****

**CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FABRICIO BALBINOT**

**PROJETO DE UM SISTEMA MONITOR DE PRESSÃO COM INTEGRAÇÃO AO SISTEMA MULTIPLEX LOHR PARA ONIBUS**

**Caxias do Sul**

**2022 FABRICIO BALBINOT**

**DESENVOLVIMENTO DE UM TPMS INTEGRADO AO SISTEMA MULTIPLEX LOHR PARA ONIBUS**

**Trabalho apresentado para o Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Uniftec como parte dos requisitos para avaliação da unidade curricular de TCC.**

**Orientador: Prof. Geison Luis Rasia**

**Caxias do Sul**

**2022**

**FABRICIO BALBINOT**

**DESENVOLVIMENTO DE UM TPMS INTEGRADO AO SISTEMA MULTIPLEX LOHR PARA ONIBUS**

**Trabalho apresentado para o Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Uniftec como parte dos requisitos para avaliação da unidade curricular de TCC.**

**Aprovado em \_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

**BANCA EXAMINADORA**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Professor Orientador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Professor Avaliador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Professor Avaliador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI**

**Caxias do Sul**

**2022**

**DESENVOLVIMENTO DE UM TPMS INTEGRADO AO SISTEMA MULTIPLEX LOHR PARA ONIBUS**

**Fabricio Balbinot**

Autor

fabricio94.balbinot2@gmail.com

**Prof. Geison Luis Rasia**

Orientador

geisonrasia@acad.ftec.com.br

**Resumo:** Este trabalho detalha o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de pressão de pneus para ônibus, apresentado para a conclusão do curso de engenharia elétrica. É apresentada uma revisão geral desde o surgimento e obrigatoriedade do uso TPMS nos Estados Unidos, até as tecnologias empregadas atualmente. O sistema é formado por duas partes principais, os sensores de medição, que além de medidas de pressão, temperatura e movimento, também transmitirão as informações lidas para uma unidade de controle eletrônico, denominada ECU, através de sinais de radiofrequência, A ECU será responsável pelo gerenciamento das informações e por integrar os sinais recebidos dos sensores com o sistema de controle de cargas da carroceria de um ônibus, denominado sistema multiplex. O projeto prevê o desenvolvimento e montagem em caráter de protótipo sensores para medição de até 6 pneus e uma ECU de recebimento e controle, mostrando etapas de desenvolvimento aplicadas a sistemas automotivos. Ao final são apresentados os resultados obtidos e os protótipos desenvolvidos.

**Palavras-chave:** Sistemas Embarcados. TPMS. Sensores. Pneu. Pressão.

**DEVELOPMENT OF A TPMS INTEGRATED TO THE MULTIPLEX LOHR SYSTEM FOR BUSES**

**Fabricio Balbinot**

Author

fabricio94.balbinot2@gmail.com

**Geison Luis Rasia**

Teacher Advisor

geisonrasia@acad.ftec.com.br

***Abstract:*** This work details the development of a tire pressure monitoring system for buses, presented for the conclusion of the electrical engineering course. A general review is presented since the emergence and mandatory use of TPMS in the United States, to the technologies currently used. The system consists of two main parts, the measurement sensors, which, in addition to measuring pressure, temperature and movement, will also transmit the information read to an electronic control unit, called ECU, through radiofrequency signals. by managing the information and by integrating the signals received from the sensors with the load control system of a bus body, called the multiplex system. The project provides for the development and assembly of sensors for measuring up to 6 tires and an ECU for receiving and controlling sensors, showing development stages applied to automotive systems. At the end, the results obtained, and the prototypes developed are presented.

***Keywords:*** Embedded Systems. TPMS. sensors. Tire. Pressure.

**LISTA DE FIGURAS**

[Figura 1: Diagrama de blocos de um sensor de pressão. 15](#_Toc108802536)

[Figura 2: Composição de receptor de TPMS. 16](#_Toc108802537)

[Figura 3: Diagrama de blocos do sensor FXTH87EK116T1 17](#_Toc108802538)

[Figura 4: Diagrama de Blocos do sensor MLX91805 18](#_Toc108802539)

[Figura 5: Exemplo de sistema eletrônico de um veículo. 19](#_Toc108802540)

[Figura 6: Estrutura de uma ECU. 19](#_Toc108802541)

[Figura 7: Fonte de energia em sistemas embarcados. 21](#_Toc108802542)

[Figura 8: Topologia básica de fonte linear. 22](#_Toc108802543)

[Figura 9: Parâmetros de características térmicas. 23](#_Toc108802544)

[Figura 10: Topologias de reguladores chaveados. 24](#_Toc108802545)

[Figura 11: Topologia de um conversor CC-CC buck. 25](#_Toc108802546)

[Figura 13: Arquitetura de rede veicular. 26](#_Toc108802547)

[Figura 14: Relação do comprimento pela taxa de comunicação. 26](#_Toc108802548)

[Figura 12: Representação de interferências e conduzidas e irradiadas. 28](#_Toc108802549)

[Figura 15: Sistema multiplex em carroceria. 29](#_Toc108802550)

[Figura 16: Arquitetura da família de microcontroladores S32K11X. 33](#_Toc108802551)

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABS ─ Antilock Braking System

ANATEL­ ­─ Agência Nacional de Telecomunicações

ANTT ─ Agência Nacional de Transportes Terrestres

BIT ─ Banco de Informações de Transportes

CO2 ─ Dióxido de Carbono

ECU ─ *Electronic Control Unit*

EEPROM ─ *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

EMC ─ *Electromagnetic compatibility*

EMI ─ *Electromagnetic interference*

EUA ─ Estados Unidos da América

GND ─ *Graduated Neutral Density filter*

HDVs ─ *Heavy-Duty Vehicles* gentleman

ISM ─ *Industrial Scientific and Medical*

ISO ─ *International Organization for Standardization*

LCVs ─ *Light-Commercial Vehicles*

MCU ─ Microcontrolador

NHTSA ─ *National Highway Traffic Safety Administration*

OEM ─ *Original Equipment Manufacturer*

PCI ─ Placa de Circuito Impresso

PN ─ Part Number

RAM ─ *Random Access Memory*

ROM ─ *Read Only Memory*

TNO ─ *Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek*

TPMS ─*Tire Pressure Monitoring System*

Vdc ─ *Voltage at Direct Current*

SUMÁRIO

[1. INTRODUÇÃO 10](#_Toc108815078)

[2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA 12](#_Toc108815079)

[2.1. OBJETIVOS GERAIS 12](#_Toc108815080)

[2.1.1. Objetivos específicos 12](#_Toc108815081)

[2.2. JUSTIFICATIVA 12](#_Toc108815082)

[3. Referencial teórico 13](#_Toc108815083)

[3.1. ESTADO DA ARTE APLICAÇÃO E ABORDAGENS ACERCA DO TPMS 13](#_Toc108815084)

[3.1.1. Medição indireta 14](#_Toc108815085)

[3.1.2. Medição direta 15](#_Toc108815086)

[3.1.3. Medição híbrida 17](#_Toc108815087)

[3.2. SENSORES 17](#_Toc108815088)

[3.3. ECU 20](#_Toc108815089)

[3.3.1. Microcontrolador 21](#_Toc108815090)

[3.3.2. Fonte de alimentação 22](#_Toc108815091)

[3.3.3. Redes de comunicação 27](#_Toc108815092)

[3.3.4. Conectores 28](#_Toc108815093)

[3.7. Distúrbios elétricos 30](#_Toc108815094)

[3.8. NORMAS A SEREM ATENDIDAS 31](#_Toc108815095)

[4. MATERIAIS E MÉTODOS 32](#_Toc108815096)

[REFERÊNCIAS 33](#_Toc108815097)

# INTRODUÇÃO

Este trabalho disserta sobre o desenvolvimento de um projeto de TPMS (sistema de monitoramento de pressão de pneus) integrado ao sistema de controle multiplex LOHR para ônibus. No decorrer do trabalho é apresentada uma visão global sobre sistemas de medição de pressão de pneus aplicados tanto em veículos da linha leve, quanto da linha pesada, além aspectos que levaram países desenvolvidos tornar o uso de TPMS obrigatório desde fábrica, a exemplo de como ocorre com outros sistemas como por exemplo sistemas de freios ABS e de cinto de segurança.

Segundo VELUPILLAI et. al (2007) o TPMS tem a finalidade de alertar o motorista quando um ou mais pneus estão com a pressão abaixo do limite pré-definido de pressão para o modelo de pneu e podem ser classificados em dois principais grupos, o grupo de medição direta e o grupo de medição indireta.

Pneus com pressão abaixo da nominal, possuem maior atrito com o solo, do que os com pressão nominal gerando um acréscimo do consumo de combustível e aumentando emissões de gases como o CO2(Dióxido de Carbono) , a estabilidade também é afetada, podendo até aumentar a temperatura do pneu em casos extremos, aumentado as chances de acidentes, com a aplicação do TPMS este tipo de situação pode ser minimizada, mas não são somente benefícios ambientais e de segurança que um monitor de pressão traz se todo o cenário for avaliado há benefícios econômicos, como prolongamento da vida útil do pneu e redução no tempo de revisões rotineiras. (ZYL, 2013, p.20)

No Brasil o TPMS não é obrigatório para nenhuma linha de veículos, seja leve, ou pesada, embora muitas montadoras já possuam este sistema integrados em muitos modelos de veículos leves. Na linha pesada como caminhões, ônibus e máquinas agrícolas este tipo de sistema ainda não é comum quando comparados a veículos leves. Unindo o grande avanço mundial em relação a adoção de TPMS, principalmente em países desenvolvidos, o desenvolvimento do projeto representará um avanço local, regional e até nacional, pois são poucas as empresas que produzem este tipo sistemas no Brasil.

A empresa LOHR Sistemas Eletrônicos Ltd. Foi fundada em 1992 na cidade de Caxias do Sul, iniciou no mercado de automação industrial, porém em 1995 passou a se dedicar apenas a desenvolver e fabricar soluções eletrônicas para sistemas embarcados. Hoje a empresa é referência nacional no desenvolvimento de sistemas embarcados, como ECUs (Electronic Control Units), displays de visualização, relés e sensores para os segmentos agrícola, rodoviário, de construção e mineração. (LOHR SISTEMAS ELETRONICOS)

O desenvolvimento de um TPMS para ser integrado ao sistema de controle de cargas (sistema multiplex) da LOHR representará inovação, pois hoje não existem TPMS compatíveis no mercado para operar com o sistema multiplex da LOHR em carrocerias de ônibus.

O trabalho é dividido em capítulos como apresentado a seguir:

1. no Capítulo 2 serão apresentados os objetivos gerias, específicos e justificativa que norteou a escolha para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de pressão de pneus;
2. o Capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica acerca de sistemas TPMS e sobre a eletrônica empregada em sistemas automotivos;
3. no Capítulo 4 são apresentados a metodologia e os materiais empregados no projeto e ferramentas de projetos utilizadas no desenvolvimento, como por exemplo FMEA;
4. o Capítulo 5 mostrará os resultados obtidos e testes experimentais utilizando os protótipos desenvolvidos;

# **OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

## OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do trabalho é projetar e prototipar um sistema eletrônico de um TPMS para operação em conjunto ao sistema multiplex LOHR para monitoramento da pressão de pneus que utilizem ar como fluido em ônibus e micro-ônibus de até 6 pneus.

### Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são divididos em três partes, convergindo para a entrega de um protótipo funcional de TPMS.

1. Desenvolver e dimensionar os circuitos para o receptor de sinal dos sensores de pressão.
2. Desenvolver e dimensionar o circuito de medição da pressão dos pneus.
3. Montar placas protótipo para o desenvolvimento.
4. Integrar o TPMS com sistema multiplex LOHR.

## JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de um sistema automotivo é desafiador. Atualmente encarroçadoras de ônibus estão buscando o aprimoramento para serem classificadas como montadoras, da mesma forma que as grandes montadoras multinacionais de veículos. Intrínseco a este processo os provedores de sistemas eletrônicos devem atender uma serie de normativas e regulamentações internacionais, como por exemplo, testes elétricos da norma ISO 16750, e qualidade no desenvolvimento de projetos certificada pela IATF. A qualidade de um produto eletrônico embarcado não é atestada somente pelos ensaios elétricos, mas também pela excelência de como um projeto é conduzido, com início, meio e fim bem definidos.

O desenvolvimento de um TPMS no Brasil apresenta a oferta um produto nacional ao mercado e busca incentivar o desenvolvimento tecnológico e acadêmico do país em um momento que a grande parte das tecnologias são importadas de outros países. Literaturas de desenvolvimento de produtos eletrônicos profissionais são raras, portanto, este trabalho poderá servir como base para o desenvolvimento de outros produtos, por outros estudantes de engenharia.

No Brasil, há muitas empresas que comercializam sistemas de monitoramento de pressão de pneus, porém são poucas as que desenvolveram seus próprios produtos no país.

Projetar um TPMS para um sistema de controle de ônibus representa a oportunidade de agregar alta tecnologia embarcada aos veículos de transporte de passageiros que utilizam o sistema de controle LOHR, oferecendo ao mercado do transporte coletivo a mitigação de riscos, prevenção de acidentes, redução no tempo de revisões periódicas, aumento da vida útil de pneus e redução do consumo de combustível, alertando o condutor sempre que a pressão de algum pneu estiver fora da nominal especificada.

# R**eferencial teórico**

## ESTADO DA ARTE APLICAÇÃO E ABORDAGENS ACERCA DO TPMS

O início da utilização regulamentada de TPMS começou a partir de estudos realizados nos EUA, mostrarem que a causa de muitos dos acidentes de trânsito com mortes ocorridos em 1999 estavam relacionados a pressão incorreta dos pneus. Durante o ano de 2000 o congresso dos EUA promulgou uma lei encarregando a NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration)* para regulamentar a obrigatoriedade de utilização de sistemas de alerta para sinalizar os condutores caso um ou mais pneus estejam com pressão insuficiente para a linha veicular leve. (NHTSA, 2001, p. 1)

Em 2002 a utilização de sistemas TPMS em novos veículos com peso bruto de 10.000Kg ou abaixo tornou-se obrigatória, com prazos para adequação entre 2005 e 2007. Além da exigência da utilização de monitores de pressão, também foi exigido que o sistema devesse informar o condutor do veículo quando a pressão de um ou mais pneus estiver com a pressão 25% abaixo da pressão nominal especificada pelo fabricante em condições ambientais consideradas normais. (NHTSA, 2005)

Similar ao movimento ocorrido nos anos 2000 nos EUA, a UE (União Europeia), através da regulamentação EC 661/2009, no ano de 2012, passa a exigir a utilização de TPMS em veículos de passeio produzidos a partir deste mesmo ano entendendo-se esta exigência para todos os veículos de passeio comercializados nos países da EU a partir de 2014. (ZYL, 2013, p.35)

Segundo a NXP (2018), fabricante global de semicondutores, mostra que países como Taiwan em 2012, Japão em 2013, Israel em 2014, Rússia em 2015 e China em 2017, também regulamentaram a utilização de TPMS, moldando uma tendência mundial, liderada pelos países desenvolvidos.

Com o avanço na aplicação de TPMS, XIN et al. (2019), classifica os sistemas de monitoramento de pressão de pneus em três principais grupos, os de medição direta, os de medição indireta e os híbridos, cada qual utilizando modelos específicos para determinar se há um pneu murcho no sistema.

### Medição indireta

Os TPMS de mediação indireta operam avaliando e comparando entre si a velocidade angular de cada roda do sistema do veículo. O método utiliza o modelo mecânico do pneu, que quando murcho possui um raio efetivo menor do que as dos outros pneus que estão com pressão nominal. De posse da velocidade das rodas apenas um software é necessário para determinar se há falta de pressão em algum pneu. (VELUPILLAI, 2007; GÜVENÇ, 2007)

Mostrando a evolução dos sistemas XIN et al. (2019, p2), explica que sistemas que utilizam a velocidade da roda para monitoramento da pressão utilizam as informações fornecidas pelos sensores do sistema ABS, desta forma não há necessidade de adicionar um *hardware* específico para a medição, e sim somente um software embarcado com o modelo matemático em uma ECU para estimar se há pneus com pressão baixa.

De acordo com a NHTSA (2021, VI-2), um teste realizado com quatro sistemas de medição indireta mostrou que nenhum dos quatro modelos foi capaz de detectar uma pressão de 25% abaixo da nominal. Mesmo com o avanço da tecnologia, VELUPILLAI e GÜVENÇ (2007) descrevem que este modelo não indica falha quando dois pneus do mesmo lado ou eixo estiverem com pressão abaixo da nominal simultaneamente, o mesmo ocorre quando todos os pneus estão com pressão baixa. XIN et al. (2019, p2), também enfatiza as desvantagens e baixa confiabilidade que este modelo de monitoramento apresenta, como por exemplo, o modo de alerta que alerta condutor é realizado com um indicador luminoso e/ou sonoro, porém não há um valor numérico com a pressão exata de cada pneu para ser exibido em um display, por exemplo.

### Medição direta

ZYL et al. (2013, p. 29) explica que um TPMS de medição direta utiliza sensores individuais para cada roda, podendo estes estarem montados internamente ou externamente aos pneus. O sistema também é composto por uma ECU e por receptores RF, responsáveis por receber os sinais dos sensores e transmitir as informações para a ECU através de comunicação elétrica, as informações são exibidas em um display, podendo este estar instalado de fábrica, ou como um equipamento adicional.

Alimentados por uma bateria, os sensores de um TPMS transmitem a informação de pressão e temperatura através de sinais de radiofrequência, embora a maior parte dos sensores seja fabricada com tecnologia CMOS, no momento de transmissão há um consumo de cerca cinco vezes maior do que o consumo nominal do circuito, ponto este, que exige foco na economia da bateria, já que para modelos que são instalados no interior dos pneus a substituição da bateria não é possível. O autor explica que há modelos que cessam a transmissão quando o veículo está parado e outros que transmitem com periodicidade de uma hora por exemplo. (VELUPILLAI, 2007, GÜVENÇ, 2007, p.22)

XIN et al. (2019, p3), exemplifica a composição de um sensor monitor de pressão, composto por periféricos como, sensor de pressão, temperatura, de movimento e temporizadores, a unidade de processamento (MCU), um transmissor RF e a antena. Todas as partes do circuito com exceção a antena, são alimentadas por uma bateria de lítio. A Figura 1 mostra o diagrama da composição de um sensor de TPMS conforme explicado pelo autor.

Figura 1: Diagrama de blocos de um sensor de pressão.



**Fonte: XIN (2019, p3).**

Yole, (2006, apud Zyl et al. 2013) explica que um sensor, além de possuir a composição exemplificada por XIN na Figura 1, também é composto por um receptor de baixa frequência possibilitando a identificação da localização de cada sensor.

VELUPILLAI e GÜVENÇ (2007, p.23) explicam que para receber o sinal dos sensores é necessário um módulo receptor central formado por uma antena com capacidade de reconhecer cada sensor do sistema individualmente. A posição de cada sensor é programada no receptor, portanto quando houver a necessidade de substituição de algum sensor ele necessitará ser reprogramado. Um obstáculo que este modelo de sistema enfrenta é a interferência de outros sensores de veículos. A Figura 1 mostra a composição do receptor de um TPMS de medição direta.

Figura 2: Composição de receptor de TPMS.



**Fonte: XIN (2019, p3).**

### Medição híbrida

VELUPILLAI e GÜVENÇ (2007, p.24) afirmam que o sistema de medição hibrida foi criada para suprir as deficiências do método de medição indireta. O sistema consiste no monitoramento de 2 pneus na diagonal pelo método de medição direta e os outros dois pneus da outra diagonal pelo método indireto.

Segundo XIN et al. (2019, p6), a vantagem do método de medição indireta se resume a facilidade de aplicação e ao baixo custo de instalação, porém não é confiável e não proporciona o mesmo nível de segurança como método de medição direta pode entregar, esta comparação se estende também para sistemas híbridos, portanto o autor afirma que o método de medição direta é o que mais está alinhado com a tendencia mundial.

VELUPILLAI e GÜVENÇ (2007), Zyl et al. (2013) e XIN et al. (2019) convergem para a definição de que o melhor e mais confiável sistema embarcado para TPMS é o de medição direta sendo necessários sensores de medição, ECU de recebimento e interface de alerta ao usuário.

## SENSORES

Em aplicações automotivas os sensores formam a interface do veículo com suas mais variadas funções, monitorando grandezas como nível, rotação, pressão, velocidade e temperatura. As informações de cada sensor são enviadas para uma ECU de controle. (Guimarães, 2007, p. 69)

BOSH (2005, p.111), afirma que conceitos de miniaturização são empregados em sensores automotivos, podendo estes possuírem processamento de sinais elétricos, como por exemplo conversores analógico digital e microprocessadores embarcados.

As fabricantes de semicondutores NXP (2021) e MELEXIS (2021) apresentam soluções de chips miniaturizados, FXTH87EK116T1 (anexo A) e MLX91805 (anexo B) respectivamente, com encapsulamentos menores do 10mm x 10mm x 2mm, possuindo a maior parte dos blocos mostrados na Figura 1 por XIN (2019). Estes chips são circuitos integrados que já possuem os estágios de sensoriamento, modulação e microcontrolador intrínsecos em um único chip, necessitando o mínimo de componentes externos, como cristal, resistores, indutores, capacitores, antena e bateria para alimentar o circuito. A Figura 3 e Figura 4 mostram as características que cada chip possui.

Figura 3: Diagrama de blocos do sensor FXTH87EK116T1

Gráfico, Gráfico de mapa de árvore

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: NXP (2021).**

Figura 4: Diagrama de Blocos do sensor MLX91805

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: MELEXIS (2020).**

* + 1. **Interface RF**

Como mostrado por MELEXIS, (2020) e NXP (2021), nas Figura 3 e Figura 4 os sensores operam com transmissão na banda ISM em frequências compreendidas entre 300 e 450MHz. Ambos os sensores desenvolvidos pelos fabricantes possuem também um receptor LF de operando a 125KHz com a finalidade de receber informação para o momento de localizar cada sensor em sua posição.

Sistema que transmitem sinas de RF (radiofrequência) necessitam de homologação feita por um órgão federal, no Brasil o órgão responsável por regulamentar transmissores RF é a ANATEL. (FRENZEL, 2022, p.91).

A Resolução nº 685, de 09 de outubro de 2017 da ANATEL determina quais faixas de frequência podem ser utilizadas pelo serviço privado conforme artigo 9 abaixo.

Art. 9º Destinar ao Serviço Limitado Privado (SLP), para uso por sistemas de captação e transmissão de dados científicos relacionados à operação espacial, em caráter secundário, os subfaixas a seguir elencadas:

- 400,15 MHz a 401 MHz

- 433,75 MHz a 434,25 MHz

- 449,75 MHz a 450,25 MHz

- 1427 MHz a 1429 MHz

Já na resolução nº 716, de 31 de outubro de 2019 a ANATEL especifica as faixas de operação dos países das américas, conforme parágrafo 5.138, mostrado abaixo.

**5.138** – As seguintes faixas:

6765-6795 kHz (frequência central 6780 kHz),

433,05-434,79 MHz (frequência central 433,92 MHz) na Região 1 exceto nos países mencionados no nº 5.280,

61-61,5 GHz (frequência central 61,25 GHz),

122-123 GHz (frequência central 122,5 GHz), e

244-246 GHz (frequência central 245 GHz)

são destinadas para aplicações industriais, científicas e médicas (ISM). O uso dessas faixas de frequências para aplicações ISM estará sujeita a autorizações especiais pela Administração, em acordo com outras Administrações cujos serviços de radiocomunicações poderão ser afetados. Ao aplicar esta disposição, as Administrações deverão considerar a última Recomendação ITU-R relevante.

## ECU

A sigla ECU é a definição para qualquer tipo de módulo eletrônico podendo ter variação em sua nomenclatura de acordo com o local e a aplicação da ECU, como por exemplo a ECU de controle do motor definida como ECM. As ECUs possuem autodiagnóstico como uma de suas principais características. Elas enviam, para computadores com softwares dedicados, ou interfaces de diagnóstico, por meio de comunicação mensagens informando erros da própria ECU ou de outras partes do veículo. (Guimarães, 2007, p. 101)

Segundo Guimarães (2007, p. 102) a ECU da carroceria é a que é responsável por controlar a maioria das funções do veículo. Através de saídas digitais e analógicas ambas com proteções, controlam desde funções mais simples como sistema de iluminação e sistema de alarme, até operar como um gateway, servindo com um intermediador entre duas redes CANs com taxas de comunicação diferentes e ainda integrar outros protocolos de comunicação como LIN. A Figura 5 mostra o sistema eletrônico embarcado de um veículo, com duas REDES de comunicação distintas, já na Figura 6 é possível observar a composição de uma ECU, tendo como elemento central o microcontrolador.

Figura 5: Exemplo de sistema eletrônico de um veículo.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: Guimarães (2007, p. 103)**

Figura 6: Estrutura de uma ECU.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: Guimarães (2007, p. 266)**

### Microcontrolador

Os primeiros microcontroladores produzidos possuíam apenas a unidade de processamento, fazendo com que houvesse a utilização de um CI para cada periférico necessário, como por exemplo para memórias ROM e RAM, registradores de deslocamento, conversores analógicos, fazendo com que a PCI se tornasse grande já que era necessário montar inúmeros *chips* sobre ela. Com o passar dos anos o microcontrolador recebeu a integração de outros circuitos tornando-se uma unidade completa para processamento de dados em um único CI. (ALMEIDA, 2016, p.144)

Para Guimarães (2007, p. 39) os microcontroladores são utilizados com a intenção de aumentar a confiabilidade, mitigar a ocorrência de imprecisões facilitar o desenvolvimento da PCI e baixo custo.

GÜVEN, (2017) apresenta uma metodologia para a escolha do melhor microcontrolador para um projeto, dentre os pontos a serem observados está a especificação da lista de quais são as interfaces necessárias para o MCU interagir com o restante do circuito, como por exemplo, comunicação USB, I2C, CAN, se há necessidade de interface visual como displays e se serão necessários periféricos para entradas e saídas analógicas ou digitais.

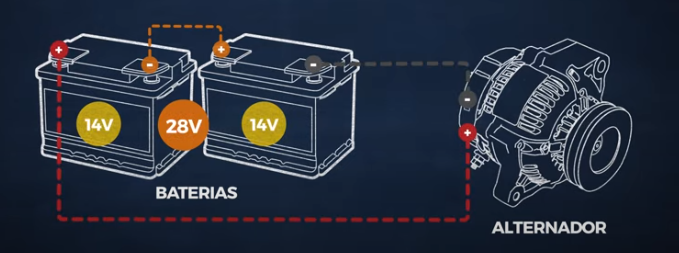
Para ALMEIDA, (2016, p.178) a escolha do microcontrolador é a etapa de início de um projeto de circuito eletrônico, somente após esta etapa deve-se adicionar o restante dos componentes e periféricos para que o MCU seja ligado e gravado. A autor ressalta a importância da utilização de pelo menos um capacitor nos em terminal de alimentação do MCU com valores descritos nos datasheets e mostra que o a melhor e mais precisa opção para o clock é um cristal de quartzo. A alimentação de um MCU se dá geralmente em níveis de 5V e 3,3V, se o MCU for alimentado com tensões superiores a especificada em datasheet eles podem sofrer avarias permanentes e até danificar outros CIs que estão ligados ao MCU, por este motivo o a fonte responsável por ligar o MCU deve manter uma tensão aceitável em sua saída.

### Fonte de alimentação

Comumente em um veículo existem dois provedores de energia elétrica, a bateria e o alternador. A bateria tem o objetivo de armazenar energia elétrica para alimentar o motor de partida, após o motor estar operando a bateria não tem mais o papel de fornecer energia e sim receber energia elétrica do alternador, que funciona como um gerador e provedor de energia, já que ele será o responsável por carregar a bateria e manter a alimentação de todos os equipamentos eletroeletrônicos no veículo como, lâmpadas, painel de instrumentos, sensores, ECUs e painéis auxiliares. (BOSCH, 2005, p.961)

Os sistemas 24Vdc são aplicados na linha pesada de veículos, como em caminhões e ônibus, para se obter a tensão de 24 V é aplicada a ligação série de duas baterias sendo estas carregadas por um alternador de 24V, conforme é mostrado na Figura 7. (TECGAUSS, 2020)

Figura 7: Fonte de energia em sistemas embarcados.



**Fonte: Tecgauss (2020).**

Sistemas 24Vdc devem operar em tensões na faixa de 10Vdc a 32Vdc. (ISO 16750-2, 2012, p.2)

#### 3.3.2.1 Reguladores lineares

A série de reguladores lineares LM78XX tem capacidade de fornecer uma tensão estável na saída e até 1A de corrente se operando em condições ideias de tensão de entradas e com um dissipador adequado. Esta linha CIs conta com proteções de sobre carga ativadas pela temperatura excessiva do componente, tornando estes Chips muito robustos. O CI LM7805 fornece uma tensão fixa de 5V na saída com um *riple* menor do que 10mV. Se este CI estiver a uma distância superior de 15cm da fonte não regulada a indutância do chicote elétrico poder é gerar oscilações internas, por este motivo recomenda-se a utilização de capacitores na entrada do regulador, também é recomendado a utilização de um capacitor na saída deste CI com o intuito de melhorar a resposta de transição ao ligar, ou desligar o CI. Outro ponto a ser considerado nesta linha de reguladores é de que a tensão mínima de entrada deve ser pelo menos 3V maior que a tensão de saída evitando assim o desligamento do CI e a correta regulação de tensão. Pontos como tensão máxima de entrada e potência dissipada também devem ser avaliados com cautela, para o correto dimensionamento do circuito, já que o fornecimento de 1A de corrente é em condições específicas quase ideais. A Figura 7 mostra a topologia básica para aplicação de um regulador linear. (MALVINO, 2016; BATES, 2016, p. 979 - 980)

Figura 8: Topologia básica de fonte linear.

Diagrama, Esquemático

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: MALVINO, BATES (2016)**

A nota de aplicação do fabricante ROHM, mostra que a eficiência de uma fonte linear pode ser calculada através da equação 1 e que a corrente de entrada pode ser considerada igual a corrente de saída caso a corrente da saída seja superior à de entrada. (ROHM, 2015, p.3 - 4)

.

|  |  |
| --- | --- |
|  | *(1)* |

Onde,

Outro ponto citado por ROHM (2015) é o cálculo da temperatura de junção. Se a temperatura de junção máxima indicada no datasheet do componente for excedida ele poderá apresentar mau funcionamento e desligar. É possível calcular a temperatura de junção de duas formas diferentes. A primeira utiliza a resistência térmica da superfície do encapsulamento (equação 2), e a segunda utiliza resistência térmica ao ambiente (equação 3), ambas a equações apresentadas pelo autor utilizam a perda de potência do CI calculada pela equação 4.

|  |  |
| --- | --- |
|  | *(2)* |

|  |  |
| --- | --- |
|  | *(3)* |

|  |  |
| --- | --- |
|  | *(4)* |

Onde,

Figura 9: Parâmetros de características térmicas.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: ROHM (2015)**

#### 3.2.2.2 Reguladores chaveados

Os conversores chaveados são também conhecidos como conversores CC-CC, pois transforma um nível de tensão CC em outro nível, mais baixo, ou mais alto de acordo com sua topologia. Estes conversores possuem alto rendimento com eficiência entre 65% e 85%. Um regulador chaveado é classificado como um conversor CC-CC, pois tem capacidade de converter níveis de tensão CC em outros níveis de tensão CC. O princípio de funcionamento se dá pelo acionamento de uma chave por um sinal PWM, desta forma é possível obter na saída do regulador uma tensão estável, mesmo com variações dos níveis da entrada, graças a compensação gerada pelo PWM. A Figura 1 apresentada pelos autores mostra diferentes topologias de reguladores chaveados. (MALVINO, 2016; BATES, 2016, p. 986-988)

Figura 10: Topologias de reguladores chaveados.

Tabela

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: MALVINO e BATES (2016, p. 989)**

MALVINO e BATES (2016, p. 989), consideram o conversor Buck a topologia mais básica dos reguladores chaveados, esta topologia utilizada em aplicação em que a única necessidade é o rebaixamento da tensão. O controle acontece através de um transistor bipolar, ou FET de potência, o controlador é responsável por gerar o PWM de controle da chave, o comparador tem a finalidade de comparar a tensão de saída com uma referência fixa, desta forma quando a tensão fica abaixo da referência a chave é fechada e quando fica acima a chave é aberta, a função do indutor e do capacitor é armazenar energia para fornecer ao circuito enquanto a chave está aberta. O indutor muda sua polaridade de acordo com o estado da chave, portanto quando a chave está aberta o diodo cria um caminho para o terminal negativo do indutor, mantendo o circuito fechado, mesmo com a chave aberta. A tensão de saída pode ser calculada através da equação 5 já a Figura 11 mostra a topologia básica do conversor bcuk além da polaridade do indutor. (MALVINO, 2016; BATES, 2016, p. 989-990)

|  |  |
| --- | --- |
|  | *5)* |

Onde,

Figura 11: Topologia de um conversor CC-CC buck.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: MALVINO e BATES (2016, p. 990)**

### Redes de comunicação

Com o crescente número de módulos eletrônicos em um sistema veicular e o aumento da quantidade de informações a serem transmitidas de um ponto a outros os métodos de comunicação com linhas dedicadas para cada ECU se tornam inviáveis, portanto, o emprego de barramentos de comunicação é a solução para diminuição de chicotes elétricos e conectores. As redes podem ser divididas em quatro grupos de atuação, o de multimidia, carroceria, propulsor e dinâmica, conforme mostra a Figura 13. A rede CAN está presente é a mais empregada e faz parte em três dos quatro grupos. (BOSCH, 2005, p.1071)

Figura 12: Arquitetura de rede veicular.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: (BOSCH, 2005)**

* + - 1. Interface CAN Bus

O barramento CAN (Controller Area Network) nasceu em 1980, na Alemã, pelo seu inventor Robert Bosch. O CAN opera como multimestre, desta forma qualquer módulo pode se tornar um mestre em determinados períodos. O protocolo é robusto devido ao seu sistema anticolisão. Antes de algum componente transmitir alguma mensagem é verificado se há alguém transmitindo no barramento, e se há algum componente tramitando uma mensagem com maior prioridade. Outro ponto que fornece robustez a comunicação CAN, é o layer físico formado por um cabo par trançado diferencial, reduzindo o efeito de interferência eletromagnética. A Taxa de transmissão da CAN pode chegar a 1Mbps em barramento de até 40 metros conforme a Figura 14 mostra. (GUIMARÃES, 2007, p.216)

Figura 13: Relação do comprimento pela taxa de comunicação.

Uma imagem contendo Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: (GUIMARÃES, 2007)**

### Conectores

Os conectores são responsáveis por prover a conexão entre um módulo a outros módulos e interface dentro do sistema veicular, eles são submetidos a inúmeras situações de resistência, como variações de temperatura, exposição a ambientes úmidos, oscilações mecânicas, desgaste dos contatos por movimentação entre os terminais. Apesar de estarem submetidos a um ambiente severo eles precisam manter suas principais características, que são, manter a baixa resistência elétrica entre contatos dos terminais e alta isolação entre partes condutoras com diferentes sinais e níveis de tensão, além de proteção contra água e *Salt Spray.* (BOSCH, 2005, p.1018)

* 1. PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Componentes eletrônicos possuem muitas formas e formatos, para unir cada componentes é necessário um PCI (Placa de Circuito Impresso). Uma PCI é gerada por softwares específicos partindo da ligação entre os componentes, ligação esta, denominada de esquemático, após a ligação dos componentes eletrônicos um software gera os arquivos para o desenvolvimento do layout. (OLIVEIRA, 2010, ANDRADE, 2010, p.24)

Figura 15: Exemplo de PCI Montada.

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

Descrição gerada automaticamente

Fonte:

* 1. FIRMWARE

OLIVEIRA e ANDRADE (2010, p.71) determinam que um firmware é o software embarcado em um hardware. Nele são escritas funções para controle do hardware a lógica de programação, determinada algoritmo, podendo ser escrita dem linguagens de baixo nível ou alto nível.

A linguagem de baixo nível é caracterizada pelo controle direto ao hardware, podendo ter acesso direto aos registrados e memórias de forma, ao contrário do acontece com linguagens de alto nível, que possuem compiladores que protegem setores de memória em operações inesperadas, porém apresenta a desvantagem de os códigos serem maiores ocupando mais memória em comparação a linguagens de baixo nível. (OLIVEIRA, 2010, ANDRADE, 2010, p.73)

* 1. SISTEMA MULTIPLEX

A Um sistema multiplex comumente faz parte do controle de cargas da carroceria de um veículo, com por exemplo ar-condicionado, sistemas de travas e vidros elétricos, permite facilidade no diagnóstico dos componentes conectados ao barramento. A rede principal é formada por um barramento CAN, porém com o objetivo de reduzir custos redes econômicas foram criadas, como por exemplo a LIN, utilizada para controle de motores, como os de vidros elétricos. (BOSH, 2005, p.1071)

Figura 16: Sistema multiplex em carroceria.

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: (BOSH, 2005)

## Distúrbios elétricos

Devido ao avanço da eletrônica embarcada em veículos e crescente aumento dos números e tamanho de chicotes elétricos há uma preocupação voltada à compatibilidade eletromagnética nestes sistemas. Um produto com compatibilidade eletromagnética não gerará ruído eletromagnético e nem será afetado por ruído eletromagnético independentemente do local da sua aplicação e do tipo de ruído, o induzido, ou o irradiado. Existem quatro interações eletromagnéticas entre dois corpos conforme mostrado na Figura 12. (GUIMARÃES, 2007, p. 259-263)

1. Emissão conduzida onde o dispositivo 2 emite ruído através dos cabos de alimentação interferindo no funcionamento do dispositivo 1.
2. Emissão radiada: o ruído é emitido ao ambiente podendo interferir no em componentes próximos.
3. Imunidade conduzida: significa que o produto que está sob efeito de ruídos conduzidos através do chicote elétrico conseguirá operar normalmente.
4. Imunidade Radiada: similar ao item anterior, porém é a capacidade odo produto operar quando está sob ruído emitido perlo ara e não por chicote elétrico.

Figura 14: Representação de interferências e conduzidas e irradiadas.

Diagrama, Desenho técnico

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: adaptado de (GUIMARÃES, 2007)**

Distúrbios de pulsos de tensão podem ocorrer em sistemas 12 ou 24 V, a ISO 7637-2 determina alguns pulsos que podem ocorrer em um veículo e que os módulos devem suportar, dentre eles são o desligamento de cargas indutivas, de motores elétricos, surtos causados por chaveamento e *Load dumps*.

## NORMAS A SEREM ATENDIDAS

Segundo ML001E (2020), os produtos desenvolvidos para a LOHR necessitam passar por ensaios elétricos aplicados no laboratório de testes descritos na norma ML002E. Esta norma descreve os ensaios elétricos solicitados por montadoras automotivas, a fim de garantir a qualidade e robustez dos produtos eletrônicos do sistema embarcado.

A ML002E (2021) exemplifica em formato de tópicos ensaios elétricos mínimos para que um protótipo possa ser liberado para testes em um cliente, estes ensaios podem ser vistos na lista a seguir:

1. Tensão de operação: Norma ISO 16750 – 2:2012, item 4.2.
2. Sobretensão: Norma ISO 16750 – 2:2012, item 4.3
3. Polaridade inversa: Norma ISO 16750 – 2:2012, item 4.7.
4. Tensão AC sobreposta: ISO 16750 – 2:2012, item 4.4
5. Tensão triangular: Norma ISO 16750 – 2:2012, item 4.5.
6. Queda momentânea da tensão: ISO 16750 – 2:2012, item 4.6.1.

# MATERIAIS E MÉTODOS

Incialmente faz-se necessário um planejamento da execução do projeto conforme requisitos IATF, portanto as tarefas do desenvolvimento do projeto são definidas como:

1. analisar de requisitos do desenvolvimento;
2. analisar, componentes mais indicados;
3. projetar circuitos;
4. desenvolver as placas de circuito impresso;
5. levantar a lista de materiais e cotação;
6. montar de protótipos;
7. desenvolver os firmwares de controle;
8. integrar ao sistema multiplex LOHR;
9. testar o sistema de monitoramento;

# REFERÊNCIAS

[NXP, **A Global Solution for Tire Pressure Monitoring Systems.** Disponível em: <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/TPMSWP.pdf >. Acesso em: 05 abr. 2022.]

[NXP, **TPMS SELECTOR GUIDE Tire Pressure Monitoring Sensors.** Disponível em: <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/TPMSWP.pdf >. Acesso em: 05 abr. 2022.]

[VELUPILLAI, Sankaranarayanan; GÜVENÇ Levent. Tire Pressure Monitoring. **IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE**. [*S.l.*]: IEEE, v. 27, n. 6, p. 22-25, dez. 2007. Disponível em: < https://ieeexplore.ieee.org/document/4384640/citations#citations>. Acesso em: 05 abr. 2022.]

[NHTSA. **PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT: TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM.** Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/document/preliminary-economic-assessment-tire-pressure-monitoring-system>. Acesso em: 05 abr. 2022.]

[NHTSA. **FINAL REGULATORY IMPACT ANALYSIS: TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM.** Disponível em: < https://www.nhtsa.gov/fmvss/tire-pressure-monitoring-system>. Acesso em: 05 abr. 2022.]

[ZYL Stephan van. *et al.* **Study on tyre pressure monitoring systems (TPMS) as a means to reduce light-commercial and heavy-duty vehicles fuel consumption and CO2 emissions.**Disponível em: <https://repository.tno.nl//islandora/object/uuid:84b183d4-904f-48dc-a2fd-4ee515e24b1a >. Acesso em: 09 abr. 2022.]

Quan Xin et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1314 012.

**Automobile tire pressure monitoring technology and development trend**. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1314/1/012100

>. Acesso em: 15 mar. 2022.]

BOSCH. **Manual de tecnologia automotiva**. Editora Blucher, 2005. 9788521215523. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215523/. Acesso em: 09 abr. 2022.

GUIMARÃES, Alexandre de A. **Eletrônica Embarcada Automotiva**. Editora Saraiva, 2007. 9788536518503.

ALMEIDA, Rodrigo. D. **Programação de Sistemas Embarcados - Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. Grupo GEN, 2016. 9788595156371.

OLIVEIRA, André.Schneider. D.; ANDRADE, Fernando.Souza. D. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**. Editora Saraiva, 2010. 9788536520346.

Tecgauss – Artigos, 2020, **Como funcionam os sistemas elétricos 24V** <https://gauss.com.br/tecgauss/linha-eletrica/como-funcionam-os-sistemas-eletricos-24v/>

MALVINO, Albert P.; BATES, David J. **Eletrônica. v.2. Grupo A, 2016.** 9788580555936. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555936/. Acesso em: 28 mai. 2022.

ROHM Customer Support System, **Linear Regulator IC Series Basics of Linear Regulators\Dec. 2015 - Rev. A\** © 2015 ROHM Co., Ltd. All rights reserved.No.15020EAY17

JR., Louis E F. **Fundamentos de comunicação eletrônica: linhas, micro-ondas e antenas (Tekne)**. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2013. 9788580551563. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551563/. Acesso em: 15 mai. 2022.

(Albert & BATES, 2016)

**\_\_\_\_\_\_\_\_ ANATEL Resolução nº 685, de 09 de outubro de 2017**

**\_\_\_\_\_\_\_\_ ANATEL Resolução nº 716, de 31 de outubro de 2019**

ANATEL, Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017

Resolução nº 718, de 07 de fevereiro de 2020

MLX91805 INTEGRATED SMART TIRE SENSOR **V1/19-11-2020**

MEGAW David, **Protecting and Powering Automotive Electronics Systems with No Switching Noise and 99.9% Efficiency**. Disponível em: < https://www.mouser.com/pdfDocs/A220365protecting-and-powering-automotive-electronics-systems-with-no-switching-noise.pdf > Acesso em: 1 jul. 2022.

**Daqui para abaixo, não revisado ainda!!!!!!!!!!!!**

**Löhndorf** Evaluation of energy harvesting concepts for tire pressure monitoring

systems

CHEN, K.; YEH, C. Preventing Tire Blowout Accidents : A Perspective on Factors Affecting Drivers ’ Intention to Adopt Tire Pressure Monitoring System. n. 77, p. 1–14, 2018.

**ANEXOS**

Anexo A – **FXTH87 SPECIFICATIONS**

Interface gráfica do usuário, Tabela

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: NXP (2021)**

Anexo B – Sensor de pressão MLX91805

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

**Fonte: MELEXIS (2020)**