

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS  
PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

GABRIEL PACHECO

***ANALISE DE INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA DE  
INVERSORES CC-CA TRIFASICO EM PONTE SOBRE  
CABEAMENTO PARALELO EM VEICULOS ELÉTRICOS***

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2017

GABRIEL PACHECO

***ANALISE DE INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA DE  
INVERSORES CC-CA TRIFASICO EM PONTE SOBRE  
CABEAMENTO PARALELO EM VEICULOS ELÉTRICOS***

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Pinho

CURITIBA  
2017



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba

DIRPPG  
DAELN  
CESEB



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ***ANALISE DE INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA DE INVERSORES CC-CA TRIFASICO EM PONTE SOBRE CABEAMENTO PARALELO EM VEICULOS ELÉTRICOS***

por

Gabriel Pacheco

Esta Monografia foi apresentada em 04 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Antonio Carlos Pinho  
Orientador

---

Prof. MSc. Omero Francisco Bertol  
Membro

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Coordenador do Curso

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades que surgiram na minha vida. Um agradecimento especial ao meu pai Edson Pacheco, meu maior incentivador nos estudos e na vida, fonte de inspiração e de vontade de viver, que infelizmente não conseguiu acompanhar a conclusão de mais essa etapa ao meu lado. A minha tia Edelair e a minha mãe Cristiane por todo o suporte e ajuda na ausência do meu pai, sendo fundamental para a conclusão dessa etapa. A minha esposa Karyn, por estar sempre presente enfrentando comigo todas as dificuldades e pela paciência que sempre teve com os meus estudos, sempre me incentivando a seguir em frente.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Pinho pela oportunidade de realizar este trabalho, além da orientação, estímulo e condução do mesmo. Agradeço-lhe ainda pela paciência e confiança durante nossas conversas ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

A todos vocês meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

PACHECO, Gabriel. **Análise de interferência eletromagnética de inversores CC-CA Trifásico em ponte sobre cabeamento paralelo em veículos elétricos**. 2017. 53f. Monografia (Curso de Especialização em Eletrônica Embarcada Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Atualmente os veículos elétricos são de grande interesse, devido à preocupação crescente com questões ambientais e a queima de combustíveis fósseis. Com isso e com os avanços da eletrônica embarcada automotiva, os veículos elétricos veem se tornando uma realidade ao redor do mundo. O presente trabalho, tem por objetivo verificar a eficiência dos inversores trifásicos CC-CA em ponte, aplicados nos sistemas de power train, verificando a tensão induzida que esses inversores podem gerar durante a aplicação de uso em um conjunto de cabos paralelos. Para isso, foi analisado via simulação os valores de corrente gerados, e com esses dados foram calculados os níveis de tensão induzidas sobre a configuração aplicada.

Palavras chave: Inversores, Veículos Elétricos, Interferência Eletromagnética,

## **ABSTRACT**

PACHECO, Gabriel. **Electromagnetic interference analysis of DC-AC Three-phase Inverters Bridge over parallel cabling in electric vehicles**. 2017. 53f. Monografia (Curso de Especialização em Eletrônica Embarcada Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Nowadays, electric vehicles are of great interest, due to growing concern about environmental issues and the burning of fossil fuels. With this and with the advancements of automotive embedded electronics, electric vehicles are becoming a reality around the world. The aim of the present work is to verify the efficiency of three-phase DC-AC bridge inverters, applied in power train systems, verifying the induced voltage that these inverters can generate during the application of a set of parallel cables. For this, the generated current values were analyzed through simulation, and with these data the induced voltage levels were calculated on the applied configuration.

Keywords: Inverters, Electric Vehicles, Electromagnetic Interference,

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aumento da Eletrônica Embarcada em Automóveis .....	14
Figura 2 - Formas de Interferência Eletromagnética .....	15
Figura 3 - Motor Elétrico de Ányos Jedlik .....	17
Figura 4 - Carro Elétrico de Stratingh de Groningen .....	18
Figura 5 - Triciclo de Willian Ayrton & John Perry .....	18
Figura 6 - Primeiro veículo elétrico em uso comercial - Taxis em Nova Iorque.....	19
Figura 7 - Veículos Híbridos – Arquiteturas.....	20
Figura 8 - Arquitetura Híbrido Série.....	21
Figura 9 - Arquitetura Híbrido Paralelo .....	21
Figura 10 - Arquitetura Série-Paralelo.....	22
Figura 11 - Arquitetura Híbrido Complexo .....	23
Figura 12 - Veículo Elétrico a Bateria.....	23
Figura 13 - Veículo com motores acoplados as rodas .....	24
Figura 14 - Inversor CC/CA Trifásico .....	26
Figura 15 - Cabos Paralelos.....	31
Figura 16 - Cabo Par Trançado.....	32
Figura 17 - Modelo Básico EMC.....	32
Figura 18 - Emissões Irradiadas.....	34
Figura 19 - Exemplo de Imunidade Irradiada .....	34
Figura 20- Exemplo de Emissão Conduzida .....	35
Figura 21 - Exemplo de Imunidade Conduzida .....	35
Figura 22 - Acoplamento Galvânico .....	38
Figura 23 - Acoplamento Indutivo.....	38
Figura 24 - Acoplamento Capacitivo .....	39
Figura 25 - Campo Elétrico (a) e Campo Magnético (b).....	40
Figura 26 - Configuração dos cabos a ser analisada .....	43

Figura 28 - Parâmetros do Motor Elétrico .....	44
Figura 27 - Circuito Simulado do Inversor CC-CA.....	45
Figura 29 - Topologia de Cabos para Acoplamento Indutivo .....	46
Figura 30 - Chaveamento Inversor a 5kHz.....	48
Figura 31 - Chaveamento Inversor a 10kHz.....	49
Figura 32 - Chaveamento Inversor a 15kHz.....	49
Figura 33 - FFT das Correntes do Inversor a 5kHz .....	50
Figura 34 - FFT das Correntes do Inversor a 10kHz .....	50
Figura 35 - FFT das Correntes do Inversor a 15kHz .....	51
Figura 36 - Sinal Amostrado das Correntes .....	51
Figura 37 - Valores de Corrente no domínio do tempo geradas pelo software PSIM52	
Figura 38 - Tensão Induzida Calculada - 5 kHz .....	53
Figura 39 - Tensão Induzida Calculada - 10 kHz .....	53
Figura 40 - Tensão Induzida Calculada - 15 kHz .....	54



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Fabricantes de Inversores e as ofertas disponíveis no mercado .....	30
Tabela 2 - Classificação das Interferências Automotivas .....	36
Tabela 3 - Normas de Compatibilidade Eletromagnética automotiva .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CC	Corrente Continua
CA	Corrente Alternada
EMC	Compatibilidade Eletromagnética
EMI	Interferência Eletromagnética
CAN	<i>Controller Area Network</i>
ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
EBD	<i>Electronic Brake Force Distribution</i>
ABVE	<i>Associação Brasileira do Veículo Elétrico</i>
AIE	Agencia Internacional de Energia
VEH	Veículos elétricos Híbridos
VEB	Veículos Elétricos a bateria
VSI	<i>Voltage Source Inverter</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
CISPR	<i>Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	PROBLEMA	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS	17
2.1.1	Histórico Dos Veículos Elétricos	17
2.1.2	Arquiteturas dos Veículos Elétricos	20
2.1.2.1	Híbrido série	20
2.1.2.2	Híbrido Paralelo	21
2.1.2.3	Híbrido série-paralelo	22
2.1.2.4	Híbrido Complexo	22
2.1.2.5	Veículos Elétricos a Bateria	23
2.2	INVERSORES E CONVERSORES DE POTÊNCIA AUTOMOTIVOS	25
2.2.1	Inversor em Ponte Trifásico	26
2.2.2	Inversores no Mercado Mundial e Brasileiro	29
2.3	CHICOTES AUTOMOTIVOS	31
2.3.1	Cabos Paralelos	31
2.3.2	Cabos Par Trançado	31
2.4	CONCEITOS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NO AMBIENTE AUTOMOTIVO	32
2.4.1	Emissões Irradiadas e Imunidade Irradiada	33
2.4.2	Emissão Conduzida e Imunidade Conduzida	34
2.4.3	Classificação das Interferências Eletromagnéticas Automotivas	36
2.4.4	Acoplamentos	37
2.4.4.1	Acoplamento Galvânico	37
2.4.4.2	Acoplamento Indutivo (Magnético)	38
2.4.4.3	Acoplamento Capacitivo (Elétrico)	38
2.4.4.4	Acoplamento Irrradiado	39
2.4.5	Linha de Transmissão	39
2.4.6	Crosstalk	40
2.4.7	Harmônicas	41
2.5	Normas EMC e EMI	42
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TEMA</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E RESULTADOS</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>55</b>
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE(S)	60

# 1 INTRODUÇÃO

Há mais de um século, automóveis fazem parte do dia a dia das pessoas, e ano após ano o número de usuários aumentam e, por esse motivo, diversos esforços são feitos de modo a tornar os veículos mais eficientes e menos poluentes. (DE OLIVEIRA,2014)

Dentro desse cenário é que encontramos os veículos elétricos, que no início do século 20 (entre 1900 e 1920), dividiam o mercado automobilístico com os veículos a combustão. Porém, fatores como, a facilidade de obtenção de combustíveis derivados do petróleo, fizeram com que esses veículos se destacassem frente aos veículos elétricos. (DE OLIVEIRA,2014)

Com base nisso, e motivados pelas recentes leis que se aplicam as emissões de gases, escassez de recursos energéticos de origem fóssil e tendo em conta o aquecimento global, cada vez mais os veículos elétricos se tornam uma solução para governos e fabricantes de automóveis. (RAMOS,2011)

Como exemplo podemos citar recentemente, que países como França, Inglaterra, Noruega e Índia anunciaram a proibição das vendas de novos veículos movidos a combustíveis fósseis. Com investimentos, na casa de 200 milhões de libras, o governo britânico, espera conseguir atingir tal feito. Além disso, a Volvo, um grande fabricante de veículos mundial, anunciou este ano (2017), que a partir de 2019, somente produzirá veículos elétricos ou híbridos. (G1,2017).

Tudo isso indica um crescimento dessa categoria, estima-se que 3 milhões de veículos elétricos leves estarão em circulação pelo mundo em 2020. Em 2025 serão 10 milhões e chegarão a 19 milhões em 2030 em todo o mundo, considerando-se ainda, nesse cenário, toda a dificuldade da quebra de paradigma. (LIMA,2012)

Dentro do cenário nacional, a EPE estima que até 2026 o número de licenciamento de veículos leves chegará a 4,4 milhões de unidades, desse valor estima-se que cem mil veículos, ou 2,5% do total, serão elétricos ou híbridos. Hoje o Brasil possui apenas 3.600 carros elétricos. (PELEGI, 2017)

Por esse motivo, fabricantes devem se atentar cada vez mais a compatibilidade eletromagnética, e aos cuidados que se devem tomar, para serem

imunes a qualquer tipo de interferência eletromagnética, que possa ocasionar o mal funcionamento de sistemas ou até mesmo colocando em risco a vida das pessoas.

Frente a isso e a necessidade de estudos dessa nova tendência tecnológica, se torna relevante o estudo dessa área aplicada aos veículos elétricos.

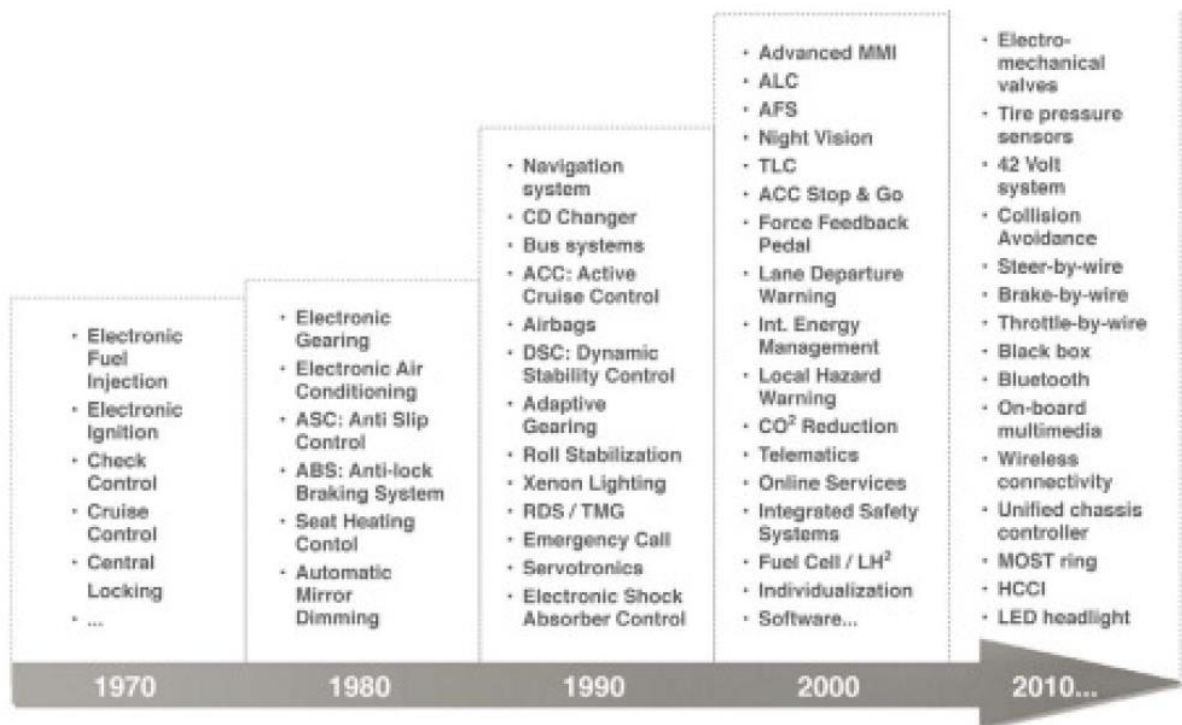
O presente trabalho tem por objetivo apresentar e verificar os efeitos dos inversores do *Powertrain* sobre o cabeamento desses veículos aplicados sobre uma configuração de cabos paralelos.

## 1.1 PROBLEMA

A eletrônica inicia na história do automóvel na década de 60 para solucionar problemas bastante específicos, como injeção eletrônica. Já no começo dos anos 70, com o início da pressão pela redução da emissão de poluentes uma nova evolução surge nos sistemas de ignição e alimentação de combustível. (DANTAS,2010)

Com a evolução da eletrônica, os automóveis passam a receber novas funções, melhorias, novos desenvolvimentos e novos desafios surgem com isso. Durante os anos foram adicionados aos veículos funções como ABS, EBD, sistemas de navegação, entretenimento, sistemas de *Powertrain* e entre outros. Para muitos, alguns sistemas, possuem a capacidade de processamento acima da capacidade de reação mecânica dos componentes mecânicos, desses sistemas, possibilitando chegar ao limite de desempenho. (DANTAS,2010)

O crescimento do volume de eletrônica embarcada nos automóveis, com o passar dos anos, pode ser observado na Figura 1 a seguir.



**Figura 1 - Aumento da Eletrônica Embarcada em Automóveis**  
 Fonte: SOARES,2013

A grande maioria desses sistemas eletroeletrônicos estão conectados e trocam informações entre si, por um meio físico: cabos paralelos, cabos par trançado nos chicotes dos veículos e trilhas das placas de circuito impresso, ambos atuam como antenas e convertem campo em tensão ou corrente induzida. (AMARAL,2015)

Por esses motivos, o bom funcionamento de um automóvel, depende da integração e interação entre todos os sistemas eletroeletrônicos que os compõem, evitando que tenhamos interferências eletromagnéticas e também que não sofram influência de sinais do meio físico em que operam, permitindo o funcionamento satisfatório desses sistemas. (AMARAL,2015)

Com isso, surge uma preocupação sobre os efeitos causados por campos eletromagnéticos em módulos e sistemas eletrônicos. Os campos eletromagnéticos podem ser gerados por (Figura 2): (EGYDIO, 2014)

- Fontes intencionais, como por exemplo, uma emissora de rádio;
- Fontes não intencionais, isto é, um campo gerado pelo funcionamento de outro sistema eletrônico, pelo próprio módulo ou pelo cabeamento utilizado para a conexão elétrica desses dispositivos.



**Figura 2 - Formas de Interferência Eletromagnética**  
**Fonte: EGYDIO,2014**

Portanto, um projeto robusto de engenharia eletrônica durante a fase de desenvolvimento, deve considerar a localização desses dispositivos eletrônicos e o ambiente susceptível às interferências eletromagnéticas ao qual eles estarão submetidos. Isto significa que, tanto as fontes externas quanto as internas de ruídos eletromagnéticos devem ser analisadas. (AMARAL,2015)

O caso desse estudo, será uma análise sobre a aplicação dos inversores CC/CA utilizados nos veículos elétricos e os seus efeitos de interferência eletromagnética sobre os chicotes elétricos na configuração de cabos paralelos, através do cálculo de tensão induzida.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Verificar o comportamento e o efeito eletromagnético dos inversores CC/CA, utilizados em veículos elétricos no sistema de *Powertrain*, em cabos do tipo paralelos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer o levantamento da literatura relacionada ao tema da Monografia;
- Descrever as arquiteturas dos veículos elétricos / híbridos;
- Fazer levantamento do funcionamento dos principais sistemas inversores utilizados no mercado automobilístico;
- Verificar informações sobre cabos paralelos;
- Verificar as principais normas utilizadas para interferência eletromagnética no meio automotivo;
- Calcular o efeito da tensão induzida gerada pelos inversores em uma configuração de cabos do tipo paralelo;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com a nova tendência do mercado, os carros híbridos e elétricos tendem, nos próximos anos, possuir 35% do mercado de veículos automotores no mundo. Com essa nova tecnologia, novos sistemas eletrônicos, seja de controle ou interligados ao próprio *Powertrain* terão algum tipo de eletrônica embarcada para o seu funcionamento. O objetivo do trabalho é apresentar e verificar os principais efeitos dos inversores utilizados no sistema *Powertrain*, sobre uma configuração de cabos do tipo paralelo para aplicações em veículos elétricos.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura abaixo apresentada.

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica

Capítulo 3 – Desenvolvimento

Capítulo 4 – Análise e Resultados

Capítulo 5 – Considerações finais



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos são uma invenção com mais de um século. De uma maneira genérica são constituídos por um motor elétrico, alimentados por uma bateria. Sendo famosos, principalmente pelo grande aproveitamento de energia, mantendo uma potência constante em um grande intervalo, além de não consumir energia quando parado possui um rendimento de aproximadamente 90% de transferência de energia elétrica para mecânica. (RAMOS,2011)

Segundo a ABVE (2017), veículos elétricos são compreendidos atualmente como veículos automotores que se utilizam pelo menos de um motor elétrico para acionamento das rodas.

#### 2.1.1 Histórico Dos Veículos Elétricos

Os veículos elétricos se desenvolveram no século XIX após a invenção do motor elétrico por Michael Faraday em 1821. Em 1828, o húngaro, Ányos Jedlik com um modelo primitivo de motor elétrico Figura 3, criou um pequeno carro movido a motor elétrico (SAMPAIO et al., 2014).

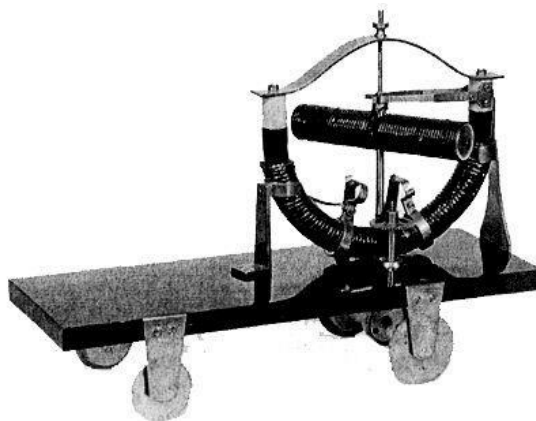


Figura 3 - Motor Elétrico de Ányos Jedlik  
Fonte: SAMPAIO,2014

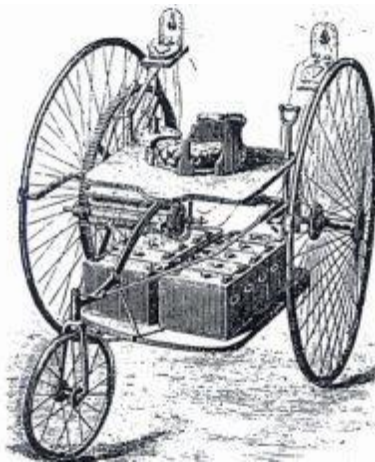
Mais tarde, em 1835 na Holanda, outro automóvel de pequena escala (Figura 4) foi projetado pelo Professor Stratingh de Groningen, e construído pelo seu assistente Christopher Becker, sendo este modelo o precursor dos veículos

elétricos. Com o tempo outros modelos foram surgindo, mas o fato de grande mudança aconteceu com o desenvolvimento de uma bateria recarregável de Chumbo-ácido desenvolvida em 1865 pelo francês Gaston Planté e posteriormente melhorada por Camile Faure. Essa melhoria da capacidade de armazenamento de energia dá início ao progresso dos veículos elétricos. (SAMPAIO et al., 2014).



**Figura 4 - Carro Elétrico de Stratingh de Groningen**  
**Fonte: SAMPAIO,2014**

Com o desenvolvimento da bateria em 1881, os ingleses William Ayrtton & John Perry construíram o primeiro veículo de estrada elétrico, um triciclo Figura 5 usando dez células de chumbo-ácido de Planté em série, sendo este também o primeiro a ter iluminação elétrica (SAMPAIO et al., 2014)



**Figura 5 - Triciclo de Willian Ayrtton & John Perry**  
**Fonte: SAMPAIO,2014**

Em 1897, nos Estados Unidos da América, surge a primeira aplicação comercial dos veículos elétricos. Uma frota de táxis (Figura 6), construídos pela Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia (SAMPAIO et al., 2014).



**Figura 6 - Primeiro veículo elétrico em uso comercial - Táxis em Nova Iorque**  
**Fonte: SAMPAIO,2014**

Já em 1898, a Porsche constrói seu primeiro veículo elétrico e na sequência o carro híbrido, usando um motor de combustão interna para girar um gerador de modo a fornecer energia aos motores elétricos localizados nas rodas. (SAMPAIO et al., 2014).

Mas a grande mudança no setor automotivo ocorre em 1900, em um cenário onde 28% dos carros americanos eram elétricos, Henry Ford introduz no mercado o modelo T com motor de combustão interna, produzindo em grandes quantidades, preços baixos, o que tornou os automóveis mais acessíveis a grande massa e fazendo com que os carros elétricos caíssem em desuso. Em 1920, os carros elétricos já haviam praticamente desaparecido (SAMPAIO et al., 2014).

Dentro do contexto atual, os veículos elétricos são considerados o futuro da indústria do automóvel, de acordo com dados da Agência Internacional de Energia (AIE), o mercado de veículos elétricos, em 2016, atingiu uma marca 2 milhões de unidades vendidas em 5 anos. (CARVALHO,2017)

## 2.1.2 Arquiteturas dos Veículos Elétricos

Os veículos elétricos podem ser classificados em: Veículos elétricos Híbridos (VEH) e Veículos Elétricos a bateria (VEB). Havendo ainda uma outra divisão entre os veículos Híbridos (Figura 7), sendo essa divisão em: (ARAUJO; EICHENBERGER,2015):

- Híbrido em série;
- Híbrido em paralelo;
- Híbrido em série – paralelo;
- Híbrido complexo.

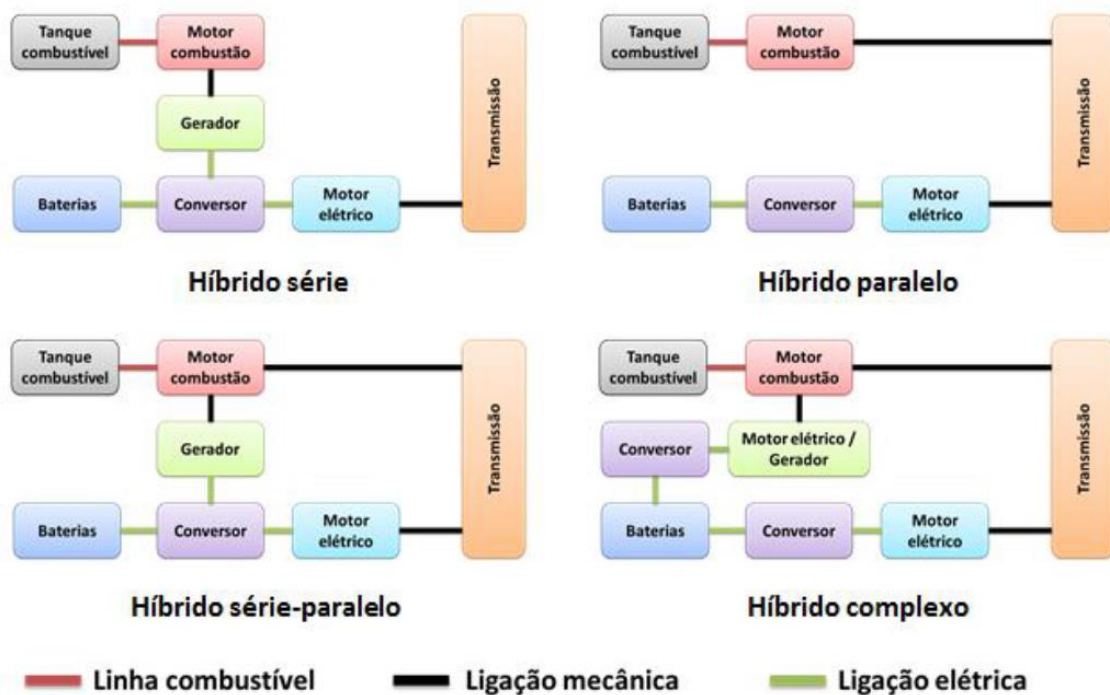


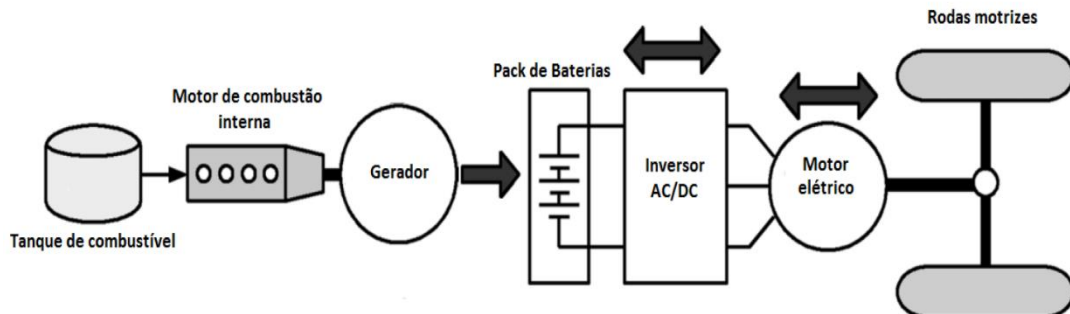
Figura 7 - Veículos Híbridos – Arquiteturas

Fonte: DIAS,2013

### 2.1.2.1 Híbrido série

Para os veículos de arquitetura Híbrido Série, o motor a combustão interna é utilizado junto a um gerador elétrico, para a produção de energia que irá alimentar o sistema de baterias, permitindo recarregar as baterias, e o motor de propulsão elétrico. A tração do veículo é realizada apenas pelo motor elétrico, não há ligação

entre o motor a combustão e o sistema de tração. De forma simplificada, podemos ver essa configuração conforme Figura 8, abaixo. (DIAS,2013)

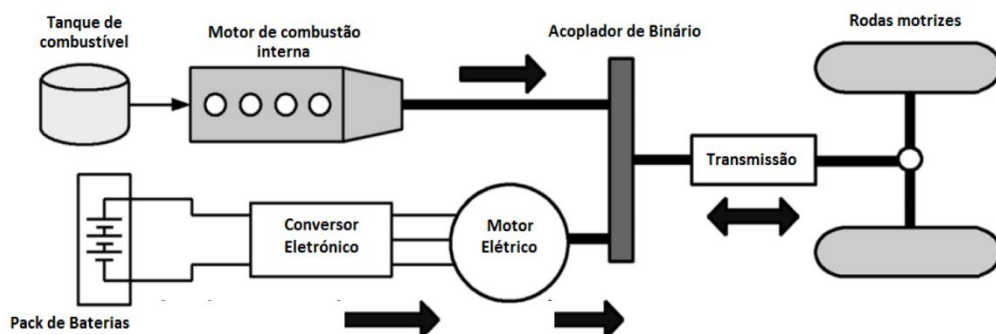


**Figura 8 - Arquitetura Híbrido Série**  
Fonte: DIAS,2013

Nessa configuração, temos ainda como características de operação a regeneração de energia durante o processo de frenagem, fazendo com que durante o processo de aceleração também possa recarregar as baterias. (DIAS,2013)

### 2.1.2.2 Híbrido Paralelo

Nessa configuração, o veículo elétrico pode ser movido tanto pelo motor a combustão interna, como pelo motor elétrico, ambos estão conectados em paralelos a transmissão. Na Figura 9 abaixo temos a configuração dessa arquitetura (DIAS,2013).



**Figura 9 - Arquitetura Híbrido Paralelo**  
Fonte: DIAS,2013

Nessa arquitetura, sempre que a potência exigida for maior que a potência do motor a combustão interna o motor elétrico entra em operação, fazendo com que ambos atuem sobre a transmissão.

E no caso da potência requerida, pela transmissão, for menor do que a do motor de combustão interna a energia restante é usada para carregar as baterias. Há ainda o processo de regeneração de energia durante o processo de frenagem, permitindo o carregamento também com esse processo (DIAS,2013).

### 2.1.2.3 Híbrido série-paralelo

Como uma combinação entre as duas anteriores, ela incorpora características das duas arquiteturas anteriores, conforme Figura 10 abaixo.

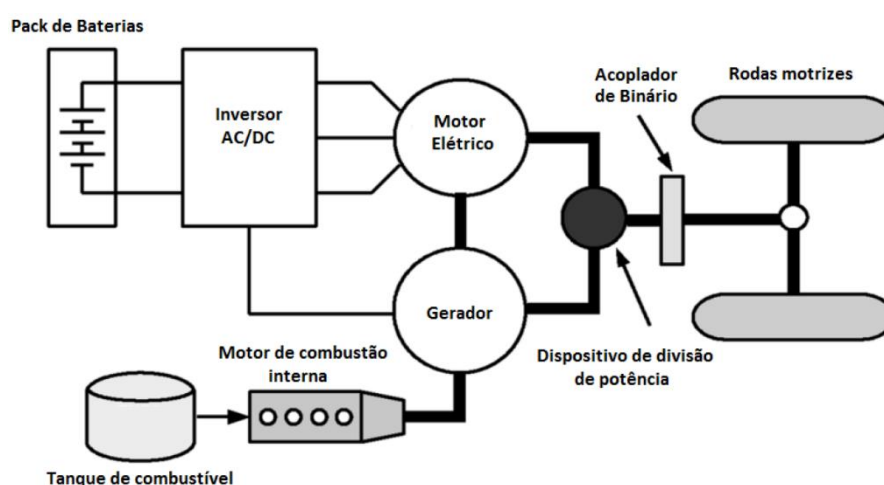


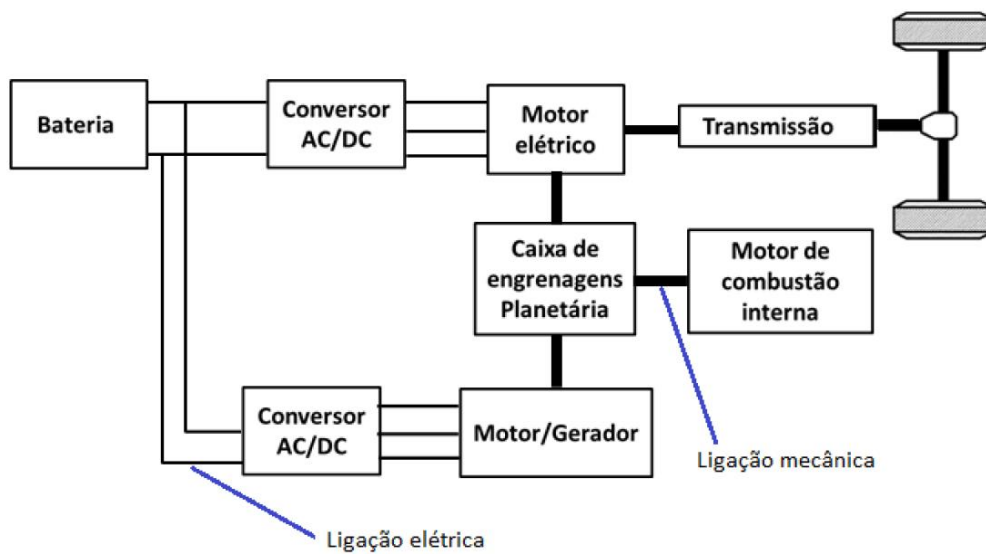
Figura 10 - Arquitetura Série-Paralelo

Fonte: DIAS,2013

Comparando com a configuração série, essa arquitetura apresenta uma ligação mecânica extra entre o motor elétrico e o gerador. E se comparada com a arquitetura Paralelo, apresenta um gerador adicional. (DIAS,2013).

### 2.1.2.4 Híbrido Complexo

Existe ainda uma evolução da arquitetura serie-paralelo, ver Figura 11. Esta apresenta também como na anterior um gerador e um motor elétrico, contudo o equipamento motor, também pode operar como gerador. Sendo assim o veículo passa a funcionar com um motor a combustão e dois elétricos. (DIAS,2013).

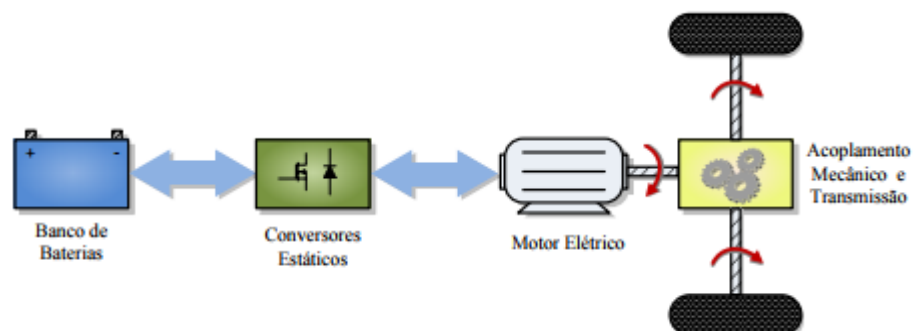


**Figura 11 - Arquitetura Híbrido Complexo**  
 Fonte: DIAS,2013

### 2.1.2.5 Veículos Elétricos a Bateria

A última arquitetura trata dos veículos puramente elétricos, sem auxílios de sistemas a combustão. Conforme Figura 12, a energia armazenada em bancos de baterias, é utilizada para o acionamento do motor de propulsão elétrico, que é feito por meio de inversores CC/CA. Transmissão, diferencial e acoplamentos mecânicos são necessários para transmitir o torque gerado pelo motor elétrico, de forma conveniente, para as rodas do veículo. (RODRIGUES,2014)

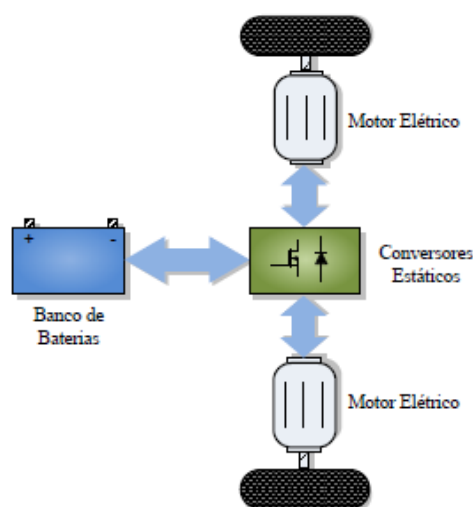
Outro ponto importante que vale salientar, é que o uso de energia entre motor e bateria seja bidirecional, possibilitando a regeneração de energia através das frenagens ou desacelerações, proporcionando uma maior eficiência e rendimento da operação do sistema. (RODRIGUES,2014)



**Figura 12 - Veículo Elétrico a Bateria**  
 Fonte: Rodrigues, 2014

Diversos estudos veem surgindo e sendo propostos, para melhorar o desempenho de um veículo elétrico, como super capacitores, que proporcionam uma melhor resposta dinâmica, melhor autonomia e redução nos picos de corrente na bateria durante períodos de aceleração e frenagem de veículo. Com isso evita-se a redução da vida útil da bateria. (RODRIGUES,2014)

Uma outra configuração para veículos puramente elétricos, ocorre pelo acoplamento de motores elétricos diretamente nas rodas do automóvel, como mostra a Figura 13, abaixo.



**Figura 13 - Veículo com motores acoplados as rodas**  
**Fonte: RODRIGUES,2014**

Para essa construção, os inversores (conversores estáticos) devem realizar o acionamento de cada motor elétrico de forma independente. Sendo necessário um sistema de controle de velocidade e torque exclusivos para cada roda. (RODRIGUES,2014)

Se por um lado aumenta-se a complexidade dos sistemas de controle, devido a remoção dos sistemas mecânicos, essa configuração apresenta uma maior eficiência, para o mesmo desempenho e potência, pois a potência nominal de cada motor permite uma redução nas especificações dos componentes eletrônicos do sistema de propulsão, que poderia causar uma redução de custos e aumento de confiabilidade. (RODRIGUES,2014)



## 2.2 INVERSORES E CONVERSORES DE POTÊNCIA AUTOMOTIVOS

Como visto no capítulo anterior, todas as arquiteturas possuem algum tipo de sistema de inversor ou conversor, seja para carregar as baterias ou alimentação do sistema de propulsão.

Os inversores, utilizados em sistemas de propulsão dos veículos elétrica são os dispositivos eletrônicos que fazem o controle do fluxo de energia, de maneira geral, controla a fonte em corrente contínua para a alimentação dos motores alimentados em corrente alternada. No sentido inverso, frenagem regenerativa, temos a energia dissipada na frenagem armazenada nas baterias, possível também em algumas arquiteturas de inversores. (FERNANDES, 2015)

A evolução dos de conversores de potência automotivos caminha com a evolução dos dispositivos de potência, atingindo melhorias em densidade de energia, alta eficiência, controle e confiabilidade. (RAMOS,2011)

Os conversores de potência podem ser divididos em quatro:

- CA-CA;
- CA-CC (retificador);
- CC-CA (inversor);
- CC-CC (chopper)

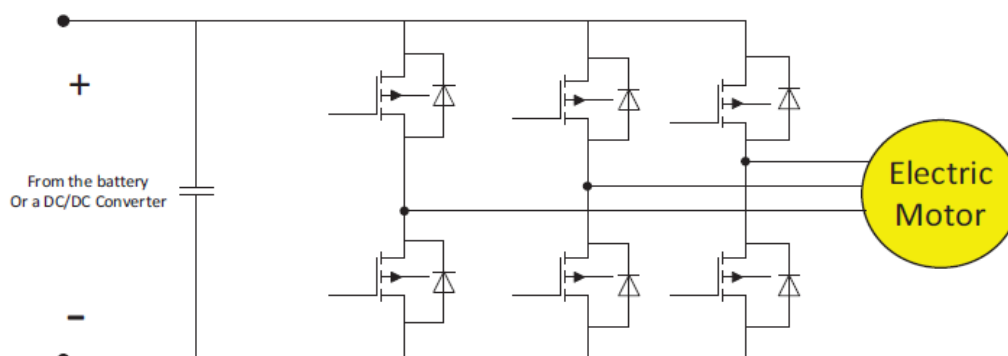
Como o presente trabalho aborda efeitos de interferência eletromagnética gerados pelos inversores e conversores que alimentam os motores a propulsão dos veículos elétricos e híbridos, iremos referenciar os conversores CC-CA para alimentação dos motores trifásicos.

O controle de velocidade e acionamento desses motores são feitos mediante o controle do inversor, nos veículos estritamente elétricos eles são o único controle da propulsão do veículo. Já para os híbridos além desse sistema é necessário um outro sistema para a propulsão do sistema a combustão. (FERNANDES, 2015)

Nos veículos de passeio o motor trabalha em uma alta gama de velocidade e alto torque, dessa forma os valores da frequência fundamental e corrente variam significativamente constantemente durante a operação. (FERNANDES, 2015)

Entre as topologias possíveis para acionamento dos inversores a mais tradicional, para motores CA, é a VSI (*Voltage Source Inverter*) que é uma aplicação

em ponte trifásica controlada alimentada por uma fonte de tensão, ver Figura 14. Com essa topologia é possível fazer modulação de tensão em amplitude e frequência, que são fatores fundamentais para o controle da velocidade e operação do motor de modo a evitar a saturação do circuito magnético. (FERNANDES, 2015)



**Figura 14 - Inversor CC/CA Trifásico**  
**Fonte: (RABIEI, 2013)**

Além disso, para produzir o torque mecânico o inversor deve ser capaz de suprir a corrente necessária para isso, que na aplicação de propulsão varia constantemente. (FERNANDES, 2015)

Os dispositivos eletrônicos e/ou chaves eletrônicas mais utilizadas nos inversores para essa aplicação são os IGBTs e os MOSFETs, sendo o primeiro mais recomendado para potência mais altas, porém em baixa frequência até 20kHz, já o segundo é utilizado em mais baixa potência (até 200kW) e recomendados para frequência de chaveamento na grandeza de 100kHz. (FERNANDES, 2015)

### 2.2.1 Inversor em Ponte Trifásico

A palavra "inversor" no contexto de eletrônica de potência refere-se a uma classe de circuitos de conversão de energia, que operam a partir de uma fonte de tensão ou fonte de corrente contínua e converte-a em tensão ou corrente alternada. Mesmo que a entrada para um circuito inversor seja uma fonte CC, não é incomum ter este CC originário de uma fonte CA, como o fornecimento de energia. (IIT KHARAGPUR, 2009)

Esses inversores além da classificação de acordo com o número de fase podem ser classificados de acordo com sua capacidade de controlar a magnitude

dos parâmetros de saída, frequência, tensão, conteúdo harmônico, etc. (IIT KHARAGPUR, 2009)

O sinal de saída de algumas configurações de inversores de fonte de tensão, podem possuir uma quantidade significativa de harmônicos de baixa ordem como a 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup>, 13<sup>a</sup> ordem da tensão da frequência fundamental. Outras configurações de inversores podem estar livres desses harmônicos de baixa ordem, mas ainda podem ser afetados por harmônicos de alta ordem. (IIT KHARAGPUR, 2009)

Os inversores utilizados nas aplicações de motores de corrente alternada devem ser projetados para terem menos harmônicos de baixa ordem, na forma de onda de tensão de saída, mesmo que isso impacte e resulte em harmônicos de alta ordem. Pois as distorções harmônicas de tensão de ordem superior são, na maioria das cargas do motor de corrente alternada, filtradas pela própria natureza indutiva da carga, o que atenua os efeitos prejudiciais que possam vir a ser gerados pelas harmônicas. (IIT KHARAGPUR, 2009)

Como já apresentado, os inversores podem fornecer tensões CA monofásicas e trifásicas a partir de uma tensão CC fixa ou variável. Para isso, há várias técnicas de controle de tensão, e elas produzem uma faixa de harmônicos na tensão de saída. A modulação por largura de pulso (PWM) é a mais efetiva na redução de harmônicos de mais baixa ordem. Com uma escolha apropriada dos padrões de chaveamento, determinados harmônicos podem ser eliminados. Isso se deve principalmente pela disponibilidade de dispositivos semicondutores de potência de alta velocidade. (RASHID,1999)

Uma típica topologia para esse circuito inversor, representado na Figura 14, requer uma fonte CC única, capacitor de ligação entre os terminais CC, além das chaves. Os capacitores devem ser utilizados os mais próximos das chaves, de modo a fornecer um caminho de baixa impedância para as componentes de alta frequência das correntes geradas pela comutação das chaves. Já os diodos têm a função de não permitirem uma variação abrupta de corrente com a tensão de saída. Quando ocorre o chaveamento a corrente da carga continuará a fluir até que a corrente caia a zero, devolvendo a energia para a fonte CC, por esse motivo esses diodos são chamados de diodos de realimentação. (RASHID,1999)

## Parâmetros de Performance

De acordo com Rashid (1999), as saídas dos inversores, na prática, contêm harmônicos e a qualidade de um inversor é avaliada em função de alguns parâmetros de performance:

- **Fator Harmônico do n-ésimo harmônico**  
Esse fator é a medida da contribuição do harmônico individual, sendo definido como a razão entre o valor eficaz da componente fundamental e o valor eficaz do n-ésimo componente harmônico
- **Distorção Harmônica Total**  
Medida da proximidade da forma entre a forma de onda e sua componente fundamental. Indica o conteúdo harmônico total, mas não indica o nível de cada componente harmônica.
- **Fator de Distorção**  
Indica a quantidade de distorção harmônica residual em uma forma de onda particular, após seus harmônicos terem sido submetidos a uma atenuação de segunda ordem. Em outras palavras é uma medida da eficiência em redução dos harmônicos indesejáveis.
- **Harmônicos de mais Baixa Ordem**  
O harmônico de mais baixa ordem é o componente harmônico cuja frequência está mais próxima da fundamental, sendo esse valor maior ou igual a 3% da amplitude da fundamental.

Na maioria das aplicações para acionamentos de máquinas elétricas, a potência de saída devido a corrente fundamental é a potência útil, pois a potência devido as correntes harmônicas é dissipada sob a forma de calor sobre a carga. (RASHID,1999)

### 2.2.2 Inversores no Mercado Mundial e Brasileiro

A oferta de inversores no mercado é bastante variada, sendo preciso separar de acordo com a sua aplicação, sendo alguns voltados para aplicações industriais e outros para o ramo automotivo. (FERNANDES, 2015)

Os inversores de uso automotivo são exclusivamente de velocidade variável e devem suportar todas as intemperes as quais um veículo pode ser submetido tais como: alta temperatura, vibração e etc, sendo necessário um projeto mais robusto.

Conhecidos como *traction inverter*, são dedicados ao sistema de tração de veículos híbridos ou elétricos, demandando a operação descontínua e curtos períodos de sobrecarga. (FERNANDES, 2015)

Do ponto de vista do hardware são constituídos por módulos IGBT, driver, elementos passivos, sistema de resfriamento e controlador digital com firmware dedicado permitindo configurações de alto nível. (FERNANDES, 2015)

Na Tabela 1 abaixo, estão listados alguns fabricantes de inversores, muitas informações não estão disponíveis e não são divulgadas abertamente para usuários comuns, por isso há uma certa dificuldade de se encontrar todas as informações necessárias sobre os modelos disponíveis no mercado. Na maioria das aplicações encontramos frequências de chaveamento entre 2 a 24kHz, tensão do acoplamento CC variando de 100 V a 900 V dependendo muito da aplicação a qual o inversor será submetido.

No mercado nacional encontramos a WEG, como um dos fabricantes que estão desenvolvendo esse tipo de tecnologia, desde de 2011, para aplicação em veículos elétricos e híbridos. E recentemente, em 2017, em parceria com a MAN, a WEG entra no desenvolvimento do primeiro caminhão 100% elétrico desenvolvido no Brasil, fornecendo as soluções para os sistemas de *Powertrain*. (WEG,2017)

**Tabela 1 - Fabricantes de Inversores e as ofertas disponíveis no mercado**

Fabricante	Sede	Modelo	Produto	Aplicação
ARENS	EUA	-	Potência: 30 a 500kW Tensão: 260V a 900V	Carros de Passeio; Tratores
POWEREX	EUA	-	Tensão Max.: 1200V Corrente Max.: 300A	Veículos Híbridos Veículos Elétricos
SEMIKRON	Alemanha	-	Aplicação com MOSFET Potência: 3kW a 30kW Tensão: 24V a 120V	Veículos Leves
		-	Aplicação com IGBT Potência: 30kW a 250kW Tensão: 200V a 800V	Veículos de passeio Tratores Veículos de Construção
SIEMENS	Alemanha	SIVETEC	Potencia Max. 170kW Tensão: 180 a 450V Frequência: 2 - 12kHz	Veículos de Passeio Exemplos: Volvo XC90 T8 Twin Engine Volvo C30 Electric II
WEG	Brasil	CVW500	Corrente: 275A Tensão: 200 - 400V Frequência: 8kHz	micro-ônibus, furgões e caminhões elétricos e híbridos e veículos elétricos leves em geral;
SEVCON	Reino Unido	GEN4-80	Potencia; 15 kW Tensão: 116 V Frequência: 16 a 24 kHz	Veículos Passeio;
TM4	Canada	CO150	Potencia Max: 150kW Corrente: 575A Frequência: 1,25kHz Tensão: 320-450 V	Veículos leves, carros, motos, quadriculos;
BOSH	Alemanha	-	Potencia: 100kW Tensão: 100V ~450V	Veículos Leves
CHROMA	Taiwan	-	Tensão: 300V Potência: 105kW Corrente:200A	Veículos Leves
ZF	Alemanha	eVD2	Tensão: 220V - 420V Potencia:150kW Torque:3500 N.m	Veículos Leves

**Fonte: Autoria Própria**

## 2.3 CHICOTES AUTOMOTIVOS

O chicote elétrico é um dos componentes mais complexos de um automóvel, possuindo inúmeras variantes devido as diversas combinações de sistemas ofertados, e podendo ser composto por mais de 2000 circuitos elétricos. Um conjunto pode facilmente superar 1000 metros de cabos de diversas bitolas ao longo das carrocerias. (GIMENES, 2014)

### 2.3.1 Cabos Paralelos

Cabos paralelos (Figura 15), são uma série de cabos posicionados lado a lado e juntos ao longo da camada de isolamento. Sua operação ideal ocorre na conexão entre componentes eletrônicos, como entre duas ECU's. Muito usados para o envio de dados de sinais e comunicação, são em sua maioria protegidos de modo a evitar interferências eletromagnéticas. (JONES; VANGELDER, 2017)

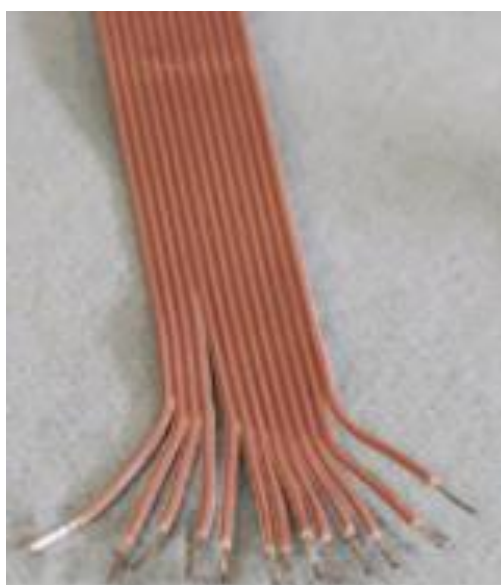


Figura 15 - Cabos Paralelos  
Fonte: (JONES; VANGELDER, 2017)

### 2.3.2 Cabos Par Trançado

Cabos do tipo par trançado, utiliza 2 cabos trançados do início até o resistor terminal, ver Figura 16. O par trançado com o resistor terminal tem como função e efeito na rede de cancelar e/ou anular ruídos que possam ocorrer, reduzindo a perda

de sinal e dados transmitidos. A rede CAN nos veículos atuais possuem essa configuração. (JONES; VANGELDER, 2017)



Figura 16 - Cabo Par Trançado  
Fonte: (JONES; VANGELDER, 2017)

## 2.4 CONCEITOS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NO AMBIENTE AUTOMOTIVO

A interferência eletromagnética segue necessariamente o modelo a seguir (Figura 17) fonte – meio – destino. Estes três elementos sempre são presentes em problemas de interferência eletromagnética. (SOARES,2013)

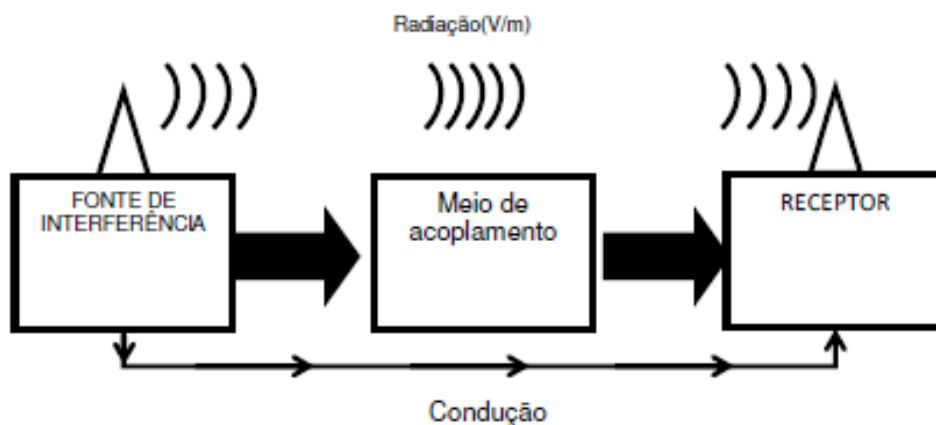


Figura 17 - Modelo Básico EMC  
Fonte: SOARES,2013

No modelo básico temos a fonte, onde é gerado a interferência podendo ela ser intencional ou não intencional, o meio (caminho de propagação da interferência), podendo ser cabos, antenas ou trilhas em placas de circuito impresso e por último o



receptor o qual irá sofrer a consequência da fonte, podendo ser uma interferência conduzida ou irradiada. (SOARES, 2013)

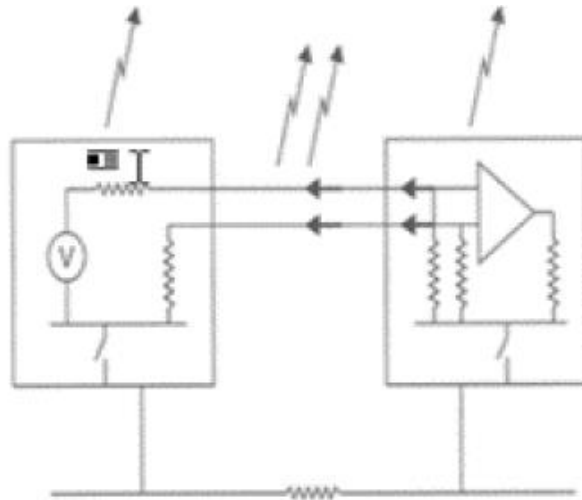
#### **2.4.1 Emissões Irradiadas e Imunidade Irradiada**

São interferências geradas por algum componente ou dispositivo do veículo transmitida para o meio externo. Qualquer componente eletroeletrônico ativo pode gerar sinais de modo a interferir no funcionamento de outro componente, dependendo da sua frequência e intensidade como mostrado na Figura 18. (AMARAL,2015)

Dentre esse tipo de emissões encontradas em um ambiente automotivo, podemos destacar os transientes, gerados durante o ciclo de ignição, vidros elétricos e faróis, onde o chicote pode atuar como antena irradiando os sinais. (AMARAL,2015)

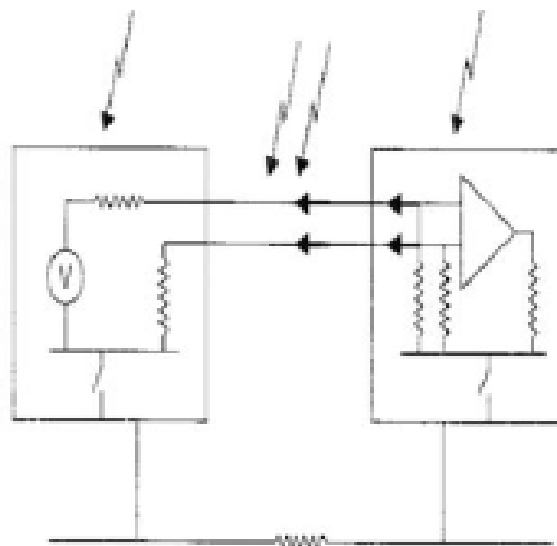
Outro ponto de emissão são os sistemas eletrônicos, que possuem sistemas digitais (microcontroladores e microprocessadores) trabalhando em frequências maiores que 100MHz, gerando harmônicos com frequências muito superiores. Afetando placas de circuito impresso e as interconexões em chicotes. Ainda dentro desse contexto, temos ainda os controles PWM para motores elétricos, que como visto anteriormente na tabela 1 a frequência de chaveamento dos inversores se encontra na faixa de kHz, ocasionado harmônicos dentro da faixa de MHz. (AMARAL,2015)

De forma geral, essas emissões geram sinais da ordem de  $\mu\text{V}/\text{m}$  ou  $\text{mV}/\text{m}$ , porém esses valores realmente mudam quando olhamos para o sistema de ignição, que podem gerar sinais com grandezas o suficiente para gerar interferências em sistemas próximos. (AMARAL,2015)



**Figura 18 - Emissões Irradiadas**  
**Fonte: AMARAL,2015**

Com relação a imunidade Irradiada (Figura 19), por natureza os automóveis estão sujeitos aos mais diversos ambientes eletromagnéticos, tendo como os mais severos, emissões criadas por transmissores de rádios, telefones celulares, antenas de micro-ondas, radares e etc. Estas fontes são consideradas como sinais de banda estreita e geram potências na ordem de MW, podendo causar interferências em sistemas eletrônicos, caso possua baixa imunidade. (Amaral,2015)



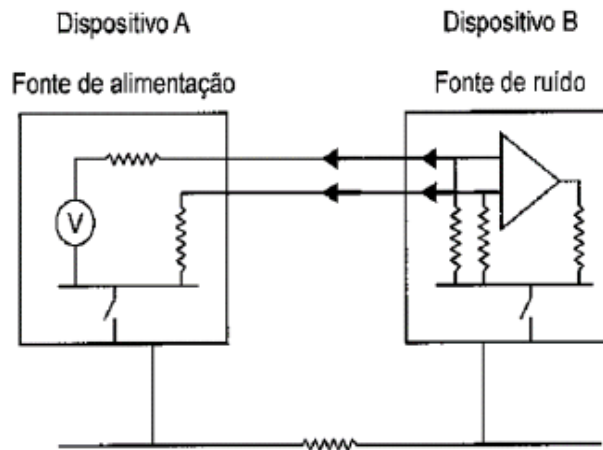
**Figura 19 - Exemplo de Imunidade Irradiada**  
**Fonte: AMARAL,2015**

#### 2.4.2 Emissão Conduzida e Imunidade Conduzida

Como não há conexão do automóvel com uma fonte de energia externa, as interferências conduzidas têm como origem e são sentidas no próprio veículo (Figura

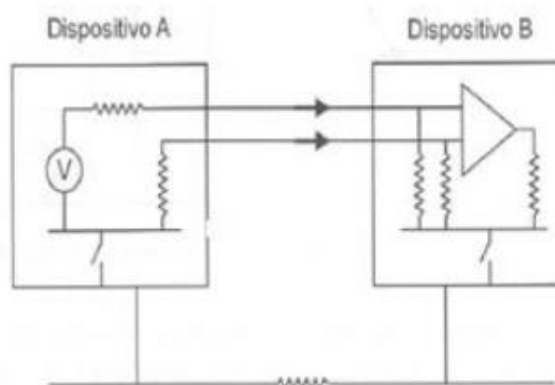
20). Em geral essas emissões são geradas através da comutação de reles, motores com escova e componentes de características de carga indutivas. (AMARAL,2015)

Apresentam-se geralmente em formas de transientes, que são conduzidos através de chicotes de alimentação e espalhando-se por todo o veículo. Com amplitudes de até 200V, são capazes de interferir e afetar funcionamento dos demais equipamentos presentes no automóvel. (AMARAL,2015)



**Figura 20- Exemplo de Emissão Conduzida**  
Fonte: AMARAL,2015

A Imunidade Conduzida é a capacidade de um dispositivo suportar as interferências geradas por outro dispositivo (Figura 21). Alguns dispositivos com características de cargas indutivas, como motores dos limpadores de vidro, motores das máquinas de vidros laterais, podem gerar ruídos de interferência nos chicotes elétricos de alimentação do veículo, podendo comprometer o funcionamento de circuitos ou sistemas. Estes devem ser capazes de serem imunes de modo a garantir o perfeito funcionamento do veículo e dos seus sistemas. (AMARAL,2015).



**Figura 21 - Exemplo de Imunidade Conduzida**  
Fonte: AMARAL,2015

### 2.4.3 Classificação das Interferências Eletromagnéticas Automotivas

As principais interferências eletromagnéticas no meio automotivo que podemos encontrar são apresentadas abaixo, onde é possível verificar as causas e fontes mais comuns.

**Tabela 2 - Classificação das Interferências Automotivas**

Classificação	Causas	Fontes
Emissão Conduzida - CE	Sinais transientes ou contínuos, que são emitidos pelas fontes e conduzidos através dos cabos e interferem com os sistemas eletrônicos embarcados.	Alternadores, sistema de ignição, micro controladores, motores elétricos, sistema PWM, etc.
Emissão Irrradiada - RE	Energia EM irradiada do veículo (ou componentes) para o espaço livre que interfere nos sistemas externos, como rádio, TVs, radares, etc., ou nos componentes embarcados do veículo.	Cabeamento, sistema de vela de ignição, micro controladores, etc.
Imunidade à Condução - CI	Sinais transientes ou contínuos, que são recebidos pelos sistemas eletrônicos embarcados por condução através dos cabos.	Alternadores, sistema de ignição, micro controladores, motores elétricos, sistema PWM, etc.
Imunidade à Radiação - RI	Energia EM irradiada de fontes externas que perturbam o sistema eletrônico embarcado do veículo.	Radar, sistemas de transmissão e comunicação, celulares.
Descarga Eletrostática - ESD	Transferências de cargas entre diferentes potenciais que influenciam na funcionalidade da eletrônica embarcada. Ocorrem durante o manuseio, montagem e manutenção de componentes eletrônicos ou pelos conjuntos rotativos do veículo.	Cintos, conjuntos rotativos, bombas de combustível, corpo humano, raios, etc.

Fonte: AMARAL,2015

Os testes de imunidade irradiada dos automóveis constituem uma etapa importante no processo de desenvolvimento de um veículo, pois as funções dos sistemas de controle, diretamente ligadas na segurança pessoal, devem funcionar perfeitamente, mesmo em ambientes poluídos eletromagneticamente. (EGYDIO,2013)

Como vimos até agora o sistema elétrico automotivo, com os tempos, vem se tornando cada vez mais complexo. Do habitual 12V empregado em décadas passadas, hoje encontramos diversos sistemas de entretenimento, dispositivos de

rastreamento entre outros, e agora mais recentemente nos veículos elétricos e híbridos os sistemas de *Powertrain*. Todos esses sistemas podem operar todos ao mesmo tempo. Com todas essas alterações no sistema há a necessidade de estudos sobre os efeitos eletromagnéticos que possam vir a ocorrer. (NASCIMENTO, 2003)

Por esse motivo é de extrema relevância a validação, tanto para as emissões como para a imunidade, ainda na fase de projeto de produto, desses fatores.

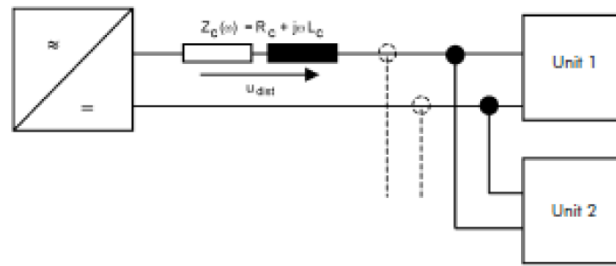
#### **2.4.4 Acoplamentos**

Há algumas maneiras de como os campos eletromagnéticos são acoplados pelos sistemas eletrônicos. O primeiro modo é através da placa de circuito impresso (PCI) e o segundo através dos cabos dos chicotes do produto. Em ambas situações temos a atuação como antenas as quais irão converter o campo em tensão ou corrente conduzida. (AMARAL, 2015)

##### **2.4.4.1 Acoplamento Galvânico**

O acoplamento galvânico ocorre quando circuitos distintos, possuem linhas comuns ou impedâncias comuns, ver Figura 22. Ex. Circuitos distintos com a mesma fonte de alimentação. No mundo automotivo essa condição ocorre principalmente com o chassi do veículo que é o retorno (terra). (SOARES,2013)

Como é de conhecimento, o chassi automotivo não é composto por uma peça única, possui diversas junções, soldas que como consequência causa o surgimento de valores distintos e significativos de impedância. Com isso diferentes, valores de potenciais surgem nos pontos de aterramento, essa condição é trabalhada utilizando aterramentos híbridos, separando os pontos de aterramento para tipos específicos de carga. (SOARES,2013)

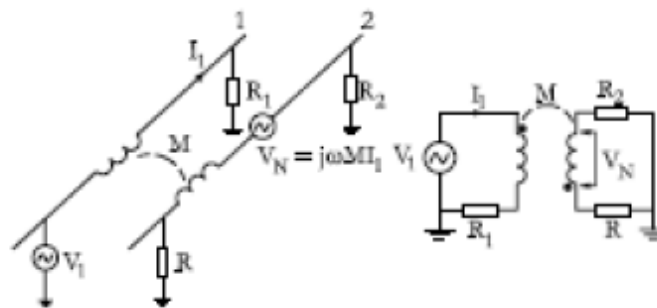


**Figura 22 - Acoplamento Galvânico**  
Fonte: SOARES,2013

#### 2.4.4.2 Acoplamento Indutivo

Para essa configuração, o receptor é afetado pelo campo magnético gerado no transmissor, o qual flui uma corrente e um campo magnético é gerado. Esse campo afeta o receptor, por estar em uma região de proximidade, acoplando-se através da indutância mútua. Essa indutância depende diretamente da geometria e dos elementos do circuito (cargas resistivas, indutivas e capacitivas). Não há ligação e/ou meio de condução elétrico entre eles. (SOARES,2013)

A figura abaixo representa um exemplo desse acoplamento.



**Figura 23 - Acoplamento Indutivo**  
Fonte; SOARES,2013

#### 2.4.4.3 Acoplamento Capacitivo

Da mesma forma que o anterior, também não temos meio de condução elétrico entre o emissor e o receptor. O receptor é afetado pelo campo elétrico do emissor, e por estar em uma região de campo próximo acaba sofrendo os efeitos. A denominação de acoplamento capacitivo se dá pela configuração que temos entre os condutores, lembrando que temos cargas elétricas circulando em cada condutor,

temos: carga elétrica – isolante – carga elétrica, essa configuração é a mesma de um capacitor, ver Figura 24. Entre os condutores temos o surgimento de capacitâncias parasitas. (SOARES,2013)

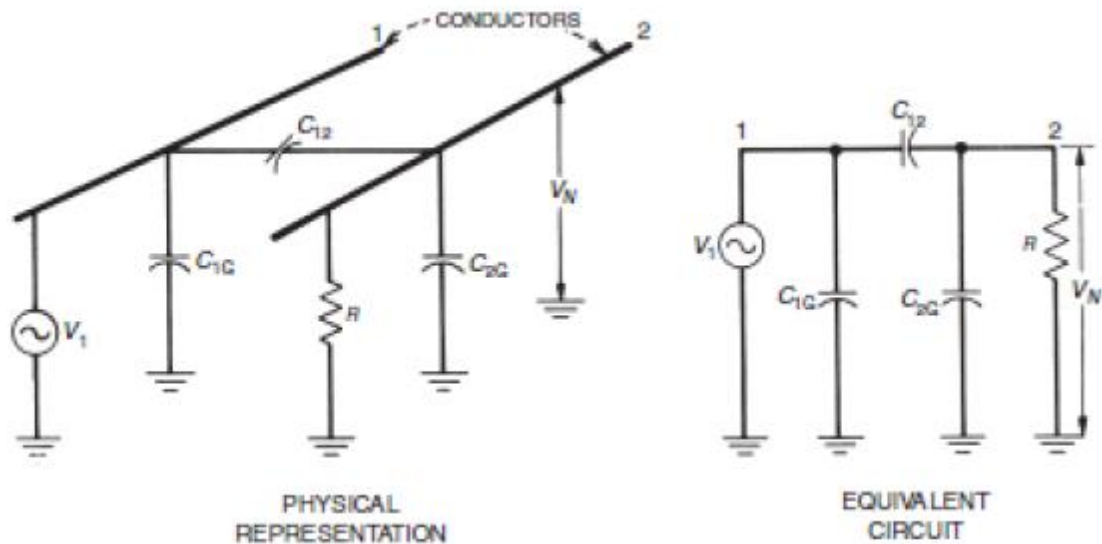


Figura 24 - Acoplamento Capacitivo  
Fonte: SOARES,2013

#### 2.4.4.4 Acoplamento Irrradiado

Como nas anteriores nessa configuração não temos meio de condução entre emissor e receptor, mas temos o efeito do campo eletromagnético que é a combinação de ambos anteriores. Esse tipo de acoplamento ocorre tanto nos chicotes elétricos presentes nos veículos como nas trilhas das placas de circuito impresso. Devido as dimensões os chicotes atuam como antenas para frequências de até 20MHz e as trilhas de circuito impresso para faixa de 20 a 200MHz. (SOARES,2013)

#### 2.4.5 Linha de Transmissão

Por definição, seria como os cabos paralelos, conjunto de dois ou mais condutores paralelos próximos entre si, podendo esses condutores transmitir potência ou dados. Por tanto, há movimentação de cargas, que ocasionarão efeitos de campos elétricos e magnéticos. (SOARES,2013)

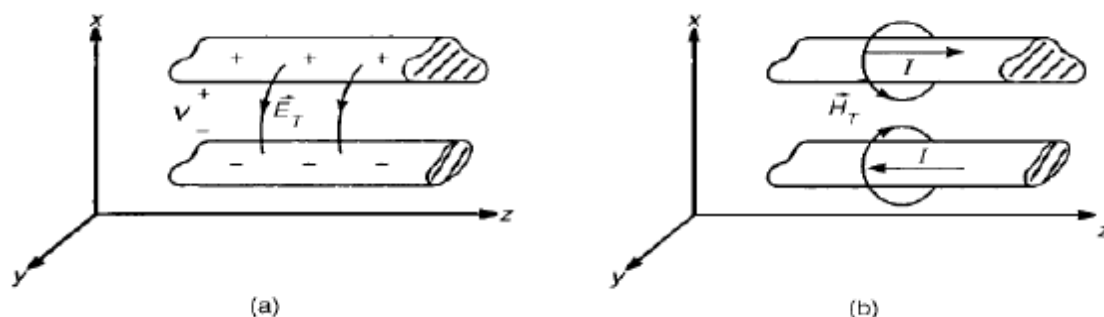


Figura 25 - Campo Elétrico (a) e Campo Magnético (b)  
Fonte: SOARES,2013

Com isso presenciamos nas linhas de transmissão características de capacitâncias e indutâncias distribuídas, ver Figura 25. (SOARES,2013)

#### 2.4.6 Crosstalk

Segundo Nascimento (2003), *Crosstalk* é um acoplamento eletromagnético não intencional entre condutores próximos, que são pertencentes a um mesmo equipamento. Para termos o efeito de *Crosstalk*, além de dois condutores de alimentação, deve-se possuir um terceiro elemento que será o receptor da irradiação.

Esse condutor receptor, que poderia ser visto como uma antena, dentro do conceito de *Crosstalk* diferencia-se de antena justamente pela proximidade dos condutores. Antenas por definição costumam a acoplar equipamentos disposto a distância. (NASCIMENTO,2003)

Um equipamento que esteja sujeito a *Crosstalk* não atende um dos conceitos de compatibilidade eletromagnética que seria, a de não causar interferência em si próprio. Situação essa totalmente indesejável que em uma aplicação de chicote elétrico, por exemplo, ocasionando o acionamento indevido de algum sistema, que colocaria em risco a vida do motorista. (NASCIMENTO,2003)

Como citado acima, todos esses condutores, em um chicote automotivo, são agrupados e posicionados através da estrutura do veículo, proporcionando uma condição para que tenhamos o *Crosstalk*. Esses condutores podem transportar



inúmeros tipos de sinais (alimentação de motores elétricos, dados do sistema, multimídia) em diferentes redes como: CAN, LIN. (SOARES,2013)

Entre os efeitos do *Crosstalk*, podemos citar:

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

#### **2.4.7 Harmônicas**

Com o avanço da eletrônica de potência para processamento e controle do fluxo de energia, a forma de onda da corrente deixa de ser uma senóide perfeita. Em algumas aplicações observa-se visualmente, com auxílio do osciloscópio, as distorções ocorridas na forma de onda da corrente. (PINHO; ROCHA,2010)

A presença dessa distorção, mesmo que em menor escala irá impactar na forma de onda da tensão. Isso ocorre pela circulação da corrente distorcida pela impedância do sistema. (PINHO; ROCHA,2010)

De forma a quantificar essa distorção, era necessário criar algum indicador, dessa forma surgiu o termo harmônicas e a possibilidade de se definir o grau de distorção de uma onda. (PINHO; ROCHA,2010)

As ondas tanto de corrente como de tensão são periódicas, ou seja, mesmo distorcidas essas ondas se repetem ao longo do tempo, mesmo com uma alteração na carga que irá influenciar as ondas de corrente, ainda elas serão periódicas.

Dessa forma, essas ondas podem ser representadas por expressões matemáticas através da série de Fourier, com isso essas ondas podem ter a magnitude de seus componentes harmônicos determinadas. Essa análise das harmônicas é o processo de resolução de uma forma de onda periódica numa série de componentes senoidais de ordem ou frequência ascendente. (PINHO; ROCHA,2010)

## 2.5 NORMAS EMC E EMI

Os fenômenos de EMC em veículos são basicamente os mesmos observados em qualquer outro sistema eletroeletrônico seja ele residencial ou industrial: emissão e suscetibilidade conduzidas e irradiadas. Mesmo que o meio ao qual os sistemas automotivos estejam inseridos sejam completamente diferentes. (EGYDIO,2013)

Os padrões EMC e EMI automotivos são desenvolvidos regulamentados principalmente pelos seguintes organismos ISO, CISPR e SAE (ver Tabela 3), e aplicam-se a componentes, sistemas e veículo completo. Algumas organizações governamentais também utilizam esses padrões e os próprios fabricantes também podem ter seus próprios padrões, mas para regulamentação e até a autorização para venda do produto, muitos países só aceitam as certificações ISO, SAE ou CISPR. (AMARAL,2015)

**Tabela 3 - Normas de Compatibilidade Eletromagnética automotiva**

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

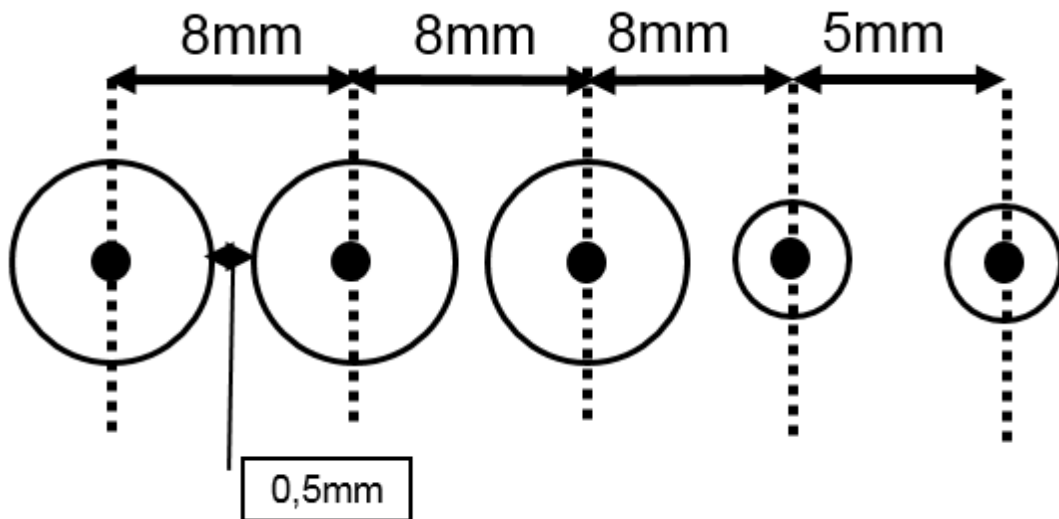
**Fonte: AMARAL,2015**

Durante a fase de desenvolvimento e validação do veículo, com relação aos efeitos de interferência eletromagnética, primeiro realizam-se os ensaios em cada componente (modulo ou sistema eletrônico) individualmente, para na sequência ser feita a análise do veículo como um todo. (AMARAL,2015)

### 3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Como visto nas seções anteriores, como características própria, os inversores podem ser uma fonte causadora de interferências eletromagnéticas em chicotes elétricos se alguns cuidados fundamentais não forem tomados, como: blindagem em cabos, filtros nas ECU's, cuidados com as harmônicas e etc. O objetivo desse trabalho é verificar, o comportamento do inversor trifásico CC-CA do tipo ponte, configuração mais utilizada em veículos elétricos, quantificando o efeito do acoplamento indutivo das correntes com conteúdo harmônico em circuitos adjacentes, no caso do presente trabalho, a configuração de cabos paralelos, conforme Figura 26.

Para a realizar as análises, cálculos e simulação que serão apresentados na sequência, buscou-se utilizar parâmetros mais próximos dos reais encontrados na pesquisa bibliográfica. Para isso, considerou-se os cabos de potência do inversor com seção  $35\text{mm}^2$ , capacidade de corrente de 100A, espaçados de 0,5mm e a distância entre centros do último cabo de potência para o cabo de sinal a distância de 8mm, conforme disposição abaixo (Figura 26).



**Figura 26 - Configuração dos cabos a ser analisada**  
**Fonte: Autoria Própria**

Uma vez definida a configuração do cabeamento a ser analisada, buscou-se encontrar a configuração de inversor mais utilizada e verificou-se o domínio do mercado pela configuração do Inversor Trifásico CC-CA do tipo ponte, configuração

essa adotada para a simulação. Para os valores de alimentação da fonte de tensão CC, que na prática seriam baterias, encontramos um range alto de valores, conforme podemos observar na Tabela 1, porém para aplicações em veículos leves encontramos valores mínimos de 100V, valor esse escolhido para a simulação.

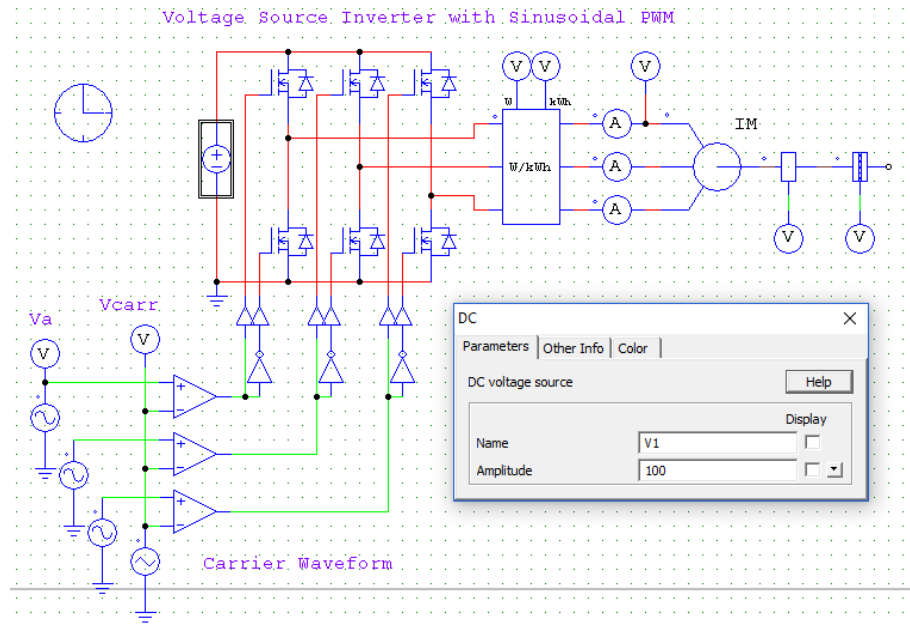
Para a máquina elétrica, motor trifásico CA, adotou-se os mesmos parâmetros utilizados por Filadelfo (2016) em sua tese de doutorado e apresentados na Figura 27 a seguir.

Parameter	Value	Display
Name	IM2	<input type="checkbox"/>
Rs (stator)	0.025	<input type="checkbox"/> ▾
Ls (stator)	0.0002	<input type="checkbox"/> ▾
Rr (rotor)	0.058	<input type="checkbox"/> ▾
Lr (rotor)	0.00087	<input type="checkbox"/> ▾
Lm (magnetizing)	0.0122	<input type="checkbox"/> ▾
No. of Poles P	4	<input type="checkbox"/> ▾
Moment of Inertia	0.46	<input type="checkbox"/> ▾
Torque Flag	1	<input checked="" type="checkbox"/> ▾
Master/Slave Flag	1	<input type="checkbox"/> ▾

**Figura 27 - Parâmetros do Motor Elétrico**  
**Fonte: Autoria Própria**

Com todos os parâmetros definidos, foi escolhido o software PSIM, para se realizar a simulação. Esse software, foi o escolhido pela sua facilidade e por já trabalharmos com essa ferramenta em algumas atividades de desenvolvimento.

Para a simulação foram utilizados os parâmetros descritos acima e a sua configuração final, circuito esse que podemos encontrar conforme Figura 28 abaixo.

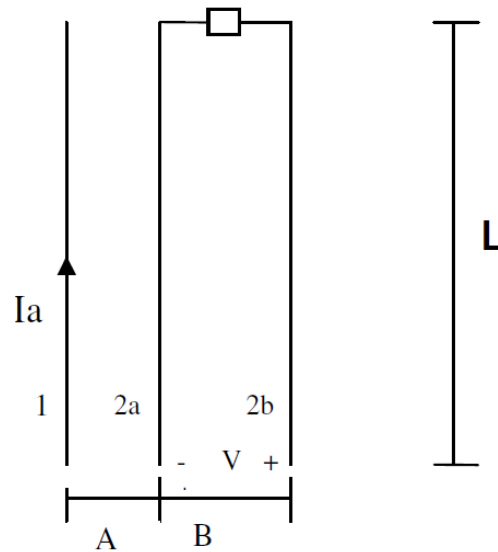


**Figura 28 - Circuito Simulado do Inversor CC-CA**  
**Fonte: Autoria Própria**

Após o circuito ser montado, e parametrizado, conforme descrito, foram escolhidas para a simulação frequências de chaveamento como 5kHz, 10kHz e 15kHz. Com isso obteve-se da simulação, os gráficos da corrente no domínio do tempo, os gráficos das correntes amostrados em FFT, e uma tabela com os dados das três correntes do sistema em função do tempo para análise.

Para um melhor entendimento, análise dos cálculos e análise dos resultados obtidos, precisamos retomar alguns conceitos de eletromagnetismo como harmônicas e acoplamento indutivos.

O acoplamento Indutivo gera tensões induzidas através da variação do fluxo magnético. Para se compreender esse acoplamento entre os cabos próximos apresenta-se uma configuração genérica na Figura 29. Nesta configuração genérica, existem três condutores paralelos, onde em um deles circulará corrente e como consequência teremos tensão induzida nos outros dois. Podemos considerar que estes outros dois cabos formam um circuito fechado em um dos terminais. Dessa forma conseguimos calcular a tensão induzida por variação de fluxo magnético conforme demonstração na sequência. (PINHO; ROCHA,2010)



**Figura 29 - Topologia de Cabos para Acoplamento Indutivo**  
**Fonte: Adaptado de (PINHO; ROCHA,2010)**

Para os cálculos a seguir utilizou-se a configuração da Figura 29 e, onde  $i(t)$  de acordo com a equação (1) representa a corrente total que circula pelo cabo 1. A distância A vai do centro do cabo 1 até o centro do cabo 2a e a distância B vai do centro do cabo 2a até o cabo 2b. L é a distância em que os fios estão paralelos. Os raios dos fios de energia e de sinal valem  $r_e$  e  $r_s$ , respectivamente. V é a tensão induzida em volts. Todas as distâncias serão em metros. (PINHO;ROCHA,2010)

Neste caso, considera-se que o campo magnético gerado pelo cabo 1 é constante em todos os pontos a uma distância fixa do mesmo, o que obedece a Lei de Ampère. Então, a partir da equação abaixo, o módulo do campo magnético é:

$$H = \frac{i(t)}{2\pi r} \quad (1)$$

Como  $r$  é a distância entre o fio e o ponto onde se deseja obter o campo.

Podemos encontrar a expressão geral do fluxo magnético no ar através de:

$$B = \mu_0 H$$

$$B = \mu_0 \frac{i(t)}{2\pi r}$$

$$\Phi = \iint B ds$$

Portanto a expressão geral do fluxo magnético no ar:

$$\Phi = \iint \mu_0 H ds \quad (2)$$

Sendo o fluxo que atravessa os dois cabos do circuito:

$$\begin{aligned} \Phi &= \iint \mu_0 \frac{i(t)}{2\pi r} dl dr \\ \Phi &= \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_0^L dL \int_{R1}^{R2} \frac{dr}{r} \\ \Phi &= \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \left( \frac{A+B}{A+r_s} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Dessa forma temos a indutância mútua entre o cabo de potência energia e os cabos de sinal que será:

$$\begin{aligned} M &= \frac{\Phi}{I} \\ M &= \frac{\frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \left( \frac{A+B}{A+r_s} \right)}{I} \\ M &= \frac{\mu_0 L}{2\pi} \ln \left( \frac{A+B}{A+r_s} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

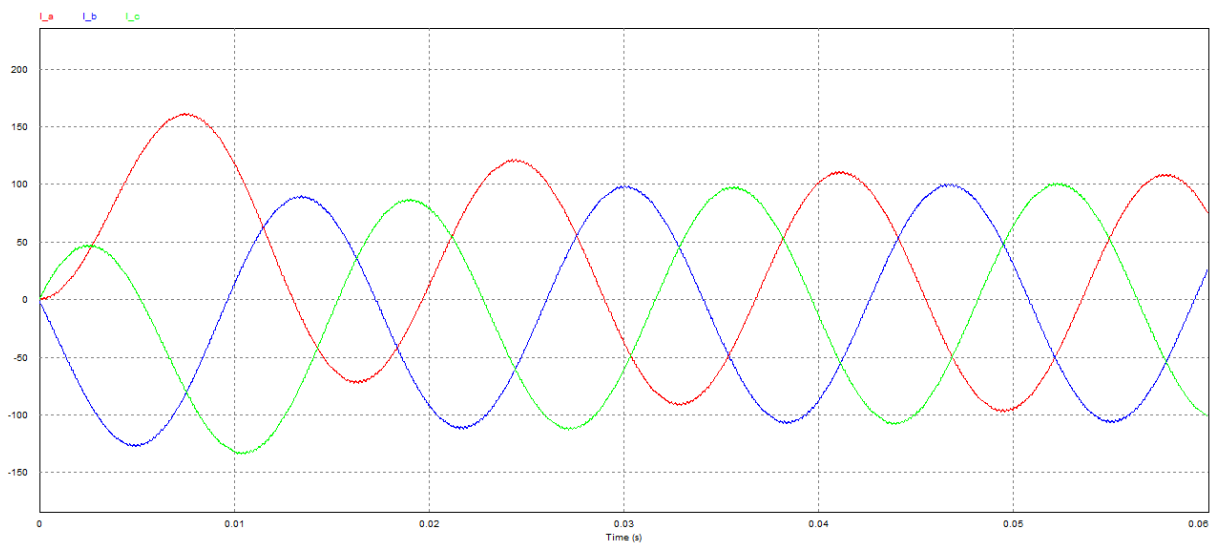
E o valor de tensão induzida será:

$$V = M \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

Dessa forma, e com os dados obtidos na simulação, foi possível realizar a análise dos efeitos do inversor trifásico em ponte, sobre uma configuração de cabos paralelos, em três diferentes frequências. Para isso criou-se uma planilha em Microsoft Excel (ver Apêndice A) onde foram compiladas todas as informações da simulação, formulas e os parâmetros acima mencionados, permitindo criar-se gráficos e cálculos para os efeitos do inversor CC-CA em ponte, para análise da tensão induzida.

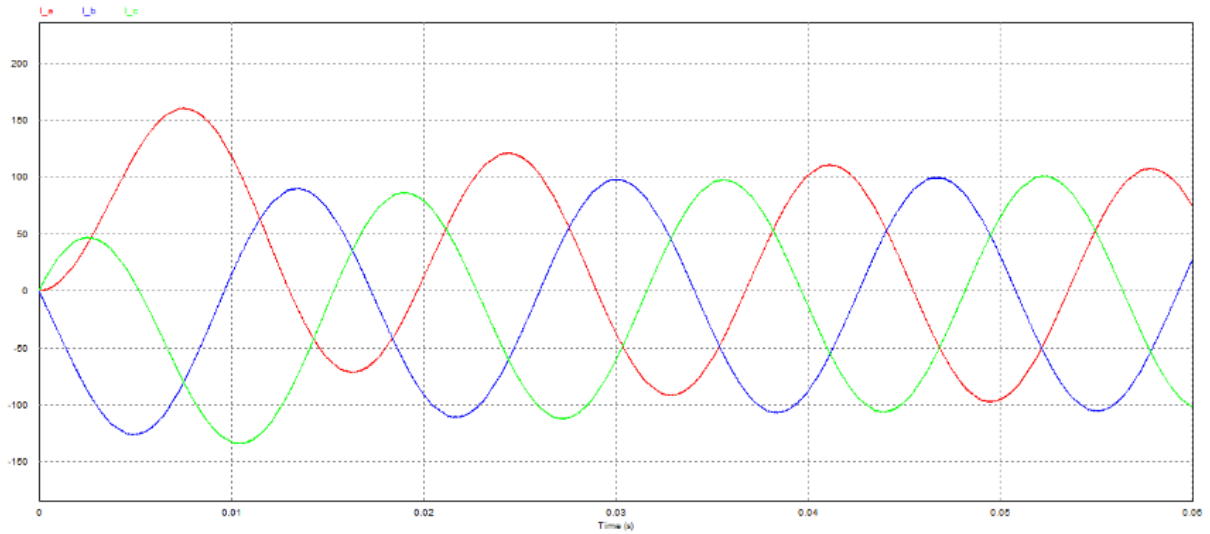
## 4 ANÁLISE E RESULTADOS

Através da simulação do circuito apresentado na Figura 28, presente no capítulo 3, com as frequências de chaveamento de 5kHz, 10kHz e 15kHz encontram-se as seguintes formas de onda de corrente e os seus respectivos FFT's.

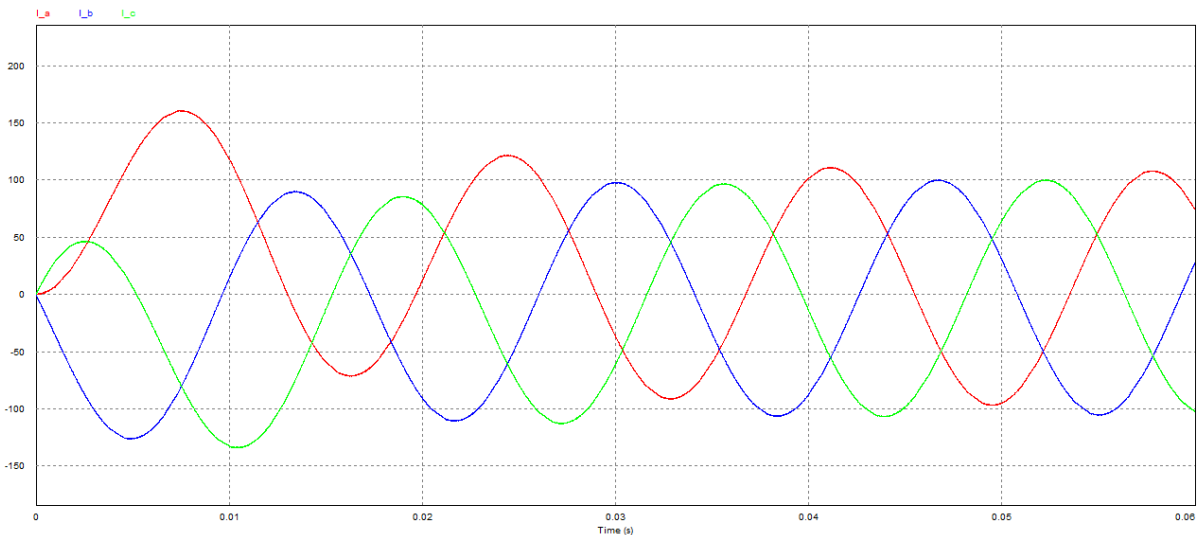


**Figura 30 - Chaveamento Inversor a 5kHz**  
**Fonte: Aatoria Própria**



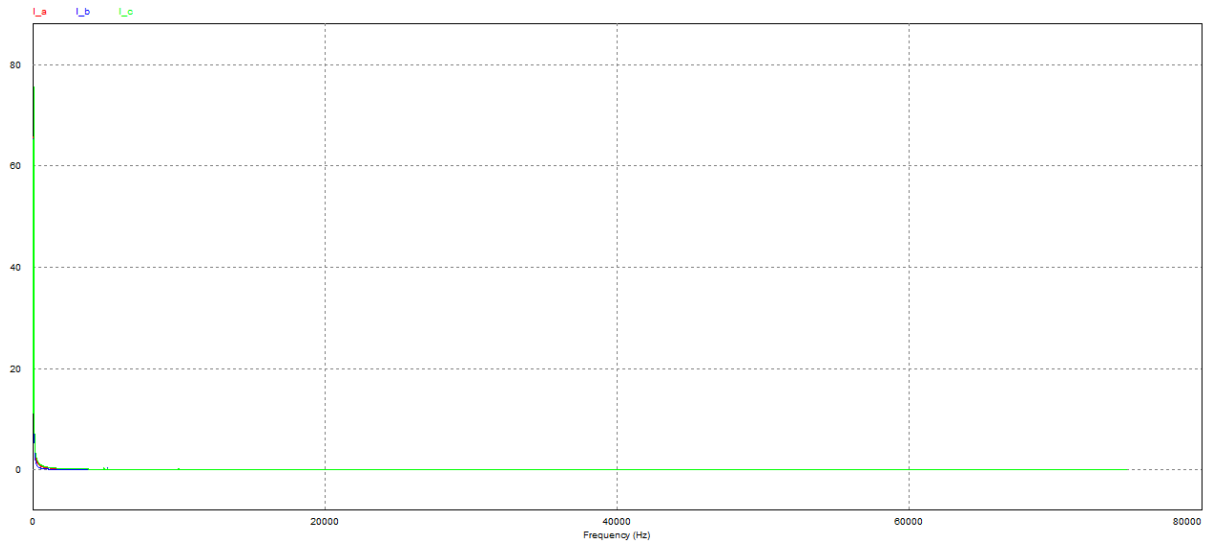


**Figura 31 - Chaveamento Inversor a 10kHz**  
**Fonte: Autoria Própria**

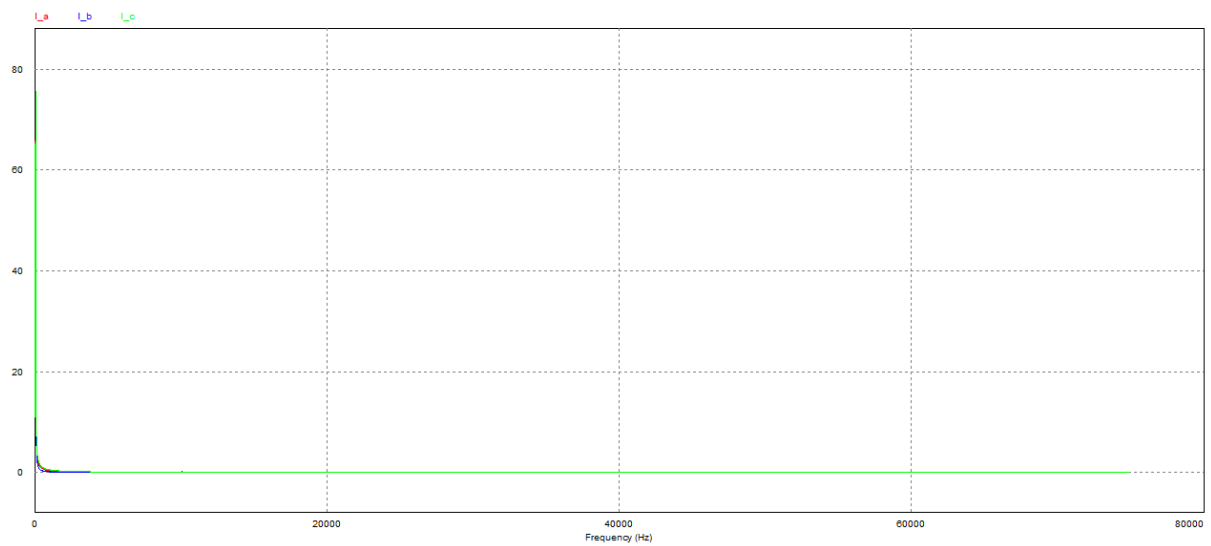


**Figura 32 - Chaveamento Inversor a 15kHz**  
**Fonte: Autoria Própria**

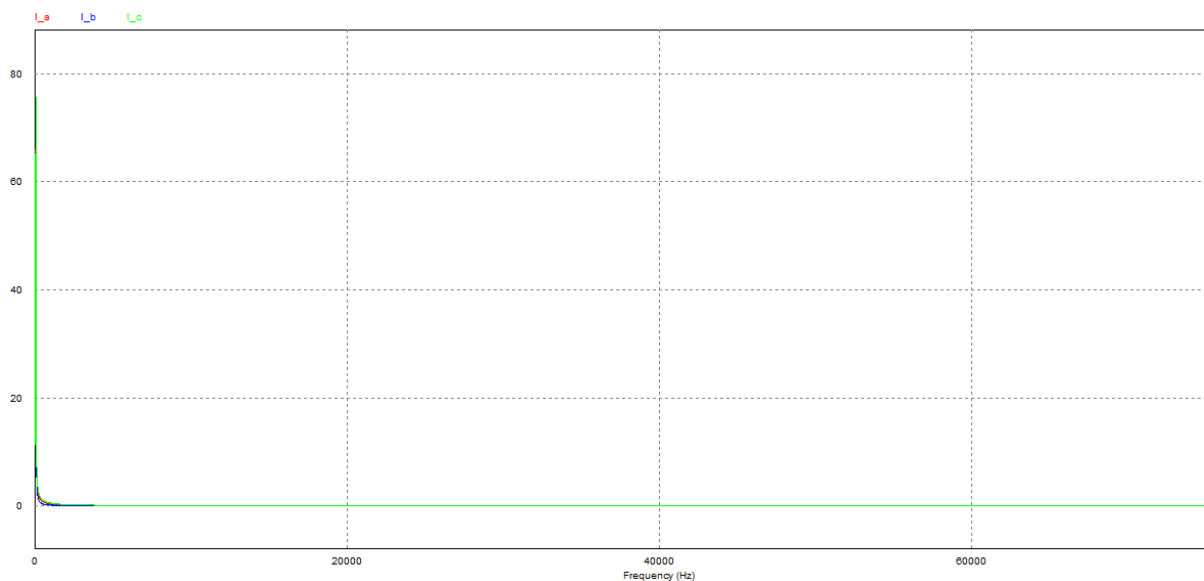
Para as frequências de chaveamento simuladas observa-se uma baixa formação de harmônicas, como podem ser observadas e confirmadas nos gráficos de FFTs obtidos também pelo PSIM. Conforme imagens abaixo.



**Figura 33 - FFT das Correntes do Inversor a 5kHz**  
**Fonte: Autoria Própria**



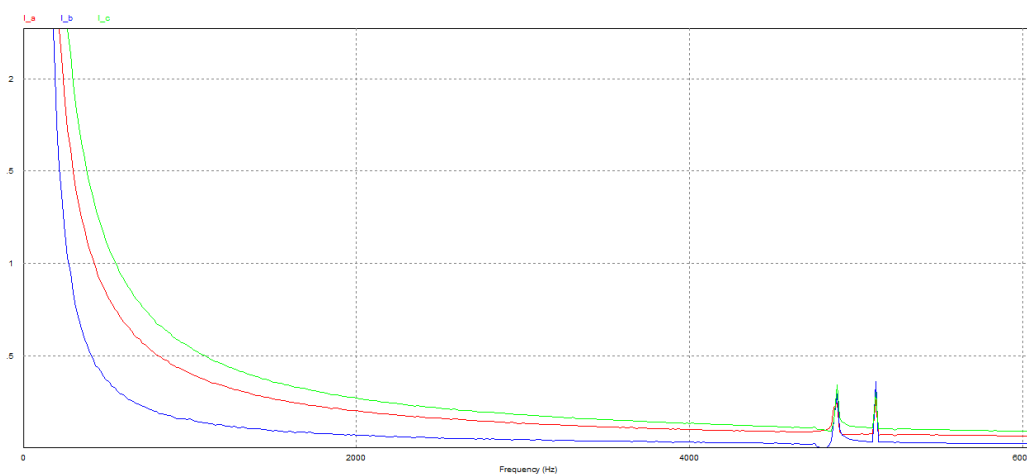
**Figura 34 - FFT das Correntes do Inversor a 10kHz**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 35 - FFT das Correntes do Inversor a 15kHz**

**Fonte: Autoria Própria**

Como se pode observar nos gráficos de FFT acima, a distorção harmônica, para essa configuração, basicamente concentra-se nas harmônicas fundamentais, porém observa-se uma pequena formação na faixa de 5kHz com amplitude muito baixa, que pode ser observada na figura abaixo.



**Figura 36 - Sinal Amostrado das Correntes**

**Fonte: Autoria Própria**

Esses resultados encontrados vão de encontro com a teoria apresentada, a qual apontava que inversores CC-CA em ponte com controle por PWM, são indicados para esse tipo aplicação em veículos elétricos, por apresentarem baixo conteúdo harmônico ou terem as harmônicas em frequências muito altas que são filtradas pela própria carga.

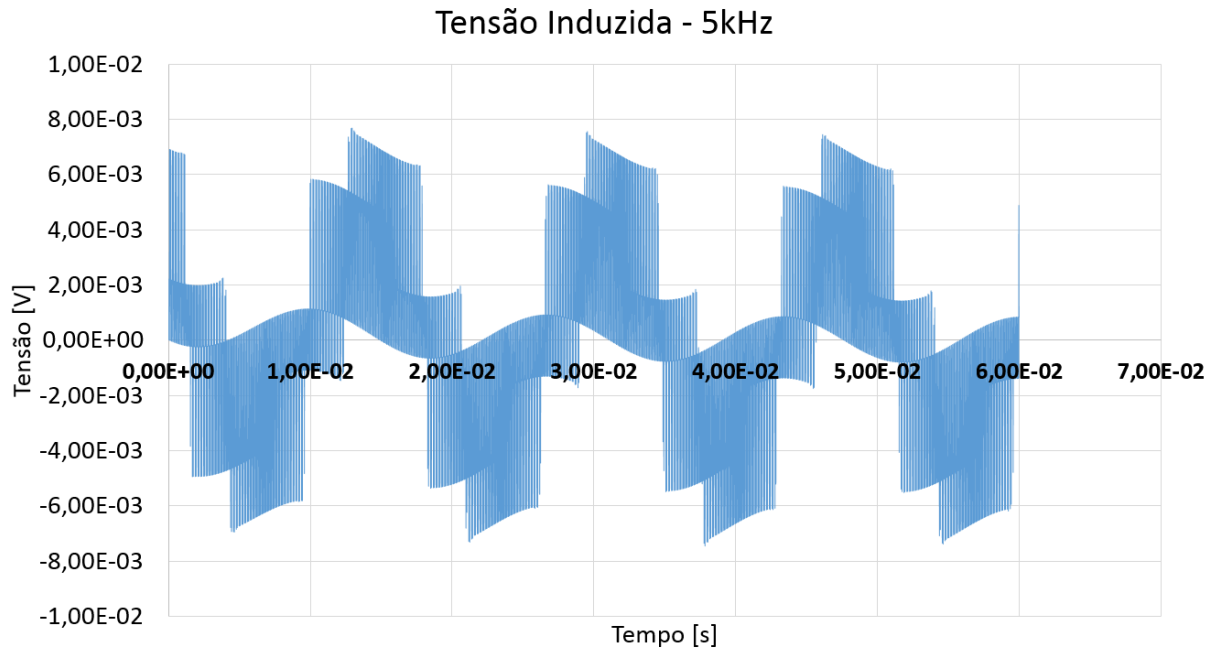
Na sequência, com essas informações e com os dados de simulação, para as correntes no domínio do tempo, geradas pelo software PSIM (Figura 37) foi possível calcular os valores de tensão induzida, para cada uma das frequências simuladas, com as equações apresentadas no capítulo anterior.

Time	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>
6.666599999999998e-006	0	0	0
1.33332e-005	0	0	0
1.999979999999998e-005	0.15656158325327851	-0.31312315807588903	0.1565615690424238
2.666639999999999e-005	0.37596751667479111	-0.75193501279561281	0.37596751667479111
3.333300000000001e-005	0.59529158136228943	-1.1905831474876487	0.59529155294058
3.999960000000002e-005	0.81450652089642972	-1.6290130640876239	0.81450653510728444
4.666620000000004e-005	1.033612434753195	-2.0672248754763087	1.033612434753195
5.333280000000005e-005	1.0835088654040002	-2.4206391431132519	1.3371302571840715
5.999940000000007e-005	0.86348611922794716	-2.638918908418677	1.7754327927832492
6.666600000000002e-005	0.64354547235827175	-2.8571172506005418	2.2135717614446548
7.333259999999996e-005	0.4237142534812246	-3.075207066055742	2.6514928208598576
7.999919999999991e-005	0.20399240599132326	-3.2931884109231926	3.0891960136614216
8.666579999999986e-005	0.072497058136154688	-3.4229443282980827	3.3504472701619341
9.333239999999981e-005	0.072461057145938298	-3.4212418516273817	3.3487807944814336
9.999899999999975e-005	0.072425070121733062	-3.4195400354251939	3.3471149653034722
0.0001066655999999997	0.072389101712449569	-3.4178390995438197	3.3454499978313792
0.0001133321999999996	0.072353151908452082	-3.4161390435275623	3.343785891619107
0.0001199987999999996	-0.050502276215152381	-3.5372596117493242	3.5877618813628942
0.0001266653999999995	-0.26996089575203913	-3.7549842451523041	4.0249451416229931
0.0001333319999999995	-0.48933763483380788	-3.9726276707909753	4.4619652896926709
0.0001399985999999994	-0.70860523762392336	-4.1901628567495557	4.8987680827394797
0.0001466651999999994	-0.9277637605768706	-4.4075898590183868	5.3353536060285478
0.0001533317999999993	-0.78073358622532396	-4.8078989164538832	5.5886325043275065
0.0001599983999999993	-0.56086138044975087	-5.2444754969558893	5.8053368832133856
0.0001666649999999992	-0.34107121393844864	-5.6808892245930611	6.0219604307576446
0.0001733315999999992	-0.12139038574332517	-6.1170858899563028	6.2384762884448719
0.0001799981999999991	0.09818111834647425	-6.5530656053280447	6.4548844846967768
0.0001866647999999991	0.29432237624860136	-6.9421862889385011	6.6478638700573356

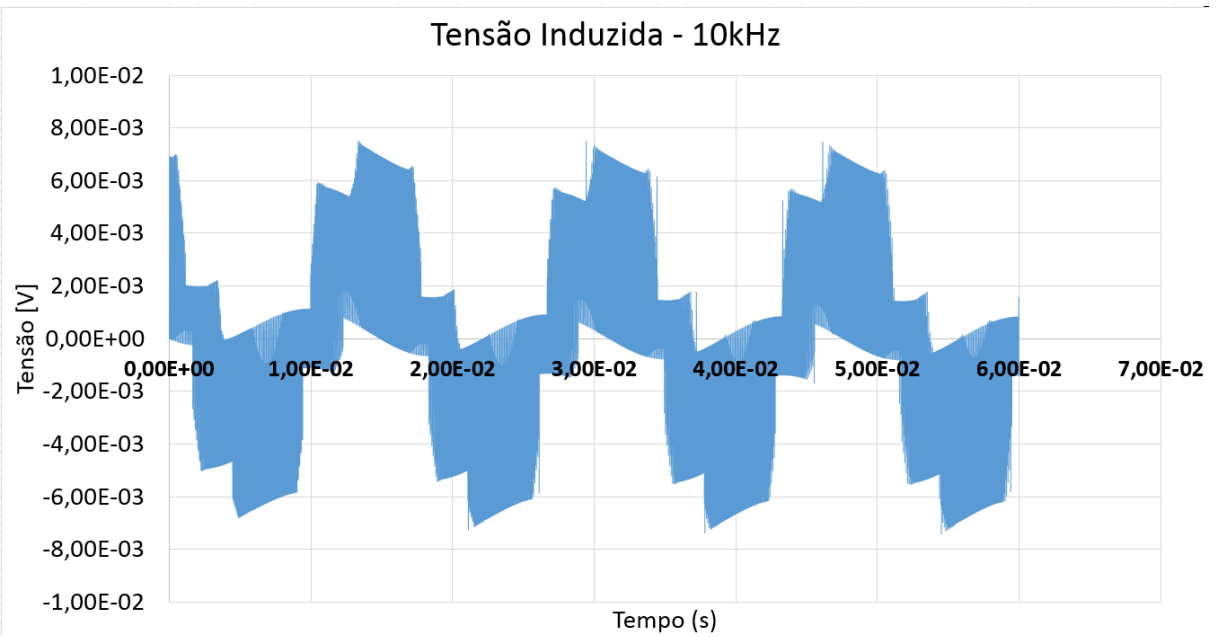
**Figura 37 - Valores de Corrente no domínio do tempo geradas pelo software PSIM**  
**Fonte: Autoria Própria**

Para isso utilizou-se uma planilha do Microsoft Excel, concentrando todas as informações da simulação, formulas para os cálculos de tensão induzida, a configuração dos cabos e demais parâmetros necessários para concluir a análise.

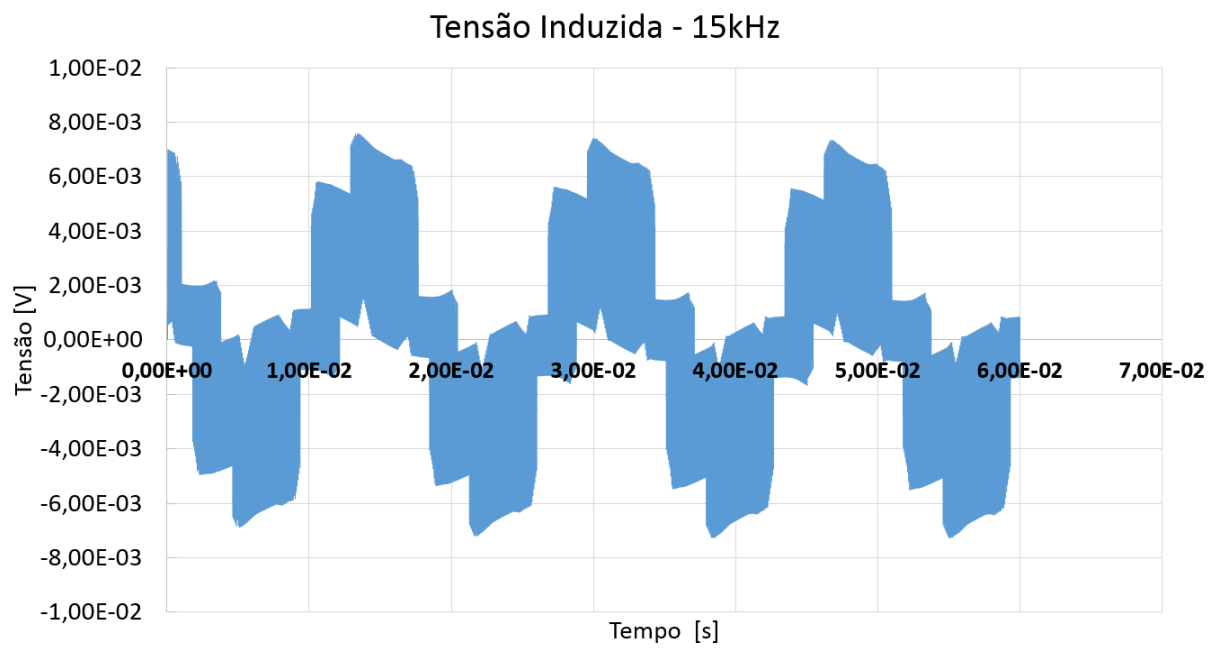
Após análise das informações e calculados os valores de tensão induzida para cada ponto no domínio do tempo, foram traçados os gráficos para melhor visualização dos resultados, para cada frequência simulada. Os gráficos de tensão induzida, para essa configuração de inversor, podem ser visualizados abaixo nas Figura 38, Figura 39 e Figura 40 para as frequências de 5kHz, 10kHz e 15kHz respectivamente nessa ordem.



**Figura 38 - Tensão Induzida Calculada - 5 kHz**  
Fonte: Autoria Própria



**Figura 39 - Tensão Induzida Calculada - 10 kHz**  
Fonte: Autoria Própria



**Figura 40 - Tensão Induzida Calculada - 15 kHz**  
**Fonte: Autoria Própria**

Como podemos observar para as frequências utilizadas na simulação, o valor máximo encontrado, de tensão induzida, foi de 7,5 mV, considerando os parâmetros apresentados acima e cabos com comprimento de 1m em configuração paralela conforme disposição apresentada na Figura 26. Isso comprova, o que foi apresentada anteriormente e encontrado na literatura, a eficiência desses conversores trifásicos em ponte com controle via PWM, para a configuração de disposição dos cabos simulados, o que justifica a sua aplicação em grande escala no meio automotivo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado no decorrer do trabalho os efeitos de interferência eletromagnética, em virtude da utilização dos inversores nos veículos elétricos são uma realidade, e se não considerarmos de maneira correta as técnicas e artifícios utilizados para amenizar esses efeitos, podemos nos deparar com dificuldades e problemas.

Os valores encontrados na simulação são muitos próximos dos valores indicados na literatura para esse tipo de inversor na ordem de mV, o que comprova a eficiência e justifica a aplicação dos inversores trifásicos em ponte com controle PWM, para aplicações nos veículos elétricos e o motivo pelo qual eles são largamente utilizados.

Como sugestão para trabalhos futuros realizar novas simulações com diferentes configurações de cabos, e como cada vez mais estamos inseridos em um mundo conectado, outro tópico relevante seria a análise de sistemas de comunicação como Bluetooth, Zigbee, 3G/4G e Wifi sobre os chicotes automotivos em diferentes pontos onde esses módulos podem ser instalados. Há poucos trabalhos para ambos os temas, mas que podem influenciar diretamente no funcionamento do veículo e dos seus sistemas, impactando desde de um problema simples de interferência até a oferecer risco de vida para os usuários caso um sistema de segurança, por exemplo, apresente falha.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, Luiz Carlos Ferreira. **Avaliação de EMC em Veículos automotivos; Simulação e Testes**. 2015. 119 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica)- Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <[http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321179/1/Amaral\\_LuizCarlosFerreira\\_M.pdf](http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321179/1/Amaral_LuizCarlosFerreira_M.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2017.
- ARAUJO, Alexandre Lenerneier de ; EICHENBERGER, Alyne Carolina . **INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: ANÁLISE DOS IMPACTOS NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA NA SUBESTAÇÃO CENTRAL/BATEL EM CURITIBA**. 2015. 112 p. DE CONCLUSÃO DE CURSO (Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica)- Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3888/1/CT\\_COELE\\_2014\\_2\\_13.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3888/1/CT_COELE_2014_2_13.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2017.
- Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE): **“O que é um veículo elétrico?”**, 2017 Brasil. Disponível em: <http://www.abve.org.br/perguntas>  
Acesso em 07 set. 2017
- CARVALHO, Caio. **Em cinco anos, foram vendidos 2 milhões de carros elétricos no mundo**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/tecnologia/117675-cinco-anos-vendidos-2-milhoes-carros-eletricos-mundo.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2017.
- DANTAS, Andre. **ANOS 60. A ELETRÔNICA COMEÇA A INVADIR O AUTOMÓVEL**. Automotive Business, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 58-60, mar. 2010. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/revistasabpdf/RevistaAB2.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2017.
- DIAS, Carlos Miguel Teixeira. **Projeto e desenvolvimento de um automóvel híbrido: Relatório do Projeto Final / Dissertação do MIEM**. 2013. 111 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67751/2/26134.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.
- EGYDIO, Jones Eduardo. **ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM SISTEMAS MULTIMÍDIA COM BLUETOOTH EM VEÍCULOS AUTOMOTORES**. 2014. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica do ABC, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2014. Disponível em: <[http://ppgee.ufabc.edu.br/dissertacoes/jones\\_egydio.pdf](http://ppgee.ufabc.edu.br/dissertacoes/jones_egydio.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2017.



FERNANDES, Camila Barreto. **INVERSORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS: APLICAÇÃO DO CONTROLE VETORIAL SEM SENSOR PARA UM MOTOR DE INDUÇÃO.** 2015. 54 p. Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014368.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.

FILADELFO, Fernando Ribeiro. **MODELAGEM DE CONTROLE VETORIAL ORIENTADO PELO FLUXO DO ESTATOR DE MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO APLICADO EM UM SISTEMA DE PROPULSÃO VEICULAR.** 2016. 134 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/148748>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

GIMENES, Cesar Augusto Tesser. **Desenvolvimento de Metodologia para Análise de falhas Elétricas em Veículos Protótipos utilizando diagnostico via can bus.** 2014. 131 p. Monografia de Pós Graduação (Pós Graduação em Engenharia Automotiva)- Escola de Engenharia Mauá , Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014. Disponível em: <<http://maua.br/files/monografias/completo-desenvolvimento-metodologia-para-analise-falhas-eletricas-280733.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

G1. Auto Esporte. **Volvo anuncia 'eletrificação' de todos os seus carros a partir de 2019.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/carros/noticia/volvo-anuncia-eletrificacao-de-todos-os-seus-carros-a-partir-de-2019.ghtml>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

**IIT KHARAGPUR.** Power electronics: DC to AC Converters. Kharagpur, 2009. Curso online. Disponível em: <<http://nptel.ac.in/courses/108105066/33>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

JONES, David M. ; VANGELDER, Kirk . **Automotive Electricity and Electronics.** 1. ed. [S.l.]: Jones & Bartlett, 2017. 434 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=bV4mDwAAQBAJ&pg=PA265&lpg=PA265&dq=twisted+pair+automotive+wiring&source=bl&ots=pb4M9Ohf8f&sig=46MEIbpEae74HCs6BO7g4S1klFc&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjVnOallODWAhUIGpAKHdTWCfM4FBD0AQhhMAc#v=onepage&q=twisted%20pair%20automotive%20wiring&f=false>> . Acesso em: 16 set. 2017.

LIMA, J.; Lourenço, E.; Morozowki M.; 2012.**Impacto dos veículos elétricos sobre as decisões das concessionárias de energia.** Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2012. Disponível em: <[www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/99691.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/99691.pdf)> Acesso em: 26 jul. 2017

NASCIMENTO, Gilberto Ferreira do. **ESTUDO DE CROSSTALK EM CHICOTES ELÉTRICOS AUTOMOTIVOS**. 2003. 92 p. Projeto Final de Graduação (Bacharelado em Engenharia Elétrica ênfase Eletrotécnica)- Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/269925988/Curso-Efeito-de-Crosstalk-Em-Chicotes-2003>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

OLIVEIRA, Anderson Bonsanto de et al. **ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PROPULSÃO DE UM PROTÓTIPO ELÉTRICO**. Revista de Iniciação Científica da ULBRA, Canoas, n. 12, p. 215-230, 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/ic/article/view/1067/980>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

PELEGI, Alexandre. **Estatal prevê crescimento de veículos elétricos no Brasil**. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/05/25/estatalprevecrescimentodeveiculos eletricosnobrasil/>>. Acesso em: 06 jul. 2017.

PINHO, Antonio Carlos; ROCHA, Joaquim Eloir . **Acoplamento Indutivo entre Fios Paralelos em Frequência Industrial**. In: MOMAG 2010, 2010, VILA VELHA - ES. MOMAG 2010, 2010. v. 1.

RABIEI, Ali. **Energy Efficiency of an Electric Vehicle Propulsion Inverter Using Various Semiconductor Technologies**. 2013. 102 p. Dissertação (Licenciatura em Engenharia)- Chalmers University of Technology, Goteborg, 2013. Disponível em: <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/187097/187097.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

RAMOS, Tiago Manuel Silva. **Sistema de tracção de um Veículo Eléctrico de Competição**. 2011. 195 p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2011.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência: circuitos, dispositivos e aplicações**. São Paulo: Makron Books, 1999. 828 p.

RODRIGUES, Marcio do Carmo Barbosa Poncilio. **INTEGRAÇÃO DE FILTRO ATIVO DE POTÊNCIA MONOFÁSICO E BIFÁSICO AO SISTEMA DE PROPULSÃO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**. 2014. 323 p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ppee/files/2014/03/tese\\_Marcio\\_web.pdf](http://www.ufjf.br/ppee/files/2014/03/tese_Marcio_web.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2017.

SAMPAIO, Bernardo José Pinho et al. **Engenharia Mecânica nos Motores dos Automóveis**. 2014. 37 p. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica- Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit\\_14\\_15/uploads/relat\\_1M05\\_2.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat_1M05_2.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2017.

SHUKLA, Amit. **Modelling and Simulation of Hybrid Electric Vehicles**. 2012. 335 p. Tese de Doutorado (Department of Mechanical Engineering)- Imperial College London, Londres, 2012. Disponível em: <<https://spiral.imperial.ac.uk/handle/10044/1/9761>>. Acesso em: 27 set. 2017.

SOARES, Eduardo Prado. **INTRODUÇÃO A COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA AUTOMOTIVA**. 2013. 75p. Monografia de Pós-Graduação (Pós-Graduação em Engenharia Automotiva) –Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013. Disponível em: <<http://maua.br/files/monografias/resumo-introducao-compatibilidade-eletromagnetica-automotiva-161645.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA Federal do Paraná. **Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos/ Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. - Curitiba : UTFPR, 2008.

**WEG fornece Powertrain à MAN Latin America para desenvolvimento do primeiro caminhão leve 100% elétrico desenvolvido no Brasil**. Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-powertrain-a-man-latin-america-para-desenvolvimento-do-primeiro-caminhao-leve-100-eletrico-desenvolvido-no-brasil>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

## APÊNDICE(S)

### APÊNDICE A – Planilha Calculo de Tensão Induzida

#### Aba das Equações

Formulario		Trifasico Inversor - Cabos de Potencia					Cabos Sinal	
Lei de Ampere $H=l/2*\pi*r$		Cabo 1	Cabo 2	Cabo 3	Cabo 4	Cabo 5		
Indução: $B=u0*H$ $B=(u0*I)/(2*\pi*r)$		A	B	C	D	E		
Fluxo Magnetico $\phi=[(u0*I*L)/2\pi]*\ln(Rt/Rd)$		Distancia	mm	4	4	4	4	5
Indutancia $M=\phi/I$ $M=[(u0*L)/2\pi]*\ln(Rt/Rd)$		Rt= distancia do cabo até ultimo ponto Rd= distancia do cabo até primeiro ponto						
$V = M \frac{dI}{dt}$		Comp. Do Cabo	L (comp.)	1	metros			
		Perm. Mag. vácuo	u0	1,25664E-06	Wb/A.m			
		Corrente	I	100	A			
			pi	3,141592654				
		Dist. Total (Longe)	Rt1	0,025	m			
			Rt2	0,017	m			
			Rt3	0,009	m			
		Dist. Total (Perto)	Rd1	0,02	m			
			Rd2	0,012	m			
			Rd3	0,004	m			
		Meio do Circuito a ser Analisado	r1	0,0225	m			
			r2	0,0145	m			
			r3	0,0065	m			
		Indutancia Mutua	M1	4,46287E-08	por metro			
			M2	6,96613E-08				
			M3	1,62186E-07				
		Campo Magnetico	H1	707,3553026	A/m			
			H2	1097,620297				
			H3	2448,537586				
		Densidade de Fluxo do Campo Magnetico	B1	0,000888889	T			
			B2	0,00137931				
			B3	0,003076923				
		Fluxo Magnetico	$\phi 1$	4,46287E-06	Wb			
			$\phi 2$	6,96613E-06				
			$\phi 3$	1,62186E-05				

## Aba de Cálculo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Time	La	Lb	Lc	difa/dt	V14	difb/dt	V24	difc/dt	V34	Tensão Induzida		
2	6,67E-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00E+00	7,554E-03	M14 4,46E-06
3	1,33E-05	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-7,29E-03	M24 6,97E-06
4	2,00E-05	0,1566	-0,313	0,1566	2,35E+04	1,05E-03	-4,70E+04	-3,27E-03	2,35E+04	3,81E-03	1,59E-03		M34 1,62E-07
5	2,67E-05	0,376	-0,752	0,376	3,29E+04	1,47E-03	-6,58E+04	-4,59E-03	3,29E+04	5,34E-03	2,22E-03		
6	3,33E-05	0,5953	-1,191	0,5953	3,29E+04	1,47E-03	-6,58E+04	-4,59E-03	3,29E+04	5,34E-03	2,22E-03		
7	4,00E-05	0,8145	-1,629	0,8145	3,29E+04	1,47E-03	-6,58E+04	-4,59E-03	3,29E+04	5,33E-03	2,22E-03		
8	4,67E-05	1,0336	-2,067	1,0336	3,29E+04	1,47E-03	-6,57E+04	-4,58E-03	3,29E+04	5,33E-03	2,22E-03		
9	5,33E-05	1,0835	-2,421	1,3371	7,48E+03	3,34E-04	-5,30E+04	-3,69E-03	4,55E+04	7,38E-03	4,03E-03		
10	6,00E-05	0,8635	-2,639	1,7754	-3,30E+04	-1,47E-03	-3,27E+04	-2,28E-03	6,57E+04	1,07E-02	6,91E-03		
11	6,67E-05	0,6435	-2,857	2,2136	-3,30E+04	-1,47E-03	-3,27E+04	-2,28E-03	6,57E+04	1,07E-02	6,91E-03		
12	7,33E-05	0,4237	-3,075	2,6515	-3,30E+04	-1,47E-03	-3,27E+04	-2,28E-03	6,57E+04	1,07E-02	6,90E-03		
13	8,00E-05	0,204	-3,293	3,0832	-3,30E+04	-1,47E-03	-3,27E+04	-2,28E-03	6,57E+04	1,06E-02	6,90E-03		
14	8,67E-05	0,0725	-3,423	3,3504	-1,97E+04	-8,80E-04	-1,95E+04	-1,36E-03	3,92E+04	6,36E-03	4,12E-03		
15	9,33E-05	0,0725	-3,421	3,3468	-5,40E+00	-2,41E-07	2,55E+02	1,78E-05	-2,50E+02	-4,05E-05	-2,30E-05		
16	1,00E-04	0,0724	-3,42	3,3471	-5,40E+00	-2,41E-07	2,55E+02	1,78E-05	-2,50E+02	-4,05E-05	-2,30E-05		
17	0,000106666	0,0724	-3,418	3,3454	-5,40E+00	-2,41E-07	2,55E+02	1,78E-05	-2,50E+02	-4,05E-05	-2,30E-05		
18	0,000113332	0,0724	-3,416	3,3438	-5,39E+00	-2,41E-07	2,55E+02	1,78E-05	-2,50E+02	-4,05E-05	-2,30E-05		
19	0,000119999	-0,051	-3,537	3,5878	-1,84E+04	-8,22E-04	-1,82E+04	-1,27E-03	3,66E+04	5,94E-03	3,85E-03		
20	0,000126665	-0,27	-3,755	4,0249	-3,29E+04	-1,47E-03	-3,27E+04	-2,28E-03	6,56E+04	1,06E-02	6,89E-03		
21	0,000133332	-0,489	-3,973	4,462	-3,29E+04	-1,47E-03	-3,26E+04	-2,27E-03	6,56E+04	1,06E-02	6,89E-03		
22	0,000139999	-0,709	-4,19	4,8988	-3,29E+04	-1,47E-03	-3,26E+04	-2,27E-03	6,55E+04	1,06E-02	6,89E-03		
23	0,000146665	-0,928	-4,408	5,3354	-3,29E+04	-1,47E-03	-3,26E+04	-2,27E-03	6,55E+04	1,06E-02	6,88E-03		
24	0,000153332	-0,781	-4,808	5,5866	2,21E+04	9,84E-04	-6,00E+04	-4,18E-03	3,80E+04	6,16E-03	2,96E-03		
25	0,000159998	-0,561	-5,244	5,8053	3,30E+04	1,47E-03	-6,55E+04	-4,56E-03	3,25E+04	5,27E-03	2,18E-03		
26	0,000166665	-0,341	-5,681	6,022	3,30E+04	1,47E-03	-6,55E+04	-4,56E-03	3,25E+04	5,27E-03	2,18E-03		
27	0,000173332	-0,121	-6,117	6,2385	3,30E+04	1,47E-03	-6,54E+04	-4,56E-03	3,25E+04	5,27E-03	2,18E-03		
28	0,000179998	0,0982	-6,553	6,4549	3,29E+04	1,47E-03	-6,54E+04	-4,56E-03	3,25E+04	5,26E-03	2,18E-03		
29	0,000186665	0,2943	-6,942	6,6479	2,34E+04	1,31E-03	-5,84E+04	-4,07E-03	2,89E+04	4,69E-03	1,94E-03		
30	0,000193331	0,2942	-6,939	6,6446	-2,20E+01	-9,80E-07	5,18E+02	3,61E-05	-4,96E+02	-8,04E-05	-4,53E-05		
31	0,000199998	0,294	-6,935	6,6413	-2,19E+01	-9,79E-07	5,18E+02	3,61E-05	-4,96E+02	-8,04E-05	-4,53E-05		
32	0,000206665	0,2939	-6,932	6,638	-2,19E+01	-9,79E-07	5,17E+02	3,60E-05	-4,95E+02	-8,04E-05	-4,53E-05		
33	0,000213331	0,2937	-6,928	6,6346	-2,19E+01	-9,79E-07	5,17E+02	3,60E-05	-4,95E+02	-8,03E-05	-4,53E-05		
34	0,000219998	0,4956	-7,329	6,8334	3,03E+04	1,35E-03	-6,01E+04	-4,19E-03	2,98E+04	4,84E-03	2,00E-03		
35	0,000226664	0,7149	-7,764	7,0495	3,29E+04	1,47E-03	-6,53E+04	-4,55E-03	3,24E+04	5,26E-03	2,18E-03		