante, pois temos sinais de DC, Baixa Frequência.

Alta frequência, transientes todos estes serão afetados pela impedância do cabo, como apresentado na figura abaixo:

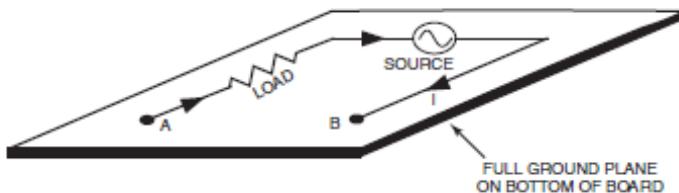


FIGURE 3-11. A double-sided PCB with a single trace on the topside and a full ground plane on the bottom side. How does the ground plane current flow between points A and B?

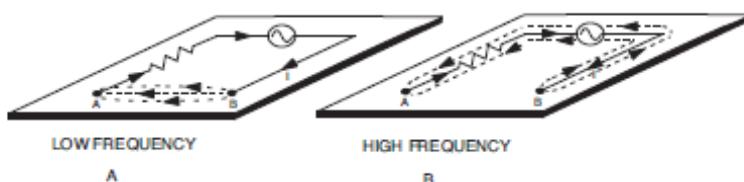


Figura 10 – Circulação de corrente para sinais de frequências baixas e altas

FONTE: OTT, H., 2009, p.122.

A figura 10 apresenta uma placa de circuito impresso (PCI) onde tem-se uma fonte de sinal V e uma carga L . Os pontos A e B são conexões para a superfície inferior da placa onde A e B são conectados por uma superfície de cobre – “Plano de Terra”. Para baixas frequências esta ligação não afeta a circulação do sinal. Quando o mesmo circuito é utilizado para altas frequências a circulação do sinal muda, gerando ruído neste circuito.

Comparando este “Plano de terra” ao chassi veicular, que é composta de várias partes metálicas soldadas, com pontos de aterramento diferentes para os módulos presentes no veículo, a condição apresentada na figura abaixo:

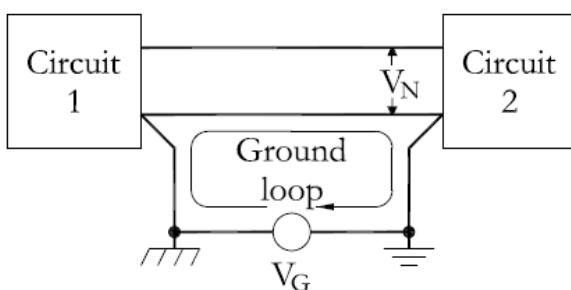


Figura 11 – Diferença de potencial entre pontos de aterramento

FONTE: OTT, H., 2009, p.143.

Devido aos diferentes pontos de aterramento e as impedâncias entre eles, surge a diferença de potencial e uma corrente circulando entre os módulos através do “terra”.

O aterramento é um ponto muito crítico para EMC, por isso deve ser planejado e avaliado de forma cuidadosa, considerando-se sinais de alta corrente ou alta tensão, altas e baixas frequências, os potenciais presentes entre os pontos de aterramento disponíveis no chassi veicular.

Exemplos de modos de aterramento:

Conexão Série: Todos os diferentes circuitos são interligados através de um mesmo cabo/trilha para um único plano de terra. A Figura 12 apresenta um exemplo de aterramento série.

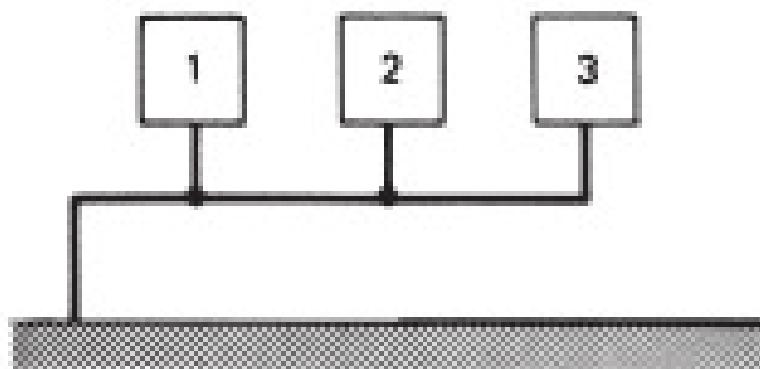


Figura 12 – Aterramento série.

FONTE: OTT, H., 2009, p.124.

Conexão Paralela: Todos os diferentes circuitos são interligados através de cabos/trilhas separados para um mesmo ponto de terra. A Figura 13 apresenta um exemplo de aterramento paralelo.

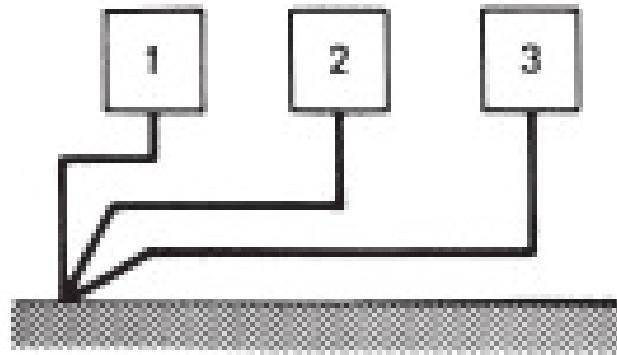


Figura 13 – Aterramento Paralelo.

FONTE: OTT, H., 2009, p.124.

Conexão Multiponto: Todos os diferentes circuitos são interligados através de cabos/trilhas separados para pontos diferentes de um plano de terra. A Figura 14 apresenta um exemplo de aterramento múltiplo.

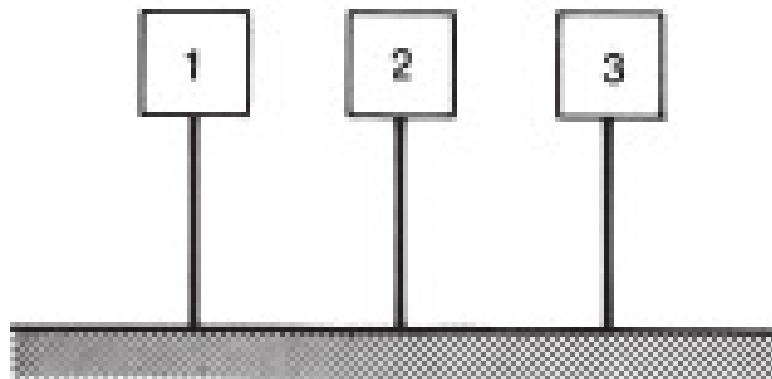


Figura 14 – Aterramento Multiponto.

FONTE: OTT, H., 2009, p.124.

2.4.3 Acoplamento Galvânico

O acoplamento galvânico ocorre quando circuitos distintos têm linhas comuns ou impedâncias comuns. Ex. Circuitos distintos com a mesma fonte de alimentação. A Figura 15 apresenta um exemplo de Acoplamento Galvânico.

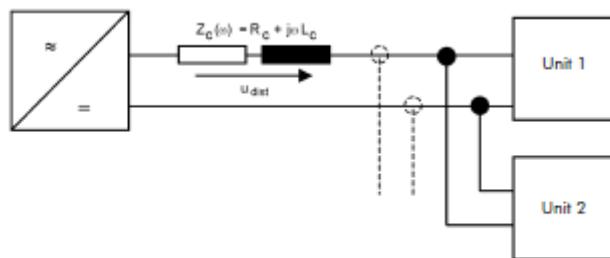


Figura 15 – Acoplamento Galvânico

FONTE: LANGGUTH, W., 2006, p.4

Em aplicações automotivas, esta é uma condição comum já que o chassi do veículo é utilizado como retorno (terra). O chassi automotivo não é feito em uma única peça de metal, mas pela junção e solda de várias partes diferentes com causa o surgimento de impedâncias de valores significativos. A corrente de várias cargas diferentes fluem para um ponto comum esta situação pode causar variações no potencial do ponto de aterramento. Por isso como citado na seção aterramento, esta condição é trabalhada utilizando sistemas de aterramento híbridos, separando os pontos de aterramento para tipos específicos de cargas.

2.4.4 Acoplamento Indutivo (magnético)

O receptor é afetado pelo campo magnético gerado no transmissor (o receptor está na região de campo próximo e o campo magnético é dominante), não há meio de condução elétrico entre eles. A Figura 16 apresenta um exemplo de Acoplamento Indutivo.

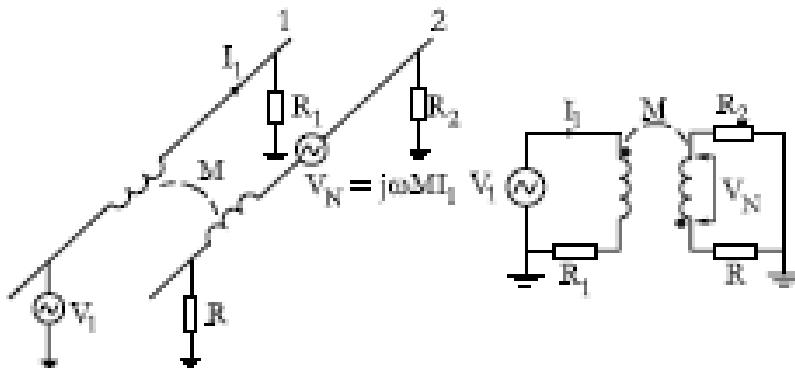


Figura 16 – Acoplamento Indutivo

FONTE: ALEXANDERSSON, S., 2008, p.38

Quando o sinal de corrente elétrica I flui pelo condutor 1, o campo magnético Φ é gerado. Este campo Φ acopla-se ao condutor 2 através da indutância mútua M . Esta interferência é indicada no desenho como V_N representando o ruído (noise) induzido no condutor 2. O valor de F é resultado produto entre indutância e corrente no circuito. Esta Indutância depende da geometria dos circuitos e dos elementos (cargas resistivas, indutivas e capacitivas), presentes neste circuito.

2.4.5 Acoplamento Capacitivo (Elétrico)

Da mesma forma que na análise do acoplamento indutivo, não há meio de condução elétrico entre emissor e receptor, o receptor é afetado pelo campo elétrico gerado pelo emissor (região de campo próximo, com campo elétrico dominante).

Devido a proximidade dos condutores, lembrando que por estes passam cargas elétricas e por isso temos o conjunto carga elétrica – isolante –carga elétrica que é o conceito do capacitor, aparece uma capacitância parasita entre os condutores. A Figura 17 apresenta um exemplo de Acoplamento Capacitivo.

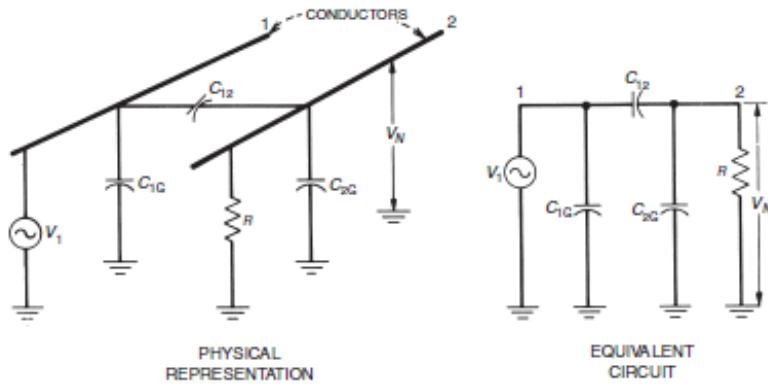


Figura 17 – Acoplamento Capacitivo.

FONTE: ALEXANDERSSON, S., 2008, p.35.

De forma análoga ao acoplamento magnético, o potencial elétrico diferente entre os condutores causa o aparecimento de uma capacitância parasita C . O sinal V_1 interfere no condutor 2 através desta capacitância sendo esta a fonte de ruído no condutor 2.

O ruído proveniente dos modos de acoplamento indutivo e capacitivo pode ser modelado como indicado acima por uma fonte de tensão e uma fonte de corrente respectivamente.

2.4.6 Acoplamento Irradiado

Da mesma forma que os acoplamentos indutivos e capacitivos não são meio de condução entre emissor e receptor, mas neste modo temos o efeito do campo eletromagnético (região de campo distante) que é uma combinação dos de ambos.

Este acoplamento ocorre tanto pelos chicotes distribuídos pelo veículo como pelas trilhas em placas de circuito impresso destes módulos de controle. Devido às dimensões os chicotes atuam como antenas para frequências até 20 MHz e trilhas de circuito impresso para a faixa de 20 a 200MHz. (ALEXANDERSSON, S., 2008). A Figura 18 apresenta o Modelamento do acoplamento irradiado.

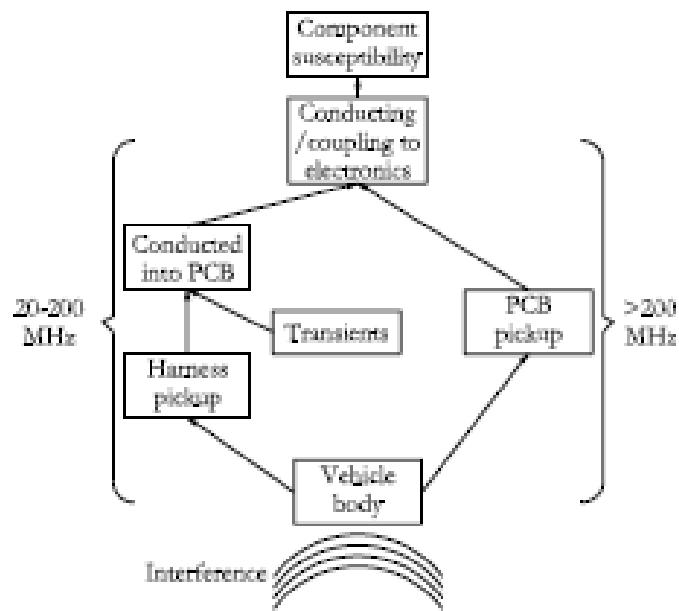


Figura 18 – Modelamento do Acoplamento Irradiado.

FONTE: ALEXANDERSSON, S., 2008, p.10.

2.4.7 Antenas

Definição: Antenas são dispositivos aplicados na transmissão e/ou recepção de ondas eletromagnéticas (IMPACTO). Se um equipamento irradia ou é susceptível, certamente ali existe uma antena, mesmo que lhe atribuamos outro nome como chicote, trilha, circuito integrado etc. (OTT, H., 2009, p746).

Desta forma pode-se inicialmente considerar dois tipos de antena:

Intencionais - construídas e posicionadas para recepção ou transmissão de sinal ex.: antena do rádio, antena do celular, antena do GPS, rastreador.

Não Intencionais - trilhas de circuito impresso, chicotes elétricos.

Considerando antenas intencionais, dois tipos são muito comuns:

- Meia onda
- Quarto de onda.

Esta nomenclatura é dada devido a comprimento físico da antena em relação ao comprimento de onda a qual se destina. A Figura 19 apresenta um comparativo do comprimento de onda de um sinal senoidal e o tamanho físico de uma antena.

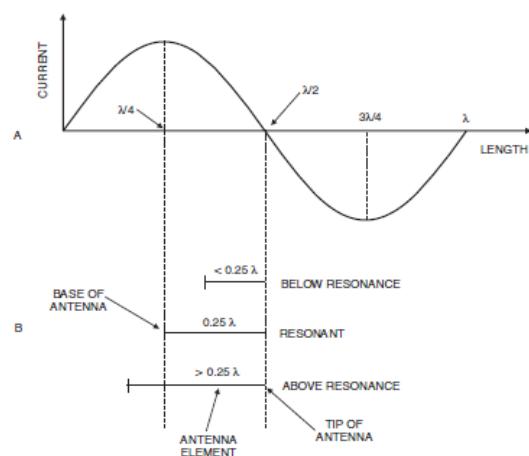


Figura 19 – Comparativo do comprimento de onda de um sinal Senoidal e o tamanho físico de uma antena.

FONTE: OTT, H., 2009, p.758.

Exemplo: Uma antena de meia onda usada para um sinal de 100MHz tem o comprimento de aproximadamente 1,5m(RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.29).

Uma antena de quarto de onda para a mesma frequência teria 0,75m de comprimento. A Figura 20 apresenta um padrão de campo de uma antena dipolo e monopoloo.

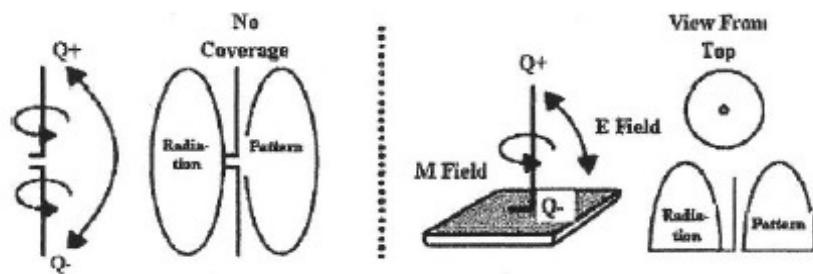


Figura 20 – Padrão de campo de uma antena dipolo e monopoloo.

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.30.

A figura 20 apresenta padrões típicos de radiação, onde pode-se ver um dipolo de meia onda e um monopoloo de quarto de onda.

Considerando a teoria do campo eletromagnético, podemos considerar as capacitâncias parasitas entre os elementos da antena, como a via de retorno para a corrente circulante o dipolo, em altas frequências esta capacitância tem o efeito de baixa impedância, permitindo assim a circulação de corrente no dipolo como indicado na figura abaixo. A Figura 21 apresenta a capacitância e circulação de corrente na antena dipolo.

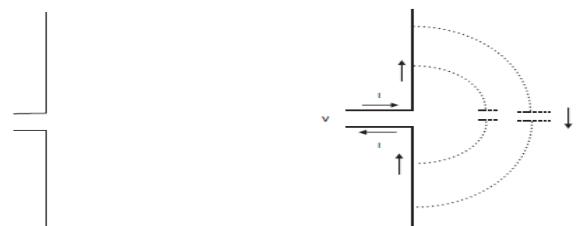


Figura 21 – Capacitância e circulação de corrente na antena dipolo.

FONTE: OTT, H., 2009, p.747.

Considerando o monopolo, este opera de forma análoga ao dipolo, mas o “segundo braço” é substituído por um plano de referência, como indicada na figura abaixo.

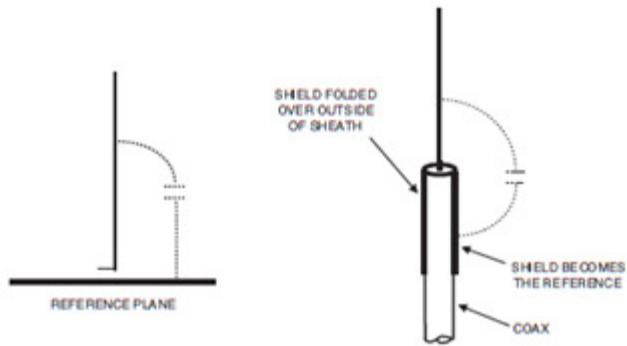


Figura 22 – Capacitância e circulação de corrente na antena monopolo.

FONTE: OTT, H., 2009, p.749.

Podemos modelar as antenas como circuitos RLC como indicado abaixo:

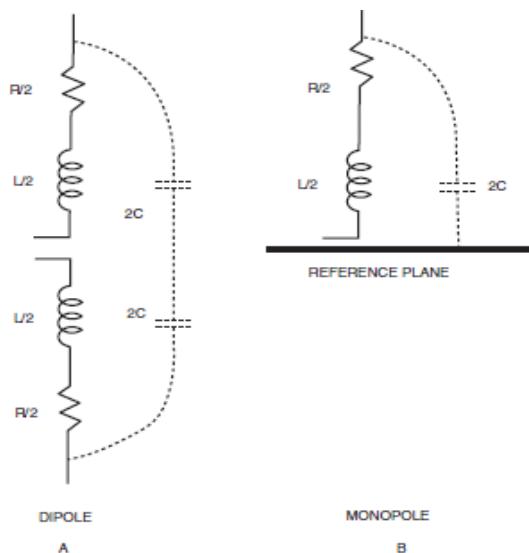


Figura 23 – Modelamento de antena dipolo e monopolo.

FONTE: OTT, H., 2009, p.757.

Sendo modelado como um circuito RLC, logo temos uma frequência de ressonância e uma impedância de ressonância – monopolo 35 Ohms dipolo 70 Ohms.

Voltando a teoria eletromagnética, quando sinal de frequência compatível com meia onda e quarto de onda tem-se uma distribuição de corrente onde atinge o máximo na base da antena e o mínimo no topo da mesma, nesta situação temos a frequência de ressonância da antena como indicado na figura 19.

Antenas não intencionais – As mesmas regras aplicadas as antenas intencionais aplicam-se as não intencionais, trilhas de placa de circuito impresso cabos podem atuar com antenas. Trilhas de circuito impresso, com dimensões reduzidas podem ser tornar antenas de altas frequências, associando a estes cabos podemos ter uma série de antenas em um mesmo circuito.

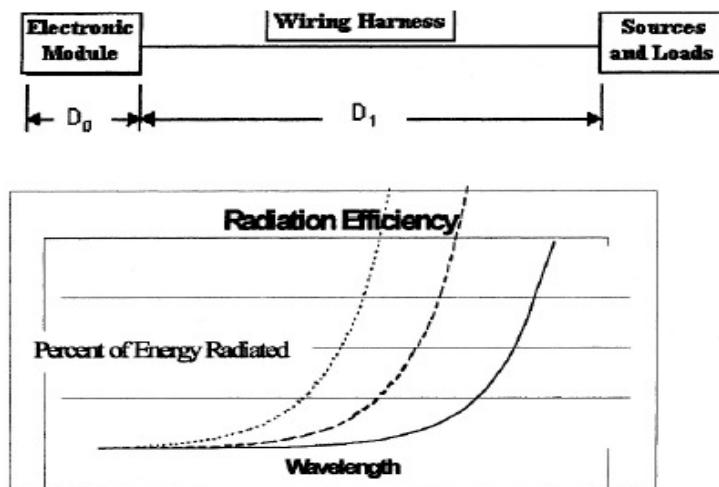


Figure 4.10 Role Of Conductor Length In Energy Transfer

| | |
|--------------|---------|
| Length D0+D1 | Legend: |
| Length D1 | ----- |
| Length D0 | _____ |

Figura 24 – Papel do condutor no aumento da eficiência do sinal irradiado.

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.36.

Característica de antenas:

Reciprocidade – A antena é um dispositivo de duas vias, o mesmo dispositivo pode ser utilizado para a transmissão de um sinal quanto para a recepção do mesmo, em outras palavras, dada a frequência de ressonância uma antena proposta para transmitir um sinal pode captar um sinal.

Diretividade – Direção onde podemos encontrar a maior concentração de energia transmitida.

Ganho – É a razão entre os pontos do padrão de irradiação em relação a uma antena padrão.

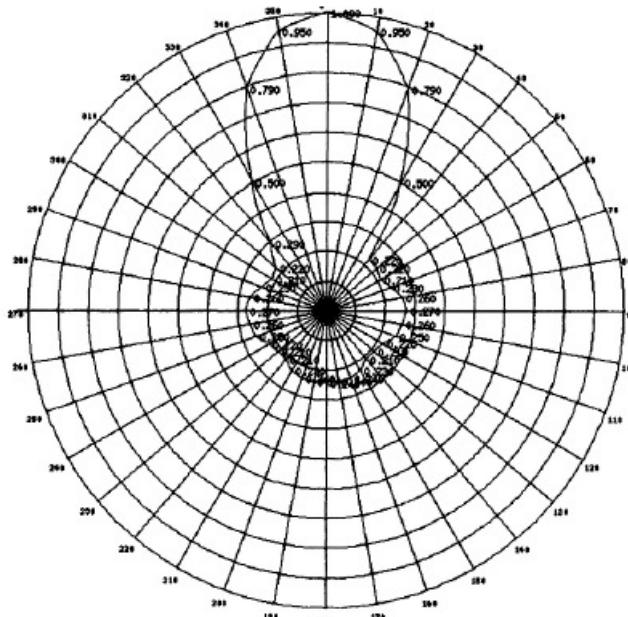


Figura 25 – Diagrama de Irradiação de uma antena.

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.28.

2.4.8 Linha de Transmissão

Linha Transmissão por definição é o conjunto de dois ou mais condutores paralelos próximos entre si. A função destes condutores é transmitir informações ou potência da fonte para a carga.

Devido a fato da condução elétrica, e portanto movimentação de cargas, temos os efeitos de campos magnéticos elétricos como apresentado na figura abaixo:

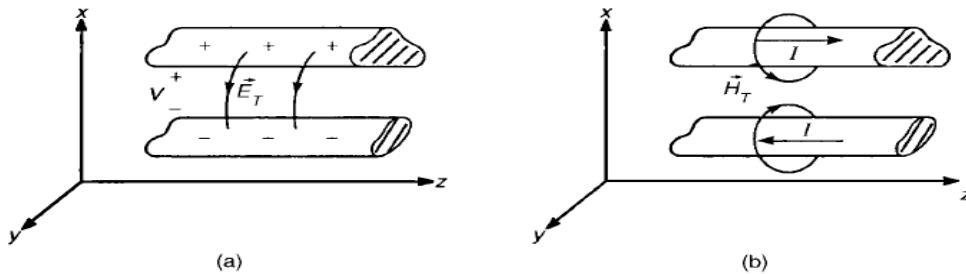


Figura 26 – Campos Elétricos e Magnéticos em condutores paralelos.

FONTE: PAUL, C., 2006, p.181.

Assim associamos as linhas de transmissão características de capacitâncias e indutâncias distribuídas. Ainda como temos um condutor onde a resistência é diferente de zero temos o modelo abaixo:

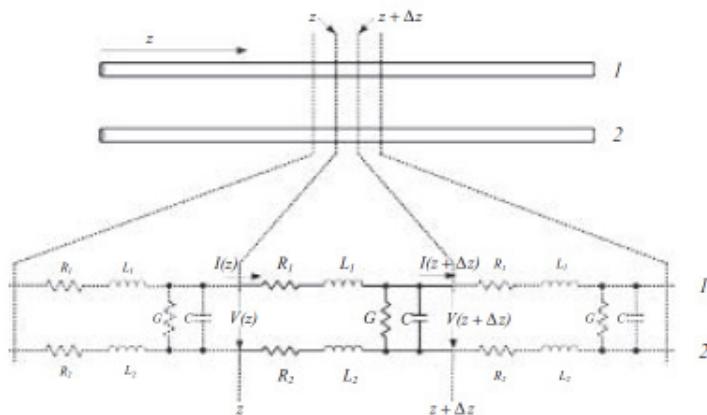


Figura 27 – Características distribuídas em uma linha de transmissão.

FONTE: HUANG, Y., BOYLE, K., 2008, p.26.

Onde:

$$L = \text{indutância/metro} - \text{H/m}$$

$$R = \text{Resistência/metro} - \Omega/\text{m}$$

$$C = \text{Capacitância/metro} - \text{F/m}$$

$$G = \text{Condutância/metro} - \text{S/m}$$

2.4.9 CROSSTALK

É o Acoplamento entre um conjunto de conectores, esta interferência ocorre devido à proximidade entre os condutores, a interferência causada por campo próximo (Nascimento, 2003).

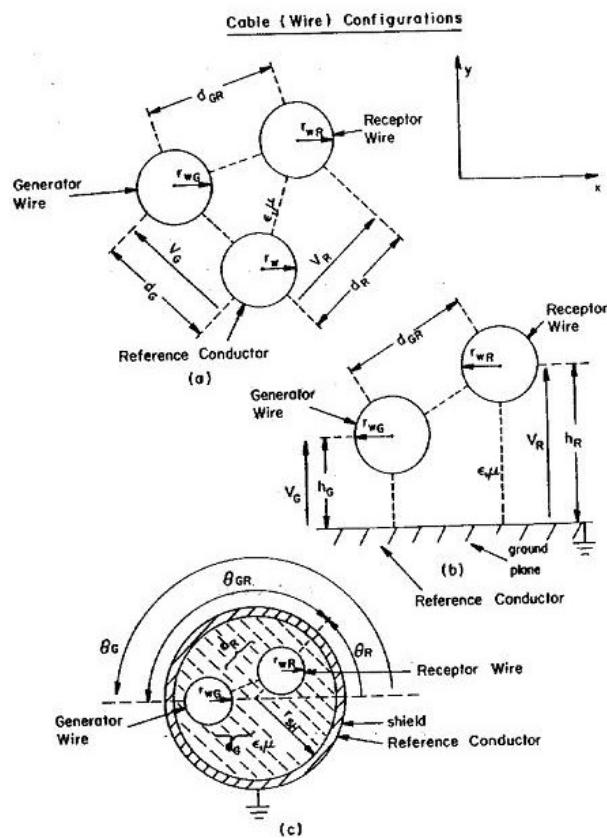


Figura 28 – Linha de transmissão multicondutor.

FONTE: NASCIMENTO, G., 2003, p.19.

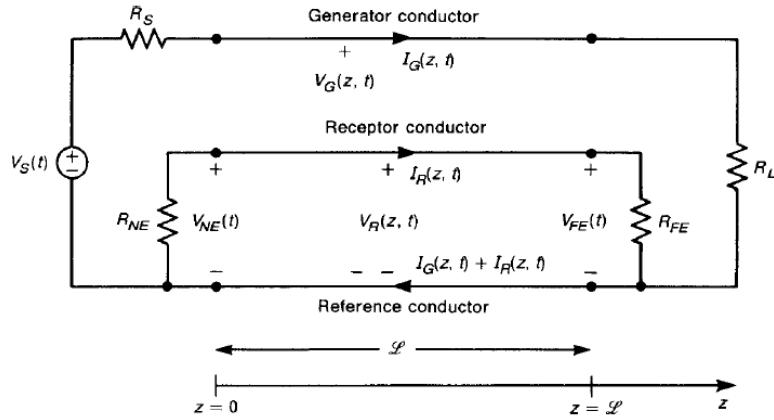


Figura 29 – Modelamento de interferência por Crosstalk.

FONTE: PAUL, C., 2006, p.584.

Chicotes automotivos transportam uma grande variedade de sinais, por exemplo, redes CAN, redes LIN, Alimentação de motores elétricos com altas correntes, dados de sistema multimídia. Todos estes condutores são agrupados e posicionados através da estrutura do veículo, sendo o a condição para que haja o crosstalk.

Efeitos do Crosstalk:

- Aumento dos níveis de ruídos;
- Picos nos de tensão/corrente indesejados;
- Perda de sincronismo em sistemas digitais.

2.4.10 Blindagem e Filtro

Blindagem

O Objetivo da blindagem é atenuar e/ou bloquear a emissão ou captação de sinais eletromagnéticos. Stefka apresenta a função da blindagem em dois tópicos:

- Manter emissões dentro da área blindada.
- Manter sinais interferentes fora da área blindada.

De uma forma resumida e intuitiva, a blindagem é uma barreira, como exemplificado na figura abaixo:

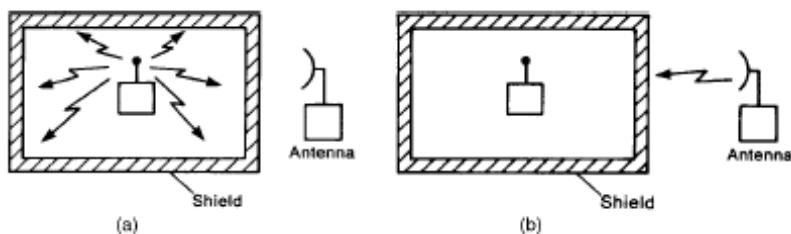


Figura 30 – Blindagem de um circuito.

FONTE: PAUL, C., 2006, p.714.

A blindagem reduz a intensidade de do sinal interferente de duas formas:

Reflexão – Ocorre devido a diferença da impedância característica do campo incidente e da impedância da blindagem onde a permeabilidade também varia.

Absorção – O material atenua a onda incidente, de forma que a intensidade do campo é reduzida no sobre o dispositivo blindado.

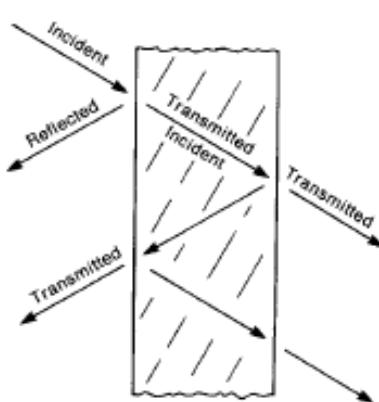


Figura 31 – Mecanismo da atenuação por blindagem.

FONTE: PAUL, C., 2006, p.714.

O conceito de filtro também é intuitivo, trata-se do uso de elementos que impeçam o sinal de interferência de entrar ou sair do sistema através de atenuação ou reflexão do sinal indesejado. Normalmente os filtros são feitos de elementos resistivos, indutivos. Abaixo algumas configurações de filtros:

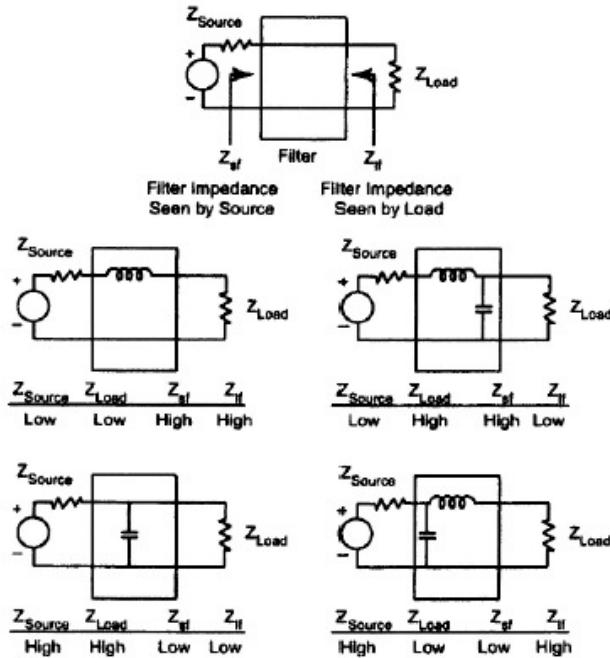


Figura 32 – Modelos de filtro.

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.82.

2.5 Normalização EMC

Duas organizações tem por responsabilidade o desenvolvimento de normas para o setor automotivo (Pires 2008):

ISO – Organização Internacional para Padronização – ISO (International Organization for Standardization): Organização não-governamental, composta por uma rede de institutos de padronização nacionais de 151 países.(PIRES 2008, p.25).

CISPR – Comitê Internacional Especial para Interferência de Radio (Special International Committee for Radio Interference): Organização Grupo não-governamental formado por

comitês integrantes da Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC (International Electrotechnical Commission). (PIRES 2008, p.25).

Na Europa, A Comissão Europeia (EC) é responsável pelo desenvolvimento das normas e tem caráter governamental. A diretiva 2004/104/EC, indica as normas ISO e CISPR como referência para a execução dos testes. (PIRES 2008, p.25).

Nos Estados Unidos, o Sociedade de Engenharia Automotiva - SAE (Society of Automotive Engineers) tem a responsabilidade sobre as normas do setor automotivo.(Pires 2008).

No Brasil, a ABNT através do Grupo de trabalho Interferência Eletromagnética Comitê Automotivo e a Comissão de Estudo em Eletrônica, é responsável pelas normas no setor automotivo. (Pires 2008, p.25).

2.5.1 Divisão das Normas

As normas para EMC são divididas dentro em cinco categorias como apresentada na figura 33.

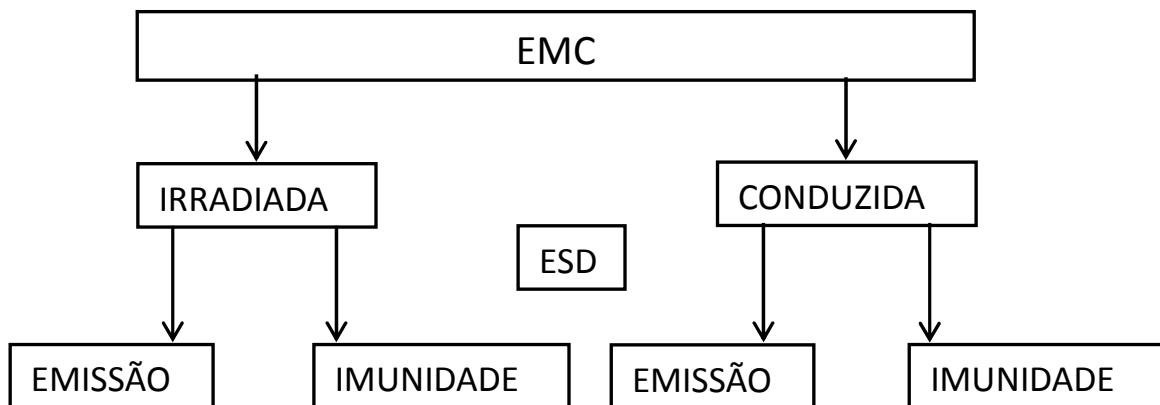


Figura 33 – Divisão dos testes de EMC.

FONTE: RYBAK, T., STEFFKA, M., 2004, p.115.

Por simplificação usa-se os seguintes termos:

- RE – Emissões irradiadas.
- RI – Imunidade Irradiada.

- CE – Emissões conduzidas.
- CI – Imunidade Conduzida.
- ESD – Descargas Eletrostáticas.

| Normas Internacionais | | |
|-----------------------|-----------|------------------|
| Teste | Norma | Aplicação |
| CE | ISO7637 | Módulos |
| RE | SAE J551 | Veículo Completo |
| | CISPR25 | Módulos |
| | CISPR12 | Veículo Completo |
| CI | SAE J1113 | Módulos |
| RI | SAE J551 | Veículo Completo |
| | SAE J1113 | Módulos |
| | ISO11451 | Veículo Completo |
| | ISO11452 | Módulos |
| ESD | ISO 10605 | Módulos |
| | SAE J1113 | Módulos |

Tabela 2 - Normas Internacionais.

2.5.2 Emissão Irradiada (RI) e Imunidade Irradiada (RE)

Emissões – Podemos destacar 3 fontes de emissões Irradiadas:

- Transientes gerados pelo veículo, durante o ciclo de ignição, ao acionar cargas como vidros elétricos, faróis, neste momento o chicote pode atuar como antenas irradiando estes sinais.
- Sistemas eletrônicos, que possuem sistemas digitais de alta velocidade como microcontroladores e microprocessadores digitais, trabalhando em frequências maiores que 100MHz, gerando harmônicos com frequências muito superiores. Estes sinais são associados a emissão de banda estreita. Podendo ser irradiados diretamente pelas placas de circuito impresso, e interconexões com chicotes.
- Controles PWM para motores, controle de luminosidade. Considerando que a frequência de chaveamento está na faixa dos kHz, seus harmônicos podem gerar sinais dentro da faixa de MHz.

Em geral estes componentes geram sinais da ordem de uV/m ou mV/m o que realmente muda quando olhamos o sistema de ignição, que potencialmente geram sinais grandes o suficiente para gerar interferências em sistemas adjacentes.

Imunidade irradiada – veículos são por natureza elementos móveis, dessa forma estão sujeitos aos mais diversos ambientes eletromagnéticos. Considerando os mais severos, podemos ter emissões criadas por Transmissoras de radio, telefones celulares, antenas de micro ondas, sistemas de radares. Todos estes são fontes de sinais de banda estreita, e geram potências da ordem de MW e este podem causar interferências nos sistemas eletrônicos, caso este apresente baixa imunidade à interferências.

| Fonte | Intensidade do campo |
|---|----------------------|
| linhas de transmissão de energia 50 Hz | 10kV/m |
| Transmissoras de Rádio | 10V/m |
| Transmissoras de VHF | 1V/m |
| Transmissoras de UHF | 1V/m |
| Aparelhos de telefonia Celular, Radio amador, radio faixa do cidadão. | 10 -100V/m |

Tabela 3 - Intensidade de Campo no ambiente automotivo.
Fonte Pires 2006, p33.

Na tabela 3 são apresentados os valores de campos gerados por celulares e rádios sua intensidade se deve ao fato da proximidade dos veículos do que antenas de transmissão no alto de torres e/ou edifícios.

2.5.3 Emissão Conduzida (CE) e Imunidade Conduzida (CI)

Considerando que não existe conexão entre o veículo e uma fonte de energia externa, interferências conduzidas, são causadas e sentidas no próprio carro.

Em geral emissões conduzidas são geradas, pela comutação de reles, motores com escovas e outros componentes com características indutivas. Geralmente apresentam-se em forma de transientes, conduzidos através dos chicotes de alimentação e espalhando-se por todo o veículo. Estes transientes podem ter amplitudes de até 200V, e são capazes de afetar o funcionamento de outros equipamentos presentes no veículo.

Este teste é realizado conectando-se a fonte um simulador de pulsos, ao circuito de alimentação, e tomando-se as medidas através de LISN – line impedance stabilization network, esta casa a impedância dos instrumentos de medição com do circuito testado.

Como estes pulsos são inerentes ao funcionamento do veículo, a solução utilizada pelo fabricante é construir circuitos que suportem estes transientes de forma que não haja degradação de seu desempenho ou funcionamento.

2.5.4 ESD

Descarga eletrostática é um fenômeno conhecido desde a Grécia antiga. Primeiramente devido ao acúmulo de carga em uma superfície devido ao atrito entre dois materiais isolantes diferentes. Abaixo segue a tabela de cargas.

| | Humidade Relativa do ar | |
|------------------------------------|-------------------------|----------|
| | 10 a 20% | 65 a 90% |
| Forma de carga | Tensão acumulada V | |
| Andar em carpete | 35000 | 1500 |
| Andar em piso de Vinil | 12000 | 250 |
| Trabalho em bancada | 6000 | 100 |
| Abrir um envelope de Vinil | 7000 | 600 |
| Carregar uma sacola de polietileno | 20000 | 1200 |
| Atrito com espuma de poliuretano | 18000 | 1500 |

Tabela 4 - Valores típicos de ESD.

Como o uso de transistores MOS, e sua constante redução de suas dimensões físicas para aplicações em circuitos integrados a ESD tornou-se também um fator crítico para a eletrônica, em algumas situações a carga acumulada pode chegar até a 35kV, vide tabela 4.

A descarga eletrostática tem 3 fases:

1. Carga gerada no isolante.
2. Transferência para o condutor por contato ou indução.
3. O condutor é aproximado de um objeto metálico e a descarga ocorre.

O modelo do corpo humano para ESD é apresentado abaixo. O capacitor CB é carregado por atrito ou outro processo, e a descarga passa por RB (Resistência elétrica do corpo, que pode variar, dependendo da área de contato, de 500Ω a $10k\Omega$).

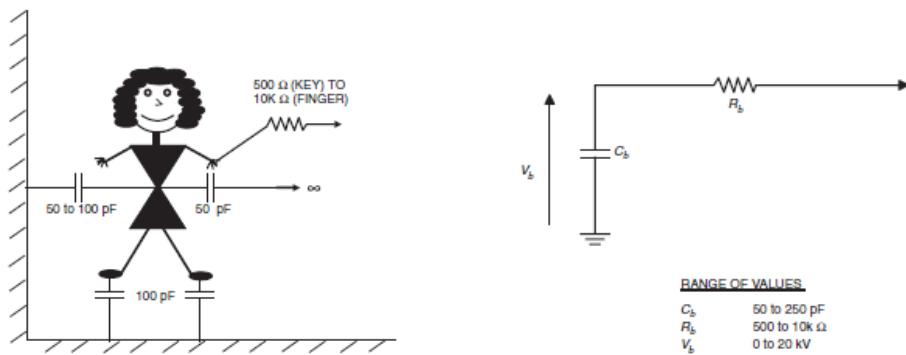


Figura 34 – Modelo do corpo humano para descarga eletrostática.

FONTE: OTT, H., 2009, p.587-588.

Abaixo a curva de descarga eletrostática.

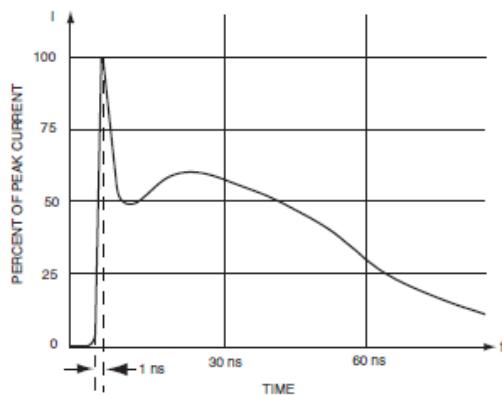


Figura 34 – Curva de descarga eletrostática – corrente x tempo.

FONTE: OTT, H., 2009, p.588.

3 MÉTODO

3.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os testes de EMC executados em um Relé genérico.

Os testes apresentados foram realizados nas instalações do INPE, devido ao tempo necessário para a execução dos testes, o Relé foi testado segundo a norma GMW3097 de forma a otimizar o tempo de uso das instalações.

3.2 Teste de EMC

3.2.1 Relé

Este Relé tem duas funções, acionamento de carga quando energizado e um pino para funcionamento temporizado. Como indicado no diagrama abaixo:

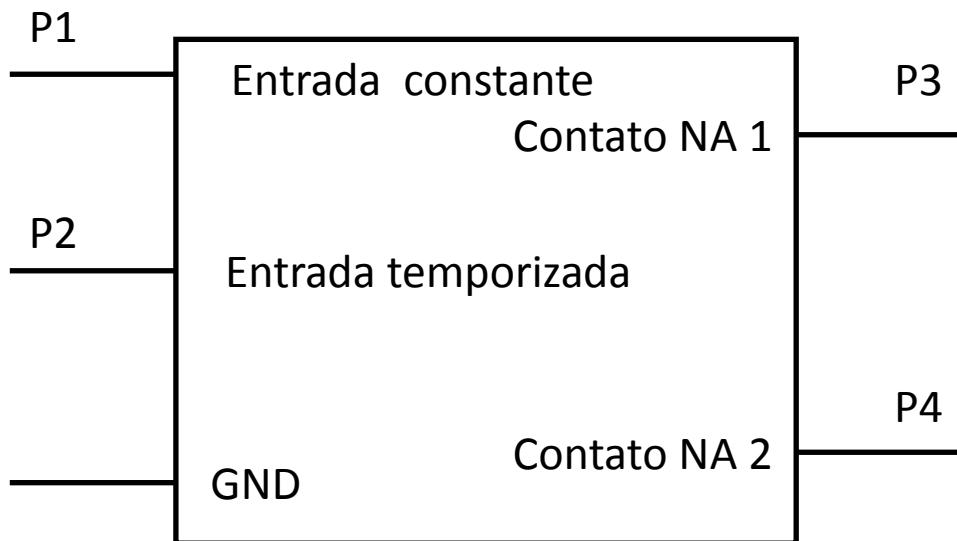


Figura 35 – Diagrama do Relé

Quando acionado pelo terminal Entrada constante o Relé fecha o circuito entre os terminais NA1 e NA2, e mantém esta condição enquanto o terminal for alimentado.

Quando acionado pelo terminal Entrada temp, o circuito entre os terminais NA1 e NA2 é fechado e aberto em uma frequência de 0,5Hz.

Abaixo a construção interna



Figura 36 – Construção Interna do Relé.

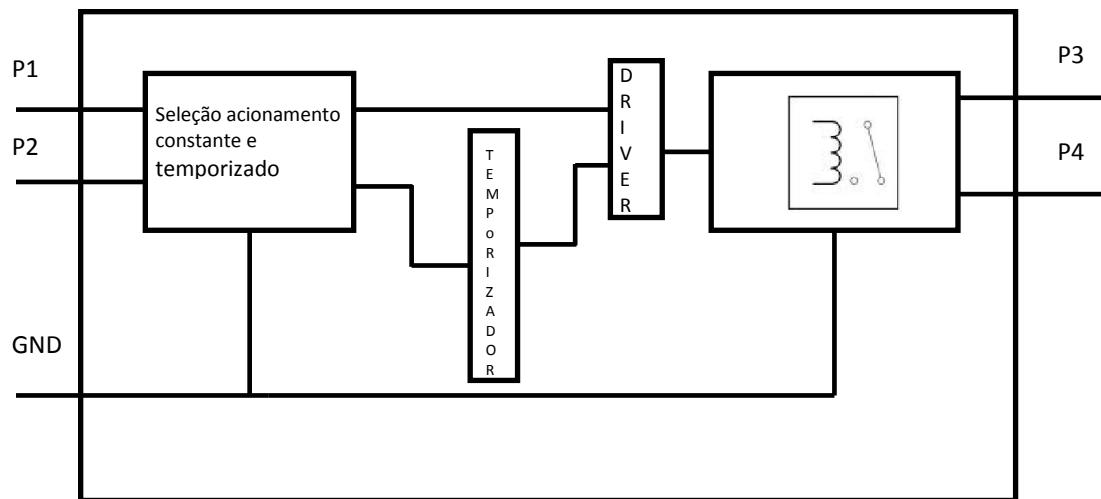


Figura 37 – Diagrama de Blocos do circuito do Relé.

Para testar este Relé foram selecionados os teste de CI, RI, RE, CE segundo a norma GMW 3097.

Esta seleção de testes é feita por meio de um plano de testes, que nada mais é do que uma descrição detalhada das funções a serem testadas para cada disciplina do teste de EMC.

3.2.2 Descrição dos testes

RI – o objetivo do teste é demonstrar a imunidade a campos EM, produzidos por fontes externas.

Este teste é executado dentro de uma câmara anecoica de forma a ficar isolado de fontes de interferências externas.

Abaixo o diagrama com a montagem da bancada de testes:

- 1 – Equipamento sob teste
- 2 – Chicote elétrico padrão
- 3 – Simulador de Carga
- 4 – Fonte
- 5 – LISN
- 6 – Plano de Terra
- 7 – Antena
- 8 – Antena
- 9 – Ligação com o Terra da Câmara
- 10 – Cabo Coaxial
- 11 – Conexão
- 12 – Instrumentação
- 13 – Material de absorção de RF
- 14 – Conexão da antena
- 15 – Sistema de monitoramento e controle

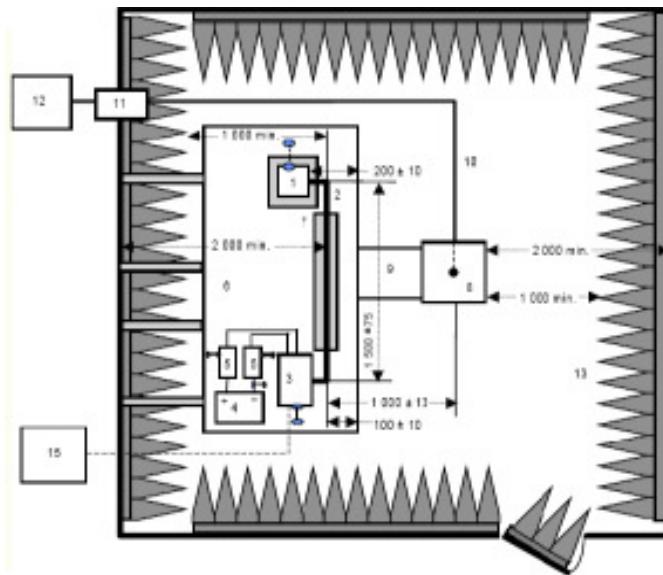


Figura 38 – Diagrama da montagem física do teste.

FONTE: BARTHUS, M., 2012, p.8.

| Equipamento | Modelo | Fabricante |
|--------------------------|---------------|------------------|
| Câmara anecoida | - | ETS Lindgren |
| Antena DRG HORN | 3112 | ETS Lindgren |
| Antena Horn | S17010-43-1-1 | FSA |
| Gerador de sinal | SML01 | R&S |
| Gerador de sinal | SMR40 | R&S |
| Amplificador | 2000W | AR |
| Amplificador | AS-0102-400 | MILMEGA |
| Sensor de campo elétrico | HI-4422 | ETS Lindgren |
| Sensor de campo elétrico | HI-4455 | ETS Lindgren |
| LISN | NNBM8126G | Schwarzbeck Mess |
| Power meter | NRVD | R&S |
| Power meter | NRVD | R&S |
| Sensor de Potência | URV5-Z2 | R&S |
| Sensor de Potência | URV5-Z15 | R&S |

Tabela 5 – Equipamentos de teste Imunidade Irradiada.

Configuração do teste

| Range de Frequência MHz | Intensidade do Campo V/m | Modulação | Polarização |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------|
| 400 – 1000 | 40 | CW e AM 80% 1kHz | V |
| 800 – 1000 | 50 | PM: 577us; 217 Hz | V |
| 1000 – 2000 | 50 | CW, PM: 577us; 217 Hz | V |
| 1200 – 1400 | 600 | PM:3,0 us 300,0 Hz | V |

Tabela 6 – Faixa de frequências, intensidade de campo, modulação e polarização.

RE emissões irradiadas

| Equipamento | Modelo | Fabricante |
|---------------------------|----------------|-------------------|
| Câmara Anecóida | - | ETS Lindgren |
| Antena Monopolô | 3104 | ETS Lindgren |
| Antena Log Periodic | 1348b | FSA |
| Antena Double Ridge Guide | 3117 | R&S |
| Pre Amplificador | TSPR1 | AR |
| Pre Amplificador | TSPR18 | MILMEGA |
| Test Receiver | ESIB40 | ETS Lindgren |
| LISN | 9117-5-TS-50-N | Solar Electronics |
| Power meter | NRVD | R&S |

Tabela 7 – Equipamentos de teste de Emissões Irradiadas.

Este teste é executado dentro de uma câmara anecóica de forma a ficar isolado de fontes de interferências externas.

Abaixo o diagrama com a montagem da bancada de testes:

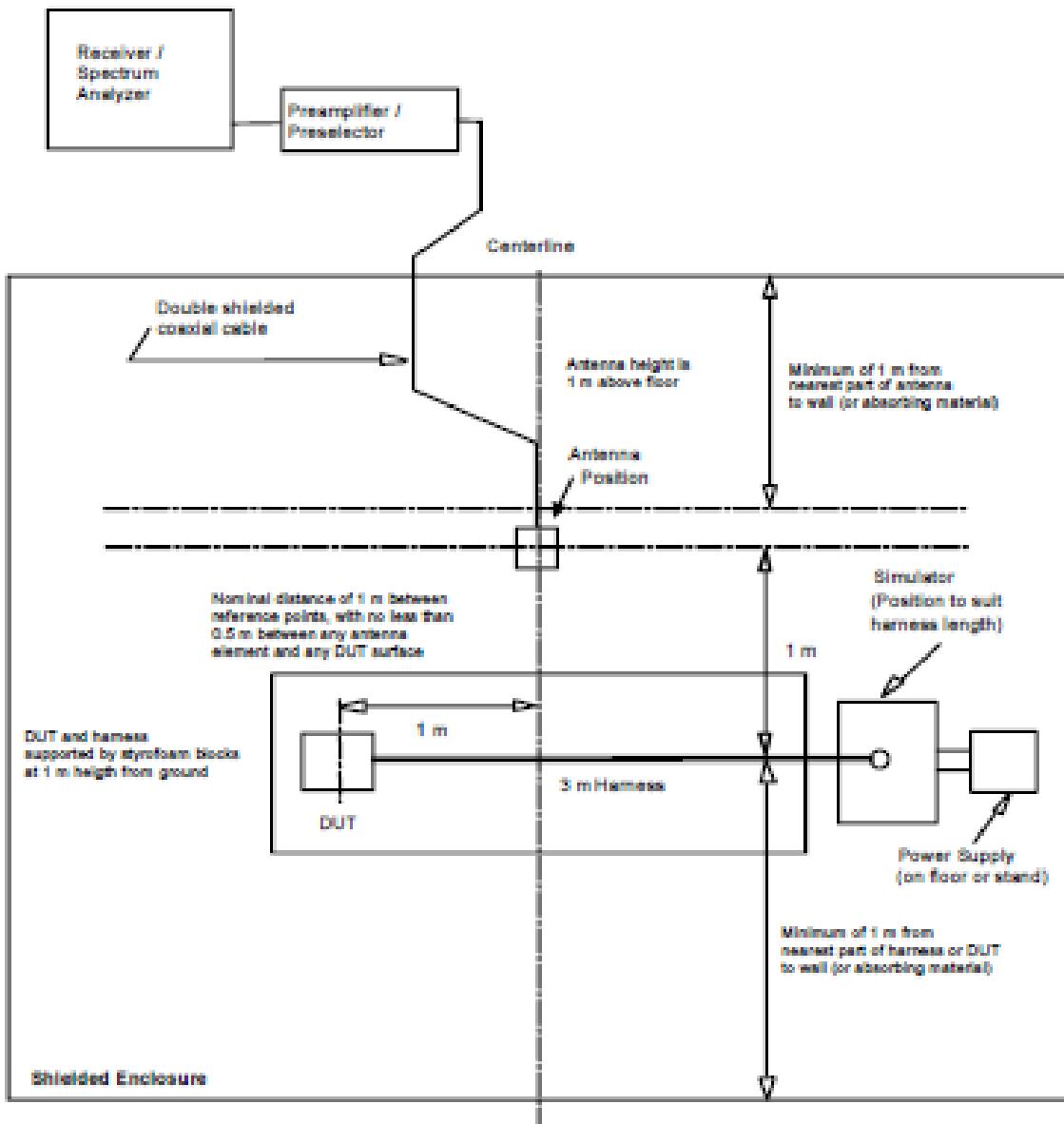


Figura 39 – Diagrama da montagem física do teste.

FONTE: GMW3097, 2004, p.13.

CI – Transientes nas linhas de alimentação:

| Equipamento | Modelo | Fabricante |
|-----------------------|---------------|------------|
| Gerador de Transiente | NSG 5000 V.12 | Schaffner |

Tabela 8 – Equipamentos de teste de Imunidade Conduzida.

Configuração do Teste

| Pulso | Configuração |
|-------|---|
| 1 | Us= -150V, Tr=1us, Td=2ms, T1=0,5s,T2=200ms, Ri=10Ω Número de Pulso = 500 |
| 2a | Us= 50V, Tr=3us, Td=50us, T1=0,5s, Ri=4Ω Número de Pulso = 500 |
| 2b | Us= 10V, Tr=1ms e 2ms, Td=1ms, T1=0,5s, Ri=4Ω Número de Pulso = 10 |
| 3a | Us= -200V, Tr=5ns, Td=0,1us, T1=100us, T4=10ms, T5=90ms, Ri=50Ω, Tempos = 10 min |
| 3b | Us= 100V, Tr=5ns, Td=0,1us, T1=100us, T4=10ms, T5=90ms, Ri=50Ω, Tempos = 10 min |
| 5b | Us= 34V +0/-1V, T1=15s, Ri=2Ω, Número de Pulso = 10 |

Tabela 9 – Configurações dos pulsos.

Abaixo o diagrama com a montagem da bancada de testes:

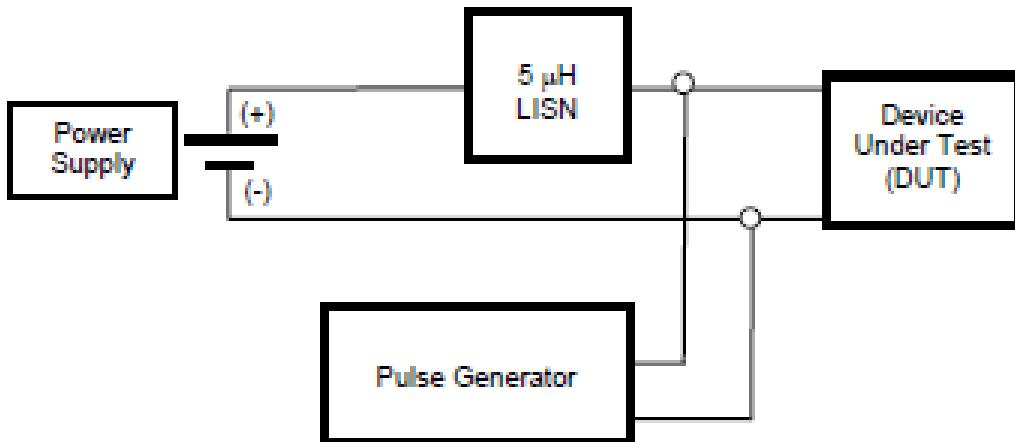


Figura 40 – Diagrama da montagem física do teste.

FONTE: GMW3097, 2004, p.26.

CE – O objetivo deste teste é verificar emissões conduzidas pelas linhas de alimentação, no domínio da frequência.

O Relé foi conectado através de uma LISN, de forma a adequar a impedância do sistema com os dos equipamentos de medição,

| Equipamento | Modelo | Fabricante |
|-----------------|----------------|-------------------|
| Câmara Anecoida | - | ETS Lindgren |
| LISN | 9117-5-TS-50-N | Solar Electronics |
| Test Receiver | ESIB40 | ETS Lindgren |

Tabela 10 – Equipamentos de teste de Emissões Conduzidas.

- 1 – Sistema de monitoramento e controle
- 2 – Chicote elétrico padrão
- 3 – LISN
- 4 – Equipamento sob teste
- 5 – Plano de terra
- 6 – Fonte

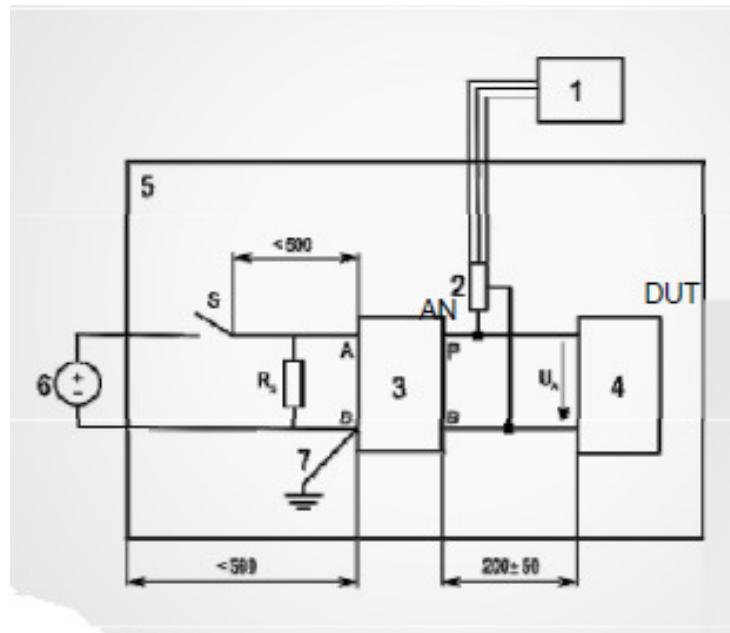


Figura 41 – Diagrama da montagem física do teste.

FONTE: BARTHUS, M., 2012, p.20.

ESD

Neste teste todos os pinos, carcaça, botões são submetidos a descargas elétricas simulando uma descarga eletrostática por manuseio.

| Equipamento | Modelo | Fabricante |
|-------------------------------------|--------|------------|
| Simulador de descarga eletrostática | ESD30N | EM TEST |
| Unidade de descarga portátil | P30N | EM TEST |

Tabela 11 – Equipamentos de teste de Descarga Eletrostática.

| Nível de Descarga | | |
|-------------------|---------|------------|
| Sequência | Tipo | Nível - kV |
| 1 | Contato | ± 4 |
| 2 | Contato | ± 6 |
| 3 | Contato | ± 8 |

Tabela 12 – Valores e modo de descarga.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 – Imunidade Irradiada – RI

O Relê foi submetido aos valores de Campo Eletromagnético indicados abaixo. Seu funcionamento é acompanhado através do monitor da sala de controle. Este teste visa verificar a imunidade a campos eletromagnéticos do circuito eletrônico utilizado neste Relé.

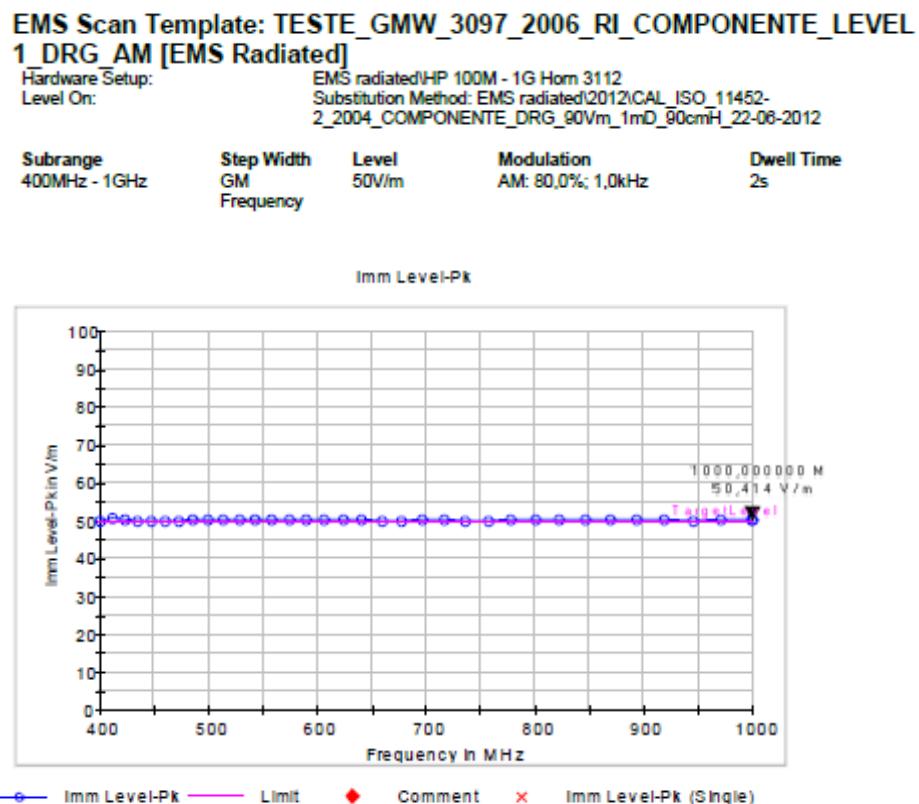


Figura 42 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz em Modulação AM.

**EMS Scan Template: TESTE_GMW_3097_2006_RI_COMPONENTE_LEVEL
1_DRG CW [EMS Radiated]**

Hardware Setup: EMS radiated IHP 100M - 1G Horn 3112
Level On: Substitution Method: EMS radiated/2012/CAL_ISO_11452-
2_2004_COMPONENTE_DRG_90Vm_1mD_90cmH_22-06-2012

| Subrange | Step Width | Level | Modulation | Dwell Time |
|---------------|--------------|-------|----------------|------------|
| 400MHz - 1GHz | GM Frequency | 50V/m | Modulation Off | 2s |

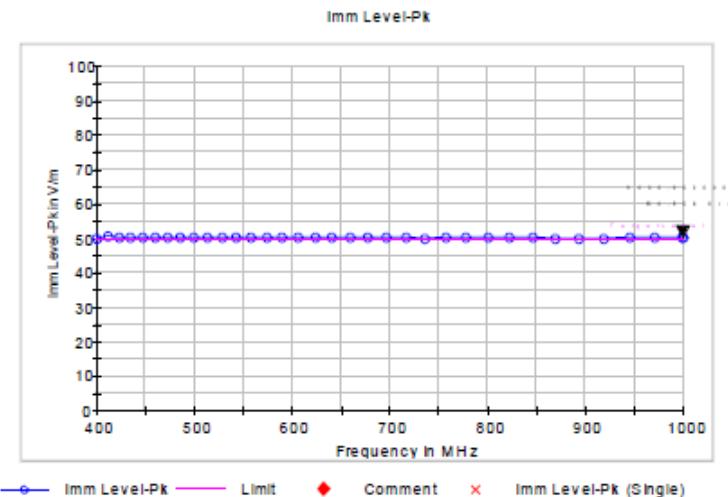


Figura 43 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz sem Modulação.

**EMS Scan Template: TESTE_GMW_3097_2006_RI_COMPONENTE_LEVEL
1_DRG PM [EMS Radiated]**

Hardware Setup: EMS radiated IHP 100M - 1G Horn 3112
Level On: Substitution Method: EMS radiated/2012/CAL_ISO_11452-
2_2004_COMPONENTE_DRG_90Vm_1mD_90cmH_22-06-2012

| Subrange | Step Width | Level | Modulation | Dwell Time |
|---------------|--------------|-------|----------------------|------------|
| 800MHz - 1GHz | GM Frequency | 50V/m | PM: 570.0μs; 217.0Hz | 2s |

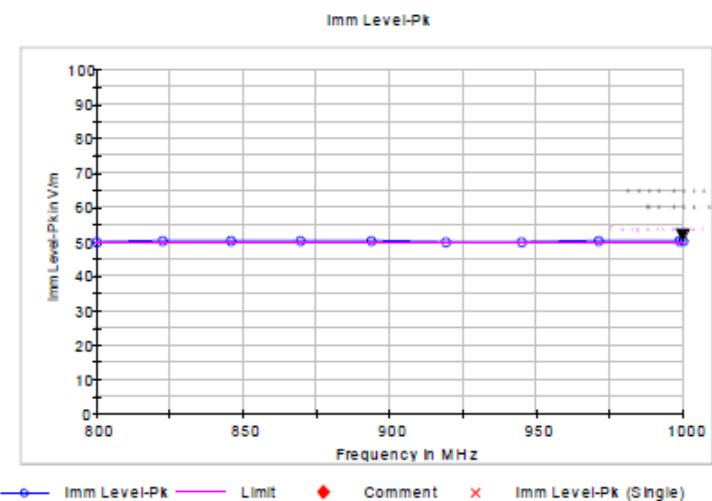


Figura 44 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 400MHz a 1 GHz em Modulação por Pulso.

**EMS Scan Template: TESTE_GMW_3097_2006_RI_COMPONENTE_LEVEL
1_HORN-1_CW [EMS Radiated]**

Hardware Setup:
Level On: EMS radiated(MW 1 - 40GHz)
Substitution Method: EMS radiated(CALIBRAÇÕES 2012)ISO11452-
2 - COMPONENTREF_CAL_ISO11452-
2_2004_COMPONENTE_HORN-1_90V_m_1mD_1,10mH_23-06-
2012

| Subrange 1GHz - 2GHz | Step Width GM Frequency | Level 50V/m | Modulation Modulation Off | Dwell Time 2s |
|-------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|------------------|
|-------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|------------------|

Imm Level-Pk

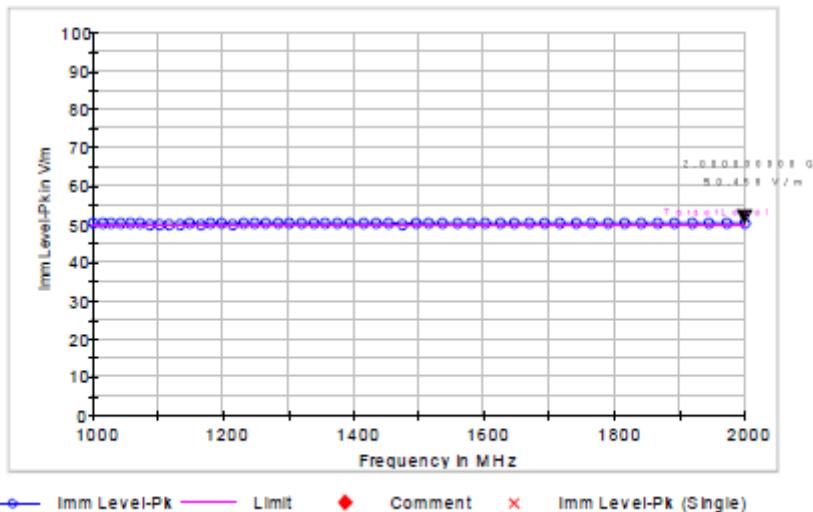


Figura 45 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 1GHz a 2GHz sem Modulação.

**EMS Scan Template: TESTE_GMW_3097_2006_RI_COMPONENTE_LEVEL
1_HORN-1_PM [EMS Radiated]**

Hardware Setup:
Level On: EMS radiated(MW 1 - 40GHz)
Substitution Method: EMS radiated(CALIBRAÇÕES 2012)ISO11452-
2 - COMPONENTREF_CAL_ISO11452-
2_2004_COMPONENTE_HORN-1_90V_m_1mD_1,10mH_23-06-
2012

| Subrange 1GHz - 2GHz | Step Width GM Frequency | Level 50V/m | Modulation PM: 577,0µs; 217,0Hz | Dwell Time 2s |
|-------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------|
|-------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------|

Imm Level-Pk

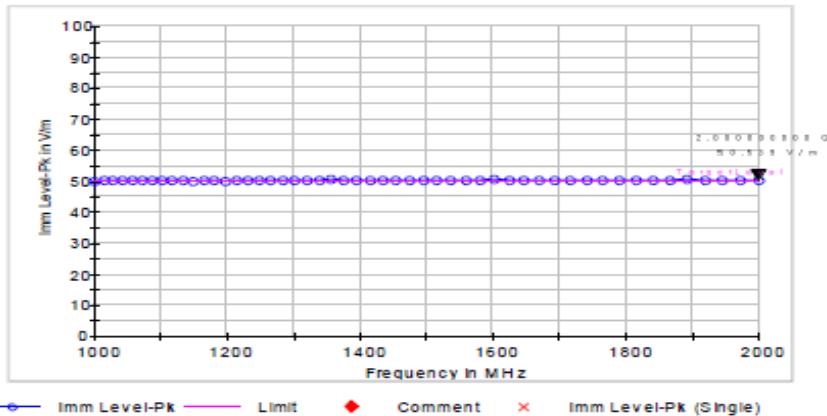


Figura 46 – Exposição a Campo de 50V/m em frequências de 1GHz a 2GHz em Modulação por Pulso.

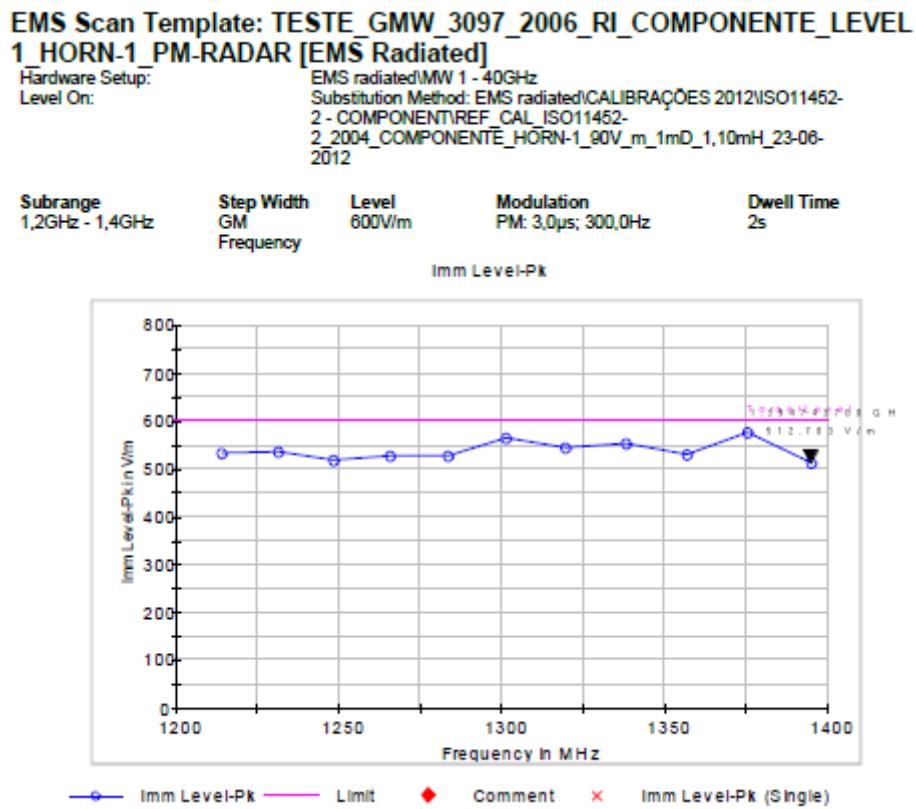


Figura 47 – Exposição a Campo de 600V/m em frequências de 1GHz a 2GHz em Modulação por Pulso.

Conclusão:

Não houve alteração do seu funcionamento durante a exposição do relé aos valores de campo eletromagnético mostrados nos gráficos.

4.2 Emissões Irradiadas – RE

Nos gráficos abaixo, são indicados em vermelho o limite estabelecido pela norma e em azul os valores de emissão captados durante o teste.

Para cada range de frequência um tipo específico de antena é utilizada, como indicado nos títulos dos gráficos.

Scan Setup: GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK - MONOPOLO [EMI radiated]

| | | | | | |
|--------------------|--------------|-----------|-------|------------|--------|
| Hardware Setup: | RE AUTO | | | | |
| Receiver: | [ESIB 40] | | | | |
| Level Unit: | dB μ V/m | | | | |
| Subrange | Step Size | Detectors | IF BW | Meas. Time | Preamp |
| 530 kHz - 1,71 MHz | 5 kHz | PK+ | 9 kHz | 0,1 s | 0 dB |

GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK - MONOPOLO

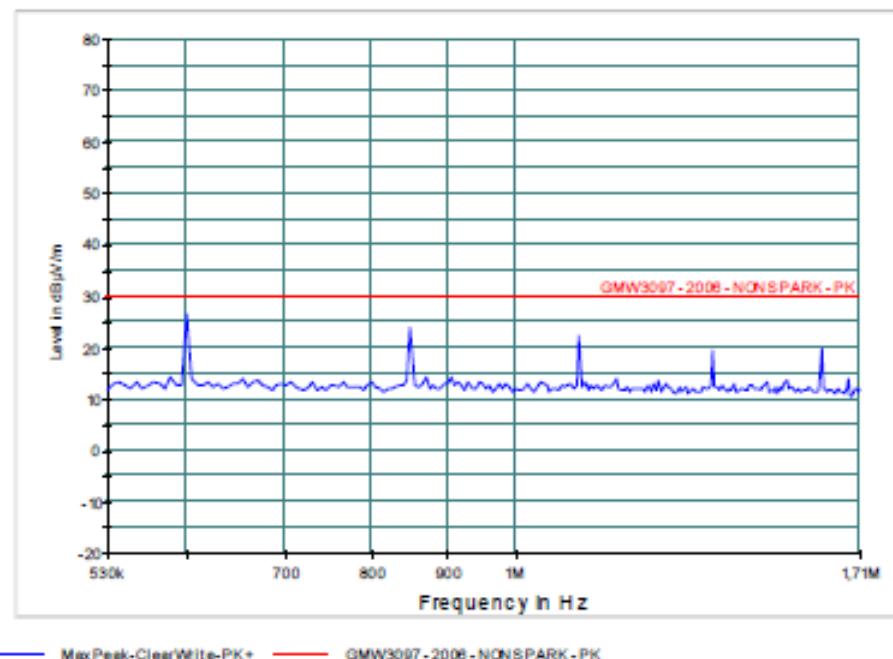


Figura 48 – Leitura de campo irradiado para frequências de 530kHz a 1.71MHz.

Scan Setup: GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK-AV - BICONICA [EMI radiated]

| | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------|-------|------------|--------------|
| Hardware Setup: | RE AUTO | | | | |
| Receiver: | [ESIB 40] | | | | |
| Level Unit: | dB μ V/m | | | | |
| Subrange | Step Size | Detectors | IF BW | Meas. Time | Preamplifier |
| 45.2 MHz - 47,8 MHz | 5 kHz | PK+; AVG | 9 kHz | 0,005 s | 20 dB |
| 62,5 MHz - 109,1 MHz | 5 kHz | PK+; AVG | 9 kHz | 0,005 s | 0 dB |
| 140,6 MHz - 200 MHz | 5 kHz | PK+; AVG | 9 kHz | 0,005 s | 0 dB |

GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK-AV - BICONICA

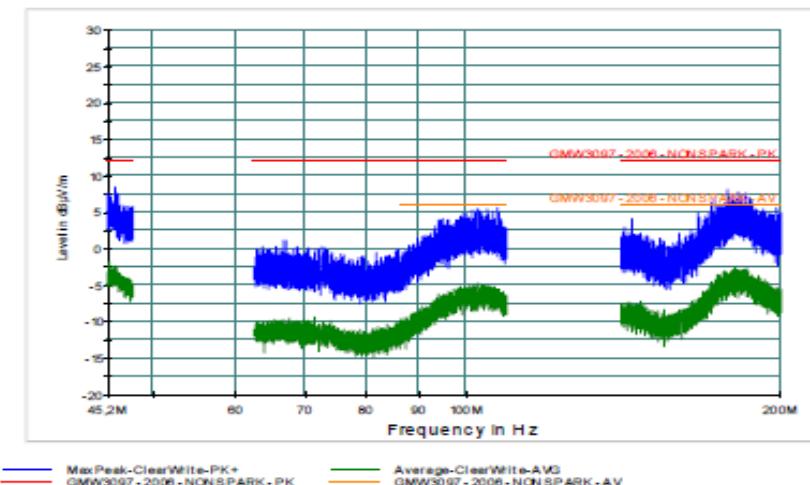


Figura 49 – Leitura de campo irradiado para frequências de 45.2MHz a 200MHz.

Scan Setup: GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK - LOG [EMI radiated]

| | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------|-------|------------|--------------|
| Hardware Setup: | RE AUTO | | | | |
| Receiver: | [ESIB 40] | | | | |
| Level Unit: | dB μ V/m | | | | |
| Subrange | Step Size | Detectors | IF BW | Meas. Time | Preamplifier |
| 200 MHz - 242,4 MHz | 5 kHz | PK+ | 9 kHz | 0,005 s | 0 dB |
| 310 MHz - 320 MHz | 5 kHz | PK+ | 9 kHz | 0,005 s | 0 dB |
| 429 MHz - 439 MHz | 5 kHz | PK+ | 9 kHz | 0,005 s | 0 dB |

GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK - LOG

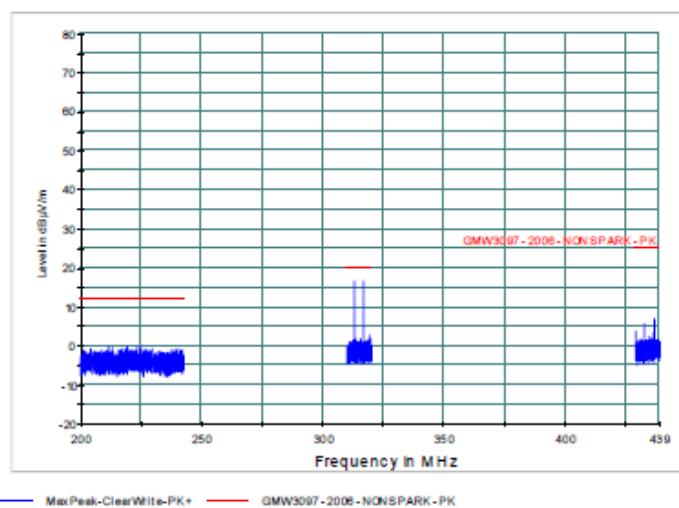


Figura 50 – Leitura de campo irradiado para Frequências de 200MHz a 439MHz.

Scan Setup: GMW 3097 - 2006 - NON SPARK AV - HORN [EMI radiated]

| | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Hardware Setup: | RE AUTO | | | | |
| Receiver: | [ESIB 40] | | | | |
| Level Unit: | dB μ V/m | | | | |
| Subrange 1.567 GHz - 1.583 GHz | Step Size 5 kHz | Detectors AVG | IF BW 9 kHz | Meas. Time 0,005 s | Preamp 0 dB |

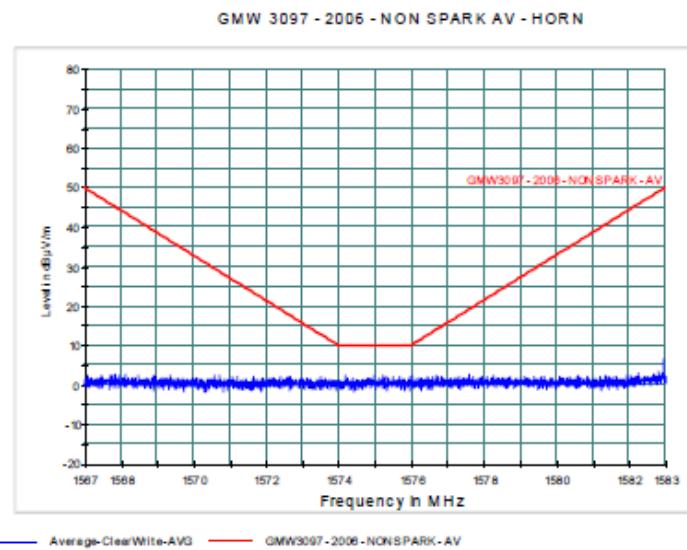


Figura 51 – Leitura de campo irradiado para frequências de 1.567MHz a 1.583MHz.

Conclusão:

Não foi detectado nenhuma emissão que ultrapassasse os valores limites impostos pela norma.

4.3 – Imunidade Conduzida – CI

Pulso 1

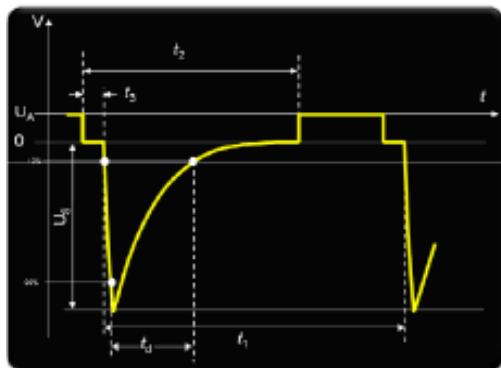


Figura 52 – Simulação de transientes causados por desconexão de cargas indutivas.

Durante o tempo t_2 , o rele desligou devido a inversão de polaridade. Assim que o alimentação 13.5V foi reestabelecida o Relé voltou ao seu funcionamento normal.

Pulso 2a

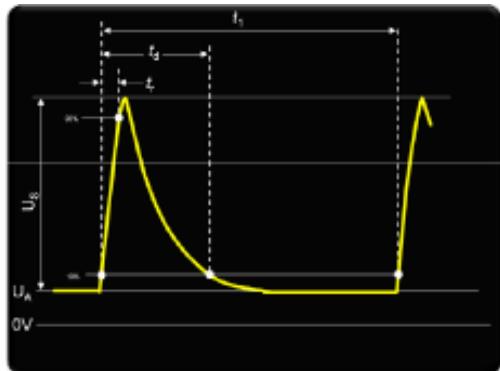


Figura 53 – Simulação trasientes causados pela indutância presente nos chicotes.

Não houve alteração do funcionamento do relê durante a aplicação do pulso.

Pulso 2b

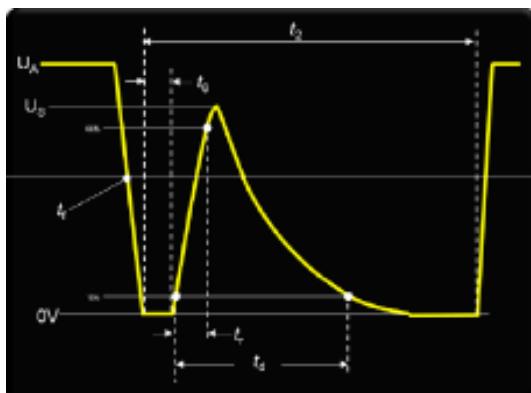


Figura 54 – Simulação de transientes causados por motores DC.

Não houve alteração do funcionamento do Relé durante a aplicação do pulso.

Pulso 3a/3b

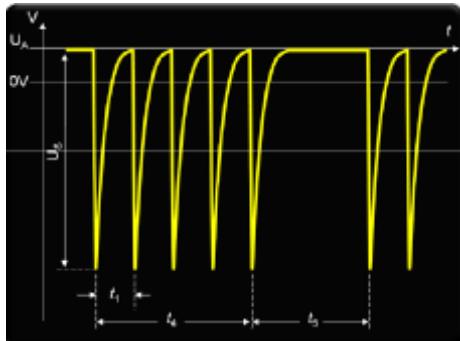


Figura 55 – Simulação de transientes causados por chavamento de alta freqüencia.

Não houve alteração do funcionamento do Relé durante a aplicação do pulso.

Pulso 5b

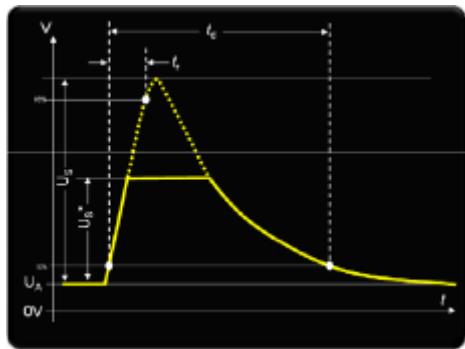


Figura 56 – Simulação “Load Dump” - Desconexão da bateria com o alternador em funcionamento.

Não houve alteração do funcionamento do relê durante a aplicação do pulso.

Conclusão:

Durante a aplicação dos pulsos o relé apresentou funcionamento normal, mesmo com o desligamento do Relé durante a aplicação do pulso 1 durante o tempo t2 (comportamento esperado devido a interrupção da alimentação e inversão de polaridade).

4.4 – Emissões Conduzidas – CE

Nos gráficos abaixo, são indicados em vermelho o limite estabelecido pela norma e em azul os valores de emissão captados durante o teste.

Para cada range de frequência um tipo específico de antena é utilizada.

Scan Setup: GMW 3097 - 2006 - NON SPARK PK - LISN 5ms [EMI conducted]

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|-----------|-------|-----------|-----|-------|-------|------------|---------|--------|-------|
| Hardware Setup: | CE AUTO | | | | | | | | | | |
| Receiver: | [ESIB 40] | | | | | | | | | | |
| Level Unit: | dB μ V | | | | | | | | | | |
| Subrange | 530 kHz - 1,71 MHz | Step Size | 5 kHz | Detectors | PK+ | IF BW | 9 kHz | Meas. Time | 0,005 s | Preamp | 20 dB |

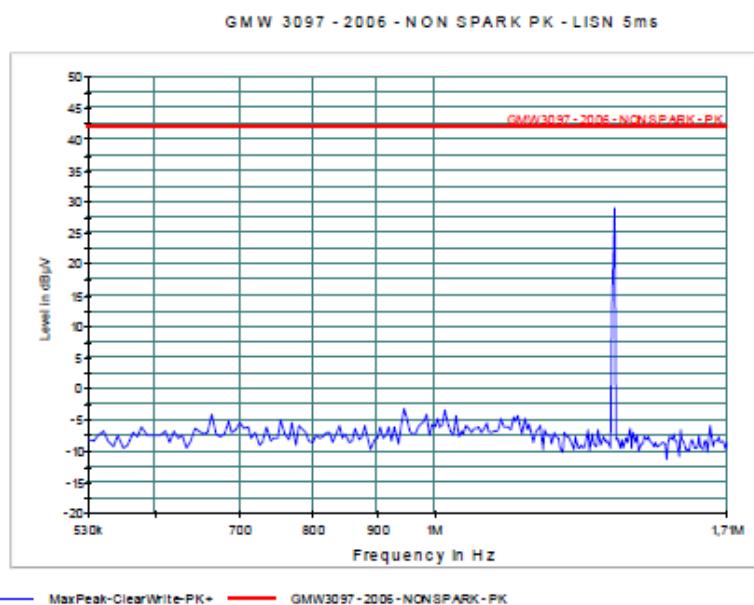


Figura 57 – Leitura de emissões conduzidas para frequências de 53kHz a 1.71MHz.

Conclusão:

Não foi detectado nenhuma emissão que ultrapassasse os valores limites impostos pela norma.

4.4 – Descarga Eletrostática – ESD

Os pontos indicados apresentam onde foram aplicados as potências de 4, 6 e 8 kV.

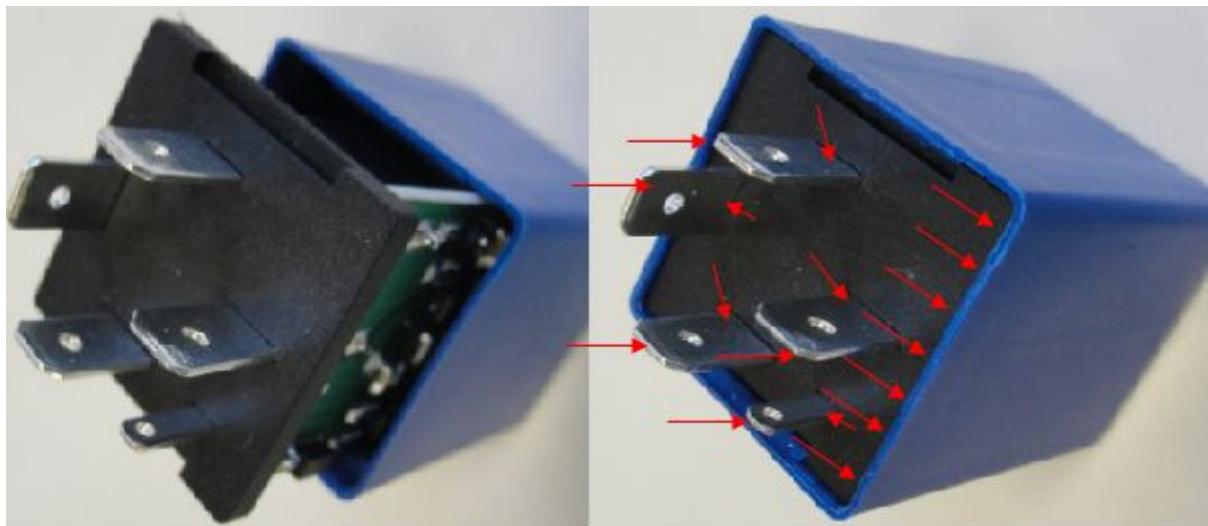


Figura 58 – Pontos de aplicação de descarga eletrostática

Após a aplicação dos potências de descarga indicados na tabela 12 o relé foi novamente testado e não houve alteração no funcionamento do Relé.

Conclusão dos testes:

Em nenhum dos testes aos quais relé foi submetido foi detectada anormalidade de funcionamento e nos teste onde medidas objetivas foram realizadas, os valores encontrados estavam dentro dos limites impostos pela nota GMW3097.

É importante ressaltar que antes da realização dos testes, o plano de teste é desenvolvido e discutido entre os representantes do fabricante do componente, da montadora e do laboratório onde os testes serão realizados de forma que os testes de EMC sejam realizados coerentemente com o funcionamento do dispositivo.

Os testes aqui descritos foram escolhidos levando em consideração a eletrônica utilizada neste relé e o funcionamento esperado do mesmo. Para um dispositivo simples a visualização dos testes é fácil, mas se considerando uma central multimídia e seus recursos certamente o desenvolvimento do plano de teste mostra-se realmente complexo. Por isso um planejamento

detalhado e discussão minuciosa sobre os testes e funcionamento do sistema para o desenvolvimento do plano de testes e execução dos mesmos tornam-se vitais.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho procurou evidenciar a importância dos testes de Compatibilidade Eletromagnética dentro do setor automotivo, apresentando o impacto deste item para produtos que cada vez mais tem sistemas eletrônicos agregados.

A apresentação dos efeitos eletromagnéticos apresentados na introdução do trabalho são assuntos densos e complexos, neste trabalho foram expostos somente os seus fundamentos.

Os testes, a elaboração de um plano de testes simplificado, demonstram o tempo gasto com a preparação dos testes, reserva de datas com os laboratórios apresenta a dificuldade e escassez de instituições qualificadas para execução dos mesmos.

Considerando o crescimento do volume de veículos com tecnologia de propulsão híbrida ou mesmo elétrica, tendências de infraestrutura rodoviária inteligente ou mesmo carros que podemos carregar a bateria em uma tomada residencial e utilizá-lo como gerador criam a necessidade de novos padrões de teste, novas especificações de equipamentos de forma a garantir o funcionamento dos mesmos.

É necessário destacar mais uma vez que o assunto EMC é de muita importância para o setor automotivo e certamente terá uma importância cada vez maior com a evolução dos automóveis. O estudo da EMC deveria ser item obrigatório dentro dos cursos de engenharia elétrica, uma vez que especificamente no Brasil é uma área onde existem poucas linhas de pesquisas relacionadas e também proporcionalmente a sua importância pouca mão de obra especializada.

É ainda importante citar a disponibilidade de softwares de análise que utilizam o método de elementos finitos específicos para desenvolvimento de sistemas eletromagnéticos e portanto extremamente úteis para o estudo avançado de EMC. Existe uma carência de literaturas e trabalhos que abordem estas técnicas de forma mais profunda.

REFERÊNCIAS

- PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- MORGAN, David. **Manual de Testes e Medição para EMC.** 2 ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2007. 290 p.
- MORGAN, David. **Manual de Testes e Medição para EMC.** 2 ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2007. 290 p.
- SCHMITT, Ron. **Eletromagnetismo Explicado: Manual de Sistemas sem fio/RF, EMC e eletrônica de alta freqüencia.** 1 ed. Boston: Elsevier Science, 2002. 290 p.
- PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- MORGAN, David. **Manual de Testes e Medição para EMC.** 2 ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2007. 290 p.
- PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.
- SANTOS, Glauco. **Considerações do ambiente eletromagnético urbano na análise de interferências em veículos automotores.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 82 p.
- SANTOS, Glauco. **Considerações do ambiente eletromagnético urbano na análise de interferências em veículos automotores.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 82 p.
- SANTOS, Glauco. **Considerações do ambiente eletromagnético urbano na análise de interferências em veículos automotores.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 82 p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

SANTOS, Glauco. **Considerações do ambiente eletromagnético urbano na análise de interferências em veículos automotores.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 82 p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

CHONG, Andrew. **Driving Asia -As Automotive Electronics Transforms a Region.** Infineon Technologies Asia Pacific Pte Ltd, 2010, 217 p.

SANTOS, Glauco, GALVÃO, Benjamin, ONUSIC, Helcio, ANDREATI, Sergio. **A Importância das Avaliações de EMC.** Documento número 982867 apresentado no Congresso SAE 1998, 11 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

WOLFGANG, Langguth. **Aterramento e EMC.** 1 ed. London: Cooper Development Association, 2007.2012. 4p.

ALEXANDERSON, Sabine. **Análise de Componentes Parasitas em Arranjos de Condutores.** Tese de doutorado, Universidade LUND, Suécia, 2008, 209 p.

ALEXANDERSON, Sabine. **Análise de Componentes Parasitas em Arranjos de Condutores.** Tese de doutorado, Universidade LUND, Suécia, 2008, 209 p.

ALEXANDERSON, Sabine. **Análise de Componentes Parasitas em Arranjos de Condutores.** Tese de doutorado, Universidade LUND, Suécia, 2008, 209 p.

ALEXANDERSON, Sabine. **Análise de Componentes Parasitas em Arranjos de Condutores.** Tese de doutorado, Universidade LUND, Suécia, 2008, 209 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

HUANG, Yi, BOYLE, Kevin. **Antenas: Da Teoría para a Prática.** 1 ed. Singapura: John Wiley & Sons, 2008. 363 p.

NASCIMENTO, Gilberto Ferreira do. **Estudo de Crosstalk em Chicotes Elétricos Automotivos.** Projeto Final de Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2003, 83p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

RYBAK, Terence e STEFFKA, Mark Clayton. **Compatibilidade Eletromagnética Automotiva.** 1 ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004, 295 p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

PAUL, Clayton. **Introdução a Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 983 p.

PIRES, Roginele Salatiel da Silva. **Investigação de uma nova Metodologia para Ensaios de Susceptibilidade Eletromagnética em Veículos Automotivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 107p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 226 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 226 p.

BARTHUS, Marcus. **Perspectivas de Ensaios de Compatibilidade Eletromagnética para a Indústria Automotiva.** II Seminário de Compatibilidade Eletromagnética e Avaliação de Conformidade, Porto Alegre, 2012. 79 p.

General Motors. **GMW 3097: Especificações Gerais para Componentes Elétricos/Eletrônico, Compatibilidade Eletromagnética (EMC).** Normas de Teste, 2004. 71 p.

General Motors. **GMW 3097: Especificações Gerais para Componentes Elétricos/Eletrônico, Compatibilidade Eletromagnética (EMC).** Normas de Teste, 2004. 71 p.

BARTHUS, Marcus. **Perspectivas de Ensaios de Compatibilidade Eletromagnética para a Indústria Automotiva.** II Seminário de Compatibilidade Eletromagnética e Avaliação de Conformidade, Porto Alegre, 2012. 79 p.

IMPACTO, Colégio. **Apostila de Antenas e Ondas.** 58 p.

OTT, Henry. **Engenharia de Compatibilidade Eletromagnética.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 843 p.

ANEXO A –Tabela de normas EMC automotiva

| International Standards | | | | | |
|-------------------------|--|------|---------|-----|--|
| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA | |
| ISO 7637 | Road vehicles -- Electrical disturbances from conduction and coupling | ALL | N | Y | |
| | Definitions and general considerations | 1 | | | |
| | Electrical transient conduction along supply lines only | 2 | | | |
| | TBA | 3 | | | |
| ISO 7637 | Passenger car and light commercial vehicles with nominal 12V supply voltage – electrical transient conduction along supply lines only. | 1 | N | Y | |
| | Commercial vehicles with nominal 24V supply voltage – electrical transient conduction along supply lines only. | 2 | | | |
| | Vehicles with nominal 12V and 24V supply voltage – electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines. | 3 | | | |
| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA | |
| ISO 10605 | Road vehicles — Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge | TR | Y | Y | |
| | | 1 | Y | Y | |
| | | 2 | Y | Y | |
| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA | |
| ISO 11451 | Road vehicles — Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy | ALL | Y | N | |
| | Part 1: General and definitions (amendment 1:2008) | 1 | | | |
| | Part 2: Off-vehicle radiation sources | 2 | | | |
| | Part 3: On-board transmitter simulation | 3 | | | |
| | Part 4: Bulk current injection (BCI) | 4 | | | |
| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA | |
| ISO 11452 | Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy | ALL | N | Y | |
| | Part 1: General and definitions (amendment 1:2008) | 1 | | | |
| | Part 2: Absorber-lined chamber (1995) | 2 | | | |
| | Part 3: Transverse electromagnetic mode (TEM) cell | 3 | | | |
| | Part 4: Bulk current injection (BCI) | 4 | | | |
| | Part 5: Stripline | 5 | | | |
| | Part 6: Parallel plate antenna | 6 | | | |
| | Part 7: Direct radio frequency (RF) power injection | 7 | | | |
| | Part 7: Immunity to magnetic fields | 8 | | | |

| Standard | Title | Editi on | Vehicle | ESA |
|----------|---|-------------|---------|-----|
| CISPR-12 | Vehicles, motorboats and spark-ignited engine-driven devices— Radio disturbance characteristics — Limits and methods of measurement | 6 | Y | Y |
| Standard | Title | Editi on | Vehicle | ESA |
| CISPR-25 | Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, boats, and on devices – Limits and methods of measurement | 3 | Y | Y |

European Standards

| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA |
|------------------------|--|------|---------|-----|
| 95/54/EC | Commission Directive 95/54/EC of 31 October 1995 adapting to technical progress Council Directive 72/245/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the suppression of radio interference produced by spark-ignition engines fitted to motor vehicles and amending Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers | 1 | Y | Y |
| 2004/104/EC | Commission Directive 2004/104/EC of 14 October 2004 adapting to technical progress Council Directive 72/245/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the suppression of radio interference produced by spark-ignition engines fitted to motor vehicles and amending Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers | 1 | Y | Y |
| 2004/104/EC Corrigenda | Corrigendum to Commission Directive 2004/104/EC of 14 October 2004 adapting to technical progress Council Directive 72/245/EEC relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles and amending Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers. | 1 | Y | Y |
| 2005/83/EC | Commission Directive 2005/83/EC of 23 November 2005 amending, for the purposes of their adaptation to technical progress, Annexes I, VI, VII, VIII, IX and X to Council Directive 72/245/EEC relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles | 1 | Y | Y |
| 2006/28/EC | Commission Directive 2006/28/EC of 6 March 2006 amending, for the purposes of their adaptation to technical progress, Council Directive 72/245/EEC of 20 June 1972 relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles and Council Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers | 1 | Y | Y |
| 95/56/EC | Commission Directive 95/56/EC of 8 November 1995 adapting to technical progress Council Directive 74/61/EEC relating to devices to prevent the unauthorized use of motor vehicles | 1 | N | Y |
| 97/24/EC | Commission Directive 97/24/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 1997 on certain components and characteristics of two or three-wheel motor vehicles | 1 | Y | Y |

| | | | | |
|------------|---|---|---|---|
| 2002/24/EC | Directive 2002/24/EC of the European Parliament and of the Council of 18 March 2002 relating to the type-approval of two or three-wheel motor vehicles and repealing Council Directive 92/61/EEC | 1 | Y | Y |
| 2003/77/EC | Commission Directive 2003/77/EC of 11 August 2003 amending Directives 97/24/EC and 2002/24/EC of the European Parliament and of the Council relating to the type-approval of two-or three-wheel motor vehicles | 1 | Y | Y |
| 2000/2/EC | Commission Directive 2000/2/EC of 14 January 2000 adapting to technical progress Council Directive 75/322/EEC relating to the suppression of radio interference produced by spark-ignition engines fitted to wheeled agricultural or forestry tractors and Council Directive 74/150/EEC relating to the type-approval of wheeled agricultural or forestry tractors | 1 | Y | Y |
| 2005/49/EC | COMMISSION DIRECTIVE 2005/49/EC of 25 July 2005 amending, for the purposes of their adaptation to technical progress, Council Directive 72/245/EEC relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles and Council Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers | 1 | Y | Y |

US Standards

| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA |
|----------|--|------|---------|-----|
| SAE J551 | Performance levels and methods of measurement of electromagnetic compatibility of vehicles, boats (up to 15m) and machines (50Hz to 18GHz) | 1 | Y | N |
| | Test limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of vehicles, motorboats and spark-ignited engine-driven devices | 2 | | |
| | Test limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of vehicles and devices, broadband and narrowband, 150kHz to 1000MHz | 4 | | |
| | Performance levels and methods of measurement of magnetic and electric field strength from electric vehicles, broadband, 9kHz to 30MHz | 5 | | |
| | Vehicle electromagnetic immunity- off-vehicle source | 11 | | |
| | Vehicle electromagnetic immunity- on-board transmitter simulation | 12 | | |
| | Vehicle electromagnetic immunity- bulk current injection | 13 | | |
| | Vehicle electromagnetic immunity- electrostatic discharge(ESD) | 15 | | |
| | Vehicle electromagnetic immunity- power line magnetic fields | 17 | | |
| | | | | |

| Standard | Title | Part | Vehicle | ESA |
|-----------|--|------|---------|-----|
| SAE J1113 | Electromagnetic compatibility measurement procedures and limits for vehicle components (except aircraft) (50Hz to 18GHz) | 1 | N | Y |
| | Electromagnetic compatibility measurement procedures and limits for vehicle components (except aircraft) – conducted immunity, 30Hz to 250kHz- all leads | 2 | | |
| | Conducted immunity, 250kHz to 500MHz, direct injection of radio frequency (RF) power | 3 | | |
| | Immunity to radiated electromagnetic fields - bulk current injection (BCI) method | 4 | | |
| | Immunity to conducted transients on power leads | 11 | | |
| | Electrical interference by conduction and coupling - coupling clamp | 12 | | |
| | Immunity to electrostatic discharge | 13 | | |
| | Immunity to electromagnetic fields, 10kHz to 18GHz, absorber-lined chamber | 21 | | |
| | Immunity to radiated magnetic fields | 22 | | |
| | Immunity to radiated electromagnetic fields, 10kHz to 200MHz Crawford TEM cell and 10kHz to 5GHZ wideband TEM cell | 24 | | |
| | Immunity to radiated electromagnetic fields, 10kHz to 500MHz - tri-plate line method | 25 | | |
| | Immunity to AC power line electric fields | 26 | | |
| | Immunity to radiated electromagnetic fields - reverberation method | 27 | | |
| | Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of components and modules for the protection of receivers used on board vehicles | 41 | | |
| | Conducted transient emissions | 42 | | |

Tabela 13 - Fontes típicas de ruído seus níveis e frequências

FONTE: Disponível em <<http://www.autoemc.net/Standards/StandardsMain.htm>> Acesso em 04 abr. 2013.