

**CÉSAR AUGUSTO TESSER GIMENES**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHAS  
ELÉTRICAS EM VEÍCULOS PROTÓTIPOS UTILIZANDO  
DIAGNÓSTICO VIA CAN BUS**

**São Caetano do Sul**

**2014**

**CÉSAR AUGUSTO TESSER GIMENES**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHAS  
ELÉTRICAS EM VEÍCULOS PROTÓTIPOS UTILIZANDO  
DIAGNÓSTICO VIA CAN BUS**

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

Orientador: Prof. Me. Jones Eduardo Egydio

**São Caetano do Sul**

**2014**

Gimenes , César Augusto Tesser

Desenvolvimento de metodologia para análise de falhas elétricas em veículos protótipos utilizando diagnóstico via CAN Bus / César Augusto Tesser Gimenes. — São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2014.

131p.

Monografia — Especialização em Engenharia Automotiva. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul, SP, 2014.

Orientador: Prof. Me. Jones Eduardo Egydio

1. Diagnóstico via CAN 2. Veículo protótipo 3. Falha elétrica I. Gimenes, César Augusto Tesser. II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Centro de Educação Continuada. III. Titulo.

CDU xxx.x

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a Deus, por me fornecer saúde, capacidade e força para transpor todos os obstáculos que a vida me impõe.

Dedico ao meu pai Ariovaldo e a minha mãe Maria Lúcia pela energia despendida na minha educação e por acreditarem no meu potencial.

Dedico a minha namorada Juliana pela paciência demonstrada durante as minhas horas de ausência utilizadas para a realização dessa obra.

## RESUMO

A realização deste trabalho tem o objetivo de desenvolver uma metodologia técnica para a análise de falhas elétricas em veículos automotores protótipos buscando, através de técnicas de interpretação do esquema elétrico e da leitura e diagnóstico via barramento de comunicação serial, a redução de tempo e complexidade para a solução dos defeitos elétricos inerentes a etapa de montagem dos veículos protótipos. Atualmente, as análises das falhas elétricas são efetuadas com base em técnicas antigas concebidas antes da evolução da eletrônica embarcada, utilizando a lâmpada de teste como ferramenta principal na condução das verificações, demandando muito tempo para diagnosticar a origem do defeito e necessitando mão-de-obra altamente qualificada, em geral engenheiros especialistas. Essa metodologia baseada na utilização de ferramentas de diagnóstico via rede de comunicação serial vai auxiliar as montadoras de veículos automotores terrestres a elevarem a qualidade e a reduzirem o tempo de fabricação dos veículos protótipos e, com isso, manter o cronograma de desenvolvimento do projeto dentro dos prazos determinados bem como a data prevista para o lançamento do novo produto no mercado.

**Palavras-chave:** Diagnóstico via CAN. Veículo protótipo. Falha elétrica. Arquitetura elétrica. Esquema elétrico. Comunicação serial.

## ***ABSTRACT***

This dissertation aims to develop a technical methodology for electrical failures analysis in prototype automotive vehicles applying techniques of electrical schematic interpretation and serial data bus diagnostics in order to reduce the time and complexity during the troubleshooting of electrical issues inherent of project prototype phase. Currently, the electrical failure analysis and troubleshooting are performed based on old techniques designed before the evolution of automotive embedded electronics, using the test lamp as the main tool to conduct the verifications, spending long time to find out the failure root cause and requiring skilled manpower, generally expert engineers. This methodology based on serial communication bus diagnostic tools will assist the OEM automakers to improve the quality and reduce the prototype vehicles building time, thereby keeping the project development timing within the deadlines and pursuing the product launch date.

***Keywords:*** Diagnostic via CAN bus. Prototype vehicle. Electrical failure. Electrical architecture. Electrical schematic. Serial communication.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Etapas de um processo genérico para o projeto de um veículo.....	17
Figura 02 – Sistema automotivo centralizado .....	19
Figura 03 – Sistema automotivo distribuído .....	20
Figura 04 – Sistema automotivo distribuído com tráfego separado por sub-redes .....	21
Figura 05 – Arquitetura elétrica automotiva genérica .....	21
Figura 06 – Arquitetura elétrica Centralizada .....	22
Figura 07 – Arquitetura elétrica Centralizada aplicada em um veículo .....	23
Figura 08 – Arquitetura elétrica Distribuída.....	24
Figura 09 – Arquitetura elétrica Distribuída aplicada em um veículo .....	25
Figura 10 – Arquitetura elétrica Mista .....	26
Figura 11 – Arquitetura elétrica Mista aplicada em um veículo .....	27
Figura 12 – Responsabilidade da ECU <i>versus</i> complexidade do sistema .....	28
Figura 13 – Tendência em quantidade de ECUs em veículos de passeio.....	30
Figura 14 – Diagrama em blocos de um sistema de comunicação .....	31
Figura 15 – Custo do protocolo de comunicação <i>versus</i> taxa de transmissão de dados.....	32
Figura 16 – Estrutura do <i>frame</i> UART .....	38
Figura 17 – Arquitetura <i>Hardwired</i> <i>versus</i> Arquitetura LIN .....	40
Figura 18 – Estrutura do <i>frame</i> LIN .....	41
Figura 19 – Taxa de transmissão <i>versus</i> comprimento dos cabos elétricos .....	43
Figura 20 – Topologia CAN com resistores de terminação .....	44
Figura 21 – Níveis de tensão no barramento CAN.....	45
Figura 22 – Estruturas de mensagem CAN (padrão e estendido).....	46
Figura 23 – Estrutura de mensagem J1587.....	48
Figura 24 – Correlação entre J1939 e CAN .....	49
Figura 25 – Especificação do padrão SAE J1939.....	50
Figura 26 – Instante de amostragem e tempo de bit para transmissão .....	52
Figura 27 – Mecanismo de transmissão do <i>frame</i> por transição de sinal .....	53
Figura 28 – Estrutura do <i>frame</i> VAN .....	53
Figura 29 – Topologia do barramento K-Line.....	55
Figura 30 – Estrutura do <i>frame</i> K-Line .....	56
Figura 31 – Estrutura do <i>frame</i> KWP 2000.....	57

Figura 32 – Exemplo do fluxo de mensagens para diagnóstico .....	58
Figura 33 – Estrutura do <i>frame</i> J1850 .....	59
Figura 34 – Codificação de bit nos padrões J1850 PWM e VPW.....	61
Figura 35– Barramento FlexRay com <i>dual-channel</i> .....	63
Figura 36 – Topologia barramento ( <i>multi-drop</i> ) .....	64
Figura 37 – Topologia estrela.....	65
Figura 38 – Topologia híbrida .....	65
Figura 39 – Ciclo de comunicação FlexRay.....	66
Figura 40 – Estrutura do <i>frame</i> FlexRay .....	67
Figura 41 – Arquitetura elétrica do veículo BMW série 7 .....	68
Figura 42 – Estrutura do <i>frame</i> ( <i>telegraph</i> ) ByteFlight.....	69
Figura 43 – Dispositivos interconectados via rede MOST.....	70
Figura 44 – Sincronização realizada pela ECU mestre .....	73
Figura 45 – Estrutura do <i>frame</i> MOST25.....	75
Figura 46 – Conjunto de chicotes elétricos de um veículo de passeio .....	80
Figura 47 – Conectores com trava CPA e <i>Poka-yoke</i> .....	81
Figura 48 – Ferramentas para calibração e parametrização de ECUs .....	82
Figura 49 – Exemplo de <i>check list</i> para verificação funcional.....	83
Figura 50 – Verificação funcional utilizando <i>software</i> de diagnóstico .....	84
Figura 51 – Verificação funcional utilizando dinamômetro de rolo .....	85
Figura 52 – Sistema de distribuição de energia automotivo.....	86
Figura 53 – Esquema elétrico de um veículo comercial.....	87
Figura 54 – Esquema elétrico de um veículo de passeio .....	88
Figura 55 – Leitura dos DTCs utilizando as ferramentas de diagnóstico “A” e “B” .....	91
Figura 56 – Detalhamento das informações de um DTC .....	92
Figura 57 – Exemplos de sensores, transdutores e atuadores automotivos .....	94
Figura 58 – Exemplo de erro sistêmico no barramento de comunicação .....	95
Figura 59 – Exemplo de erro durante a programação da ECU.....	97
Figura 60 – Leitura dos arquivos de calibrações das ECUs .....	98
Figura 61 – Análise dos <i>frames</i> de comunicação entre ECUs.....	99
Figura 62 – Realização de aprendizado utilizando ferramenta de diagnóstico .....	101
Figura 63 – Estrutura de camadas do modelo OSI.....	108
Figura 64 – Componentes do sistema de freios ABS .....	111
Figura 65 – Componentes do sistema de alarme anti-furto .....	114

Figura 66 – Componentes do sistema ASR.....	115
Figura 67 – Componentes do sistema AirBag .....	117
Figura 68 – Funcionamento do sistema ESP .....	119
Figura 69 – Componentes do sistema ESP.....	120
Figura 70 – Componentes do sistema EPS.....	122
Figura 71 – Componentes do sistema ECC .....	124
Figura 72 – Componentes básicos do sistema de Telemática .....	127
Figura 73 – Componentes do sistema UPA.....	130

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Tecnologias de redes automotivas Classe A.....	34
Tabela 02 – Tecnologias de redes automotivas Classe B .....	35
Tabela 03 – Tecnologias de redes automotivas Classe C .....	36
Tabela 04 – Tecnologias de redes automotivas Classe Entretenimento .....	37
Tabela 05 – Tipos de protocolo CAN.....	44
Tabela 06 – Padronização do K-Line .....	54
Tabela 07 – Comparação entre J1850 modulação PWM e VPW.....	59
Tabela 08 – Principais diferenças entre FlexRay, CAN e LIN .....	62
Tabela 09 – Camadas do modelo MOST .....	71
Tabela 10 – Exemplos de comandos para diagnóstico.....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Anti-lock Brake System
ACC	Adaptive Cruise Control
ACK	Acknowledge
AEA	Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASR	Antriebs-Schlupf-Regelung
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - Brasil
AUTOSAR	Automotive Open System Architecture
AWD	All Wheel Drive
BAS	Brake Assist System
BASS	Brake Apply Sensing Sensor
BCM	Body Control Module
BFT	Battery Fuse Terminal
CAD	Computer Aided Design
CAN	Controller Area Network
CCP	CAN Calibration Protocol
CC	Cruise Control
CD	Compact Disc
CHMSL	Center High Mounted Stop Light
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CPA	Connector Position Assurance
CPU	Central Processing Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Coolant Temperature Sensor
D2B	Domestic Digital Bus
DAS	Driver Assistant System
DID	Data Identifier
DLC	Diagnostic Link Connector

DLC	Data Length Code
DTC	Diagnostic Trouble Code
DVD	Digital Video Disc
EBD	Electronic Brake-force Distribution
EBCM	Electronic Brake Control Module
ECC	Electronic Climate Control
ECM	Engine Control Module
ECU	Electronic Control Module
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Engine Management System
EOF	End of Frame
EOBD	European On-Board Diagnostics
EPB	Electronic Parking Brake
EPS	Electric Power Steering
ESC	Electronic Stability Control
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
ETC	Electronic Throttle Control
GM	General Motors
GMLAN	General Motors in-vehicle Local Area Network
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Services
HDTV	High Definition Television
HMI	Human Machine Interface
HS	High Speed
HVSM	Heated Venting Seating Module
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Identifier Extension
IEC	International Electrotechnical Commission
IEC	Instrument panel Electrical Center
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFR	In Frame Response

IFS	In Frame Separation
IMMO	Immobilizer
IMU	Inertial Measurement Unit
IPC	Instrument Panel Cluster
ISO	International Organization for Standardization
I/O	Input / Output
KL.	Klemme
KWP	Keyword Protocol
LIN	Local Interconnect Network
LLC	Logical Link Control
LS	Low Speed
LSB	Least Significant Bit
MID	Message Identification
MOST	Media Oriented Systems Transport
MS	Mid Speed
NRZ	Non Return to Zero
OAT	Outside Air Temperature Sensor
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSI	Open Systems Interconnection
PCB	Printed Circuit Board
PEPS	Passive Entry - Passive Start
PID	Parameter Identification
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares
PSCM	Power Steering Control Module
PWL	Power Window Lifter
PWM	Pulse Width Modulation
RPO	Regular Production Option
RTR	Remote Transmission Request
SAE	Society of Automotive Engineers
SAS	Steering Angle Sensor
SDM	Sensing Diagnostic Module (Airbag)
SOF	Start of Frame

SPI	Serial Peripheral Interface
SRR	Substitute Remote Request
TOSS	Transmission Output Speed Sensor
TCCM	Transfer Case Control Module
TCM	Transmission Control Module
TCS	Traction Control System
TCO	Tacograph
TCU	Telematic Control Unit
TDMA	Time Division Multiple Access
TIM	Trailer Interface Module
TMS	Transmission Management System
TPA	Terminal Position Assurance
TPP	Time-Triggered Protocol
UEC	Underhood Electrical Center
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
USRT	Universal Synchronous Receiver/Transmitter
UPA	Ultrasonic Parking Assist
VAN	Vehicle Area Network
VIN	Vehicle Identification Number
VSS	Vehicle Speed Sensor
VW	Volkswagen
WLAN	Wireless Local Area Network
4WD	Four Wheel Drive

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	17
<b>2 ARQUITETURAS ELÉTRICAS AUTOMOTIVAS .....</b>	19
2.1 ARQUITETURA ELÉTRICA CENTRALIZADA .....	22
2.2 ARQUITETURA ELÉTRICA DISTRIBUÍDA.....	23
2.3 ARQUITETURA ELÉTRICA MISTA .....	26
2.4 DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA EM UM PROJETO .....	28
<b>3 REDES DE COMUNICAÇÃO .....</b>	30
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA.....	32
<b>3.1.1 Redes Automotivas Classe A .....</b>	33
<b>3.1.2 Redes Automotivas Classe B.....</b>	34
<b>3.1.3 Redes Automotivas Classe C .....</b>	35
<b>3.1.4 Redes Automotivas Classe Entretenimento .....</b>	36
3.2 PROTOCOLO UART .....	37
3.3 PROTOCOLO LIN .....	39
3.4 PROTOCOLO CAN .....	41
3.5 PROTOCOLO J1587/1708 .....	47
3.6 PROTOCOLO J1939 .....	48
3.7 PROTOCOLO VAN.....	51
3.8 PROTOCOLO K-LINE.....	54
3.9 PROTOCOLO KWP 2000 .....	57
3.10 PROTOCOLO J1850 .....	58
3.11 PROTOCOLO FLEXRAY .....	61
<b>3.11.1 Topologia Barramento (<i>multi-drop</i>) .....</b>	63
<b>3.11.2 Topologia Estrela.....</b>	64
<b>3.11.3 Topologia Híbrida .....</b>	65
3.12 PROTOCOLO BYTEFLIGHT .....	68
3.13 PROTOCOLO MOST .....	69
<b>3.13.1 MOST25 .....</b>	72
<b>3.13.2 MOST50 .....</b>	72
<b>3.13.3 MOST150 .....</b>	72
<b>4 PRINCIPAIS SISTEMAS EMBARCADOS NOS MERCADOS EMERGENTES .....</b>	76
<b>5 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHAS EM PROTÓTIPOS .....</b>	78
5.1 DEFINIÇÕES SOBRE O CONTEÚDO DO PROJETO.....	78

5.2 MONTAGEM DOS VEÍCULOS PROTÓTIPOS .....	79
5.3 VERIFICAÇÕES FUNCIONAIS NOS VEÍCULOS PROTÓTIPOS .....	82
5.3.1 Verificações Estáticas .....	83
5.3.2 Verificações Dinâmicas .....	85
5.4 INTERPRETAÇÃO DO ESQUEMA ELÉTRICO .....	86
5.5 ANÁLISE DE FALHAS ELÉTRICAS .....	89
5.5.1 Análise dos Chicotes Elétricos .....	93
5.5.2 Análise dos Sensores, Transdutores e Atuadores .....	94
5.5.3 Análise dos Barramentos de Comunicações Seriais .....	95
5.5.4 Análise dos Módulos Eletrônicos .....	96
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	102
REFERÊNCIAS .....	104
ANEXO A – Modelo OSI .....	108
ANEXO B – Transmissão Isócrona .....	110
ANEXO C – Sistema de Freios Anti-blocantes - ABS .....	111
ANEXO D – Sistema de Alarme Anti-furto .....	113
ANEXO E – Sistema de Controle de Tração - ASR .....	115
ANEXO F – Sistema de Retenção Suplementar - Airbag .....	117
ANEXO G – Controle Eletrônico de Estabilidade - ESP .....	119
ANEXO H – Sistema de Direção Elétrica - EPS .....	122
ANEXO I – Controle Eletrônico de Temperatura - ECC .....	124
ANEXO J – Sistema de Telemática .....	126
ANEXO K – Sistema de Estacionamento Assistido - UPA .....	129

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), existem oficialmente mais de 28 montadoras disputando o mercado automotivo brasileiro. Com esse cenário de concorrência acirrada, as empresas buscam cada vez mais artifícios para sobreviverem e se destacarem no mercado, sendo um deles a redução no tempo para o desenvolvimento e lançamento de novos produtos, a fim de apresentar aos clientes uma linha de produtos sempre atualizada e inovadora, visando aumentar a participação de mercado (*market share*) bem como a lucratividade. Posto esse fato, é notável que o atraso no projeto de um novo automóvel acarretará em consideráveis perdas financeiras e de imagem para a companhia.

O desenvolvimento de um novo veículo é dividido por etapas e em subsistemas, visando a sinergia e otimização entre os diversos times da engenharia (elétrica, chassis, carroçaria, *powertrain*, etc.) em busca do menor tempo possível para a execução do projeto. Com certa variação de empresa para empresa, essas etapas estão divididas basicamente em: Conceituação do veículo; Desenho do estilo; Projeto virtual em CAD; Protótipo físico e Validação física. Assim fica evidente que, a ocorrência de quaisquer atraso em alguma dessas etapas, comprometerá o cronograma do projeto.

Figura 01 – Etapas de um processo genérico para o projeto de um veículo



FONTE: O Autor

Com a crescente evolução e barateamento dos microcontroladores, cada vez mais a eletrônica embarcada está sendo incorporada aos novos veículos, substituindo subsistemas originalmente mecânicos ou hidráulicos, tais como pedal do acelerador, freio de estacionamento, freio de serviço, direção assistida, dentre outros, adicionando conforto e entretenimento aos passageiros com a inclusão de sistemas multimídia e navegação via GPS, ar condicionado automático de múltiplas zonas, bancos com aquecimento e massageador, além de diversos dispositivos de segurança ativa e passiva tais como controles de estabilidade

e tração, sistema auxiliar para descida em rampas, assistente para partida em subidas, múltiplos airbags com estágios de abertura sequenciais, etc (Santos, 2010).

Para que seja possível integrar todas essas tecnologias no projeto de um veículo automotor, é necessário também o desenvolvimento de uma nova arquitetura elétrica para viabilizar a interligação de todos os componentes elétricos e eletrônicos com eficácia e a um custo otimizado (Guimarães, 2007).

Um dos maiores desafios durante o projeto de uma nova arquitetura elétrica é a etapa de montagem dos veículos protótipos, pois é a primeira vez em que todos os módulos eletrônicos, componentes elétricos/eletrônicos, chicotes elétricos, *powertrain*, *softwares* e calibrações são integrados e devem funcionar perfeitamente e em harmonia para permitir a condução do veículo, com segurança, e assim liberá-lo para próxima etapa do processo de desenvolvimento que é a realização dos testes de validação em campo de provas.

Devido a existência de inúmeras combinações possíveis de variantes do mesmo automóvel tais como diferentes configurações de carrocerias, motores, transmissões, opcionais, legislações dos países o qual o novo produto será vendido, etc. torna-se extremamente complexo testar e validar todas as configurações existentes em bancadas de testes elétricos, simuladores computadorizados de *softwares* e testes de dinamômetros. Sendo assim, pode-se de certa forma afirmar que a ocorrência de falhas elétricas durante a etapa de montagem dos protótipos é inerente ao processo de desenvolvimento do veículo e devem ser corrigidas com precisão e no menor tempo possível.

Esse trabalho está focado na etapa da montagem de protótipos, visando o desenvolvimento de uma metodologia baseada em técnicas de interpretação do esquema elétrico, leitura e diagnóstico via rede de comunicação serial e conceitos básicos sobre o funcionamento dos diversos subsistemas automotivos, buscando a redução no tempo e na complexidade das análises nas falhas elétricas inerentes a essa fase do projeto.

Serão apresentados noções básicas sobre as arquiteturas elétricas automotivas existentes, redes de comunicação seriais e dos principais subsistemas embarcados aplicados nos mercados emergentes, que servirão de base técnica para o entendimento da metodologia proposta. Portanto, o presente trabalho não possui o objetivo de aprofundar-se nesses temas.

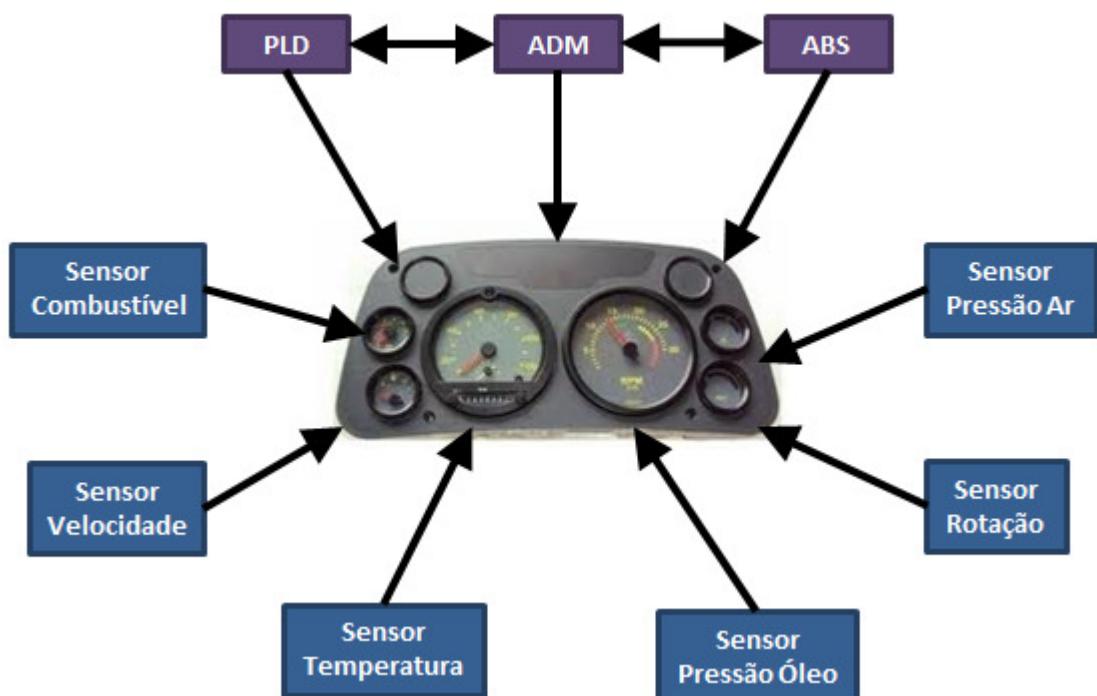
## 2 ARQUITETURAS ELÉTRICAS AUTOMOTIVAS

O desenvolvimento de uma arquitetura elétrica visa a interconexão elétrica de todos os componentes elétricos e eletrônicos, redução no número de cabos e conectores com o objetivo de otimizar o custo e a massa do veículo, estabelecer a comunicação entre os módulos eletrônicos, diagnóstico para manutenção, determinação dos elementos dos circuitos de proteção, balanceamento das cargas elétricas e o balanceamento dos barramentos de comunicação seriais (Santos, 2010).

As tarefas concorrentes em um sistema embarcado podem ser executadas de forma centralizada ou distribuída. O mesmo sistema automotivo, com características e funções idênticas, pode ser implementado tanto na forma centralizada como distribuída, dependendo do custo e grau de complexidade da arquitetura elétrica do veículo (Santos, 2010).

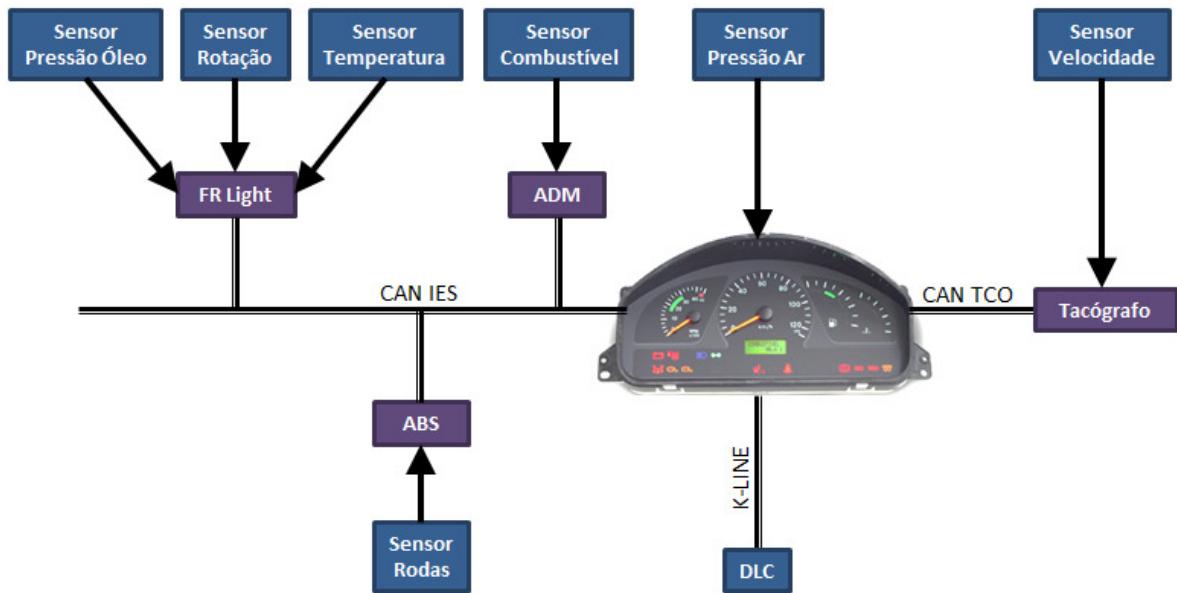
A figura 02 apresenta em forma de blocos um sistema automotivo implementado no formato de um sistema de computação centralizado ou ponto-a-ponto (um módulo eletrônico com diversas funções concorrentes) e a figura 03 apresenta o mesmo sistema automotivo implementado no formato de computação distribuída (diversos módulos eletrônicos com funções distribuídas) interligadas por redes de comunicação seriais.

Figura 02 – Sistema automotivo centralizado



FONTE: O Autor

Figura 03 – Sistema automotivo distribuído



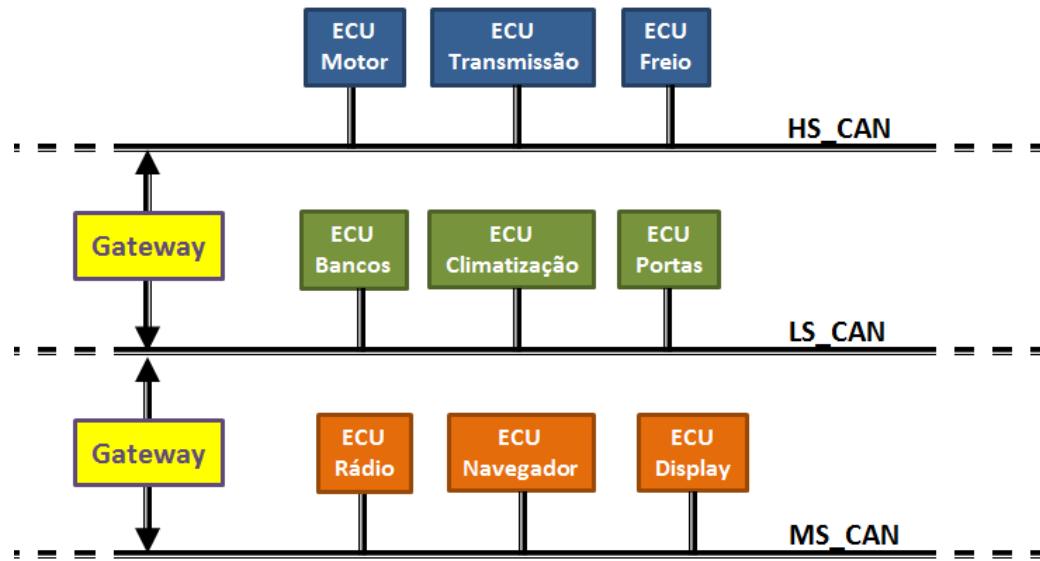
FONTE: O Autor

Com o crescente aumento na quantidade dos módulos eletrônicos embarcados em um veículo, foi possível viabilizar a execução de funções com alto grau de complexidade onde é requerida a troca de informações entre as diversas ECUs (*Electronic Control Unit*) em tempo real. Isso fez com que as interligações elétricas se tornassem cada vez mais complexas e, para reduzir a quantidade de cabos elétricos no veículo e consequentemente a massa e volume, foram integrados redes multiplexadas nos módulos eletrônicos para viabilizar a implementação de um sistema de computação distribuída hierarquizada e conectar as diversas ECUs através de um barramento de comunicação serial (Santos, 2010).

A figura 04 apresenta uma arquitetura de computação distribuída em rede hierarquizada, onde a sub-rede “HS\_CAN” opera em alta velocidade e interconecta funções relacionadas a dinâmica do veículo, a sub-rede “LS\_CAN” opera em baixa velocidade e agrupa funções relacionadas ao conforto do veículo e a sub-rede “MS\_CAN” trabalha em média velocidade e agrupa as funções relacionadas ao entretenimento do veículo. Dois *gateways*<sup>1</sup> são utilizados de forma que os módulos eletrônicos possam comunicar-se entre si com isolamento de tráfego, equiparação de velocidades e, em casos críticos, mecanismos de tolerância a falhas garantem a integridade funcional do veículo (Santos, 2010).

<sup>1</sup> Máquina intermediária destinada a interligar redes, separar domínios de colisão ou traduzir protocolos.

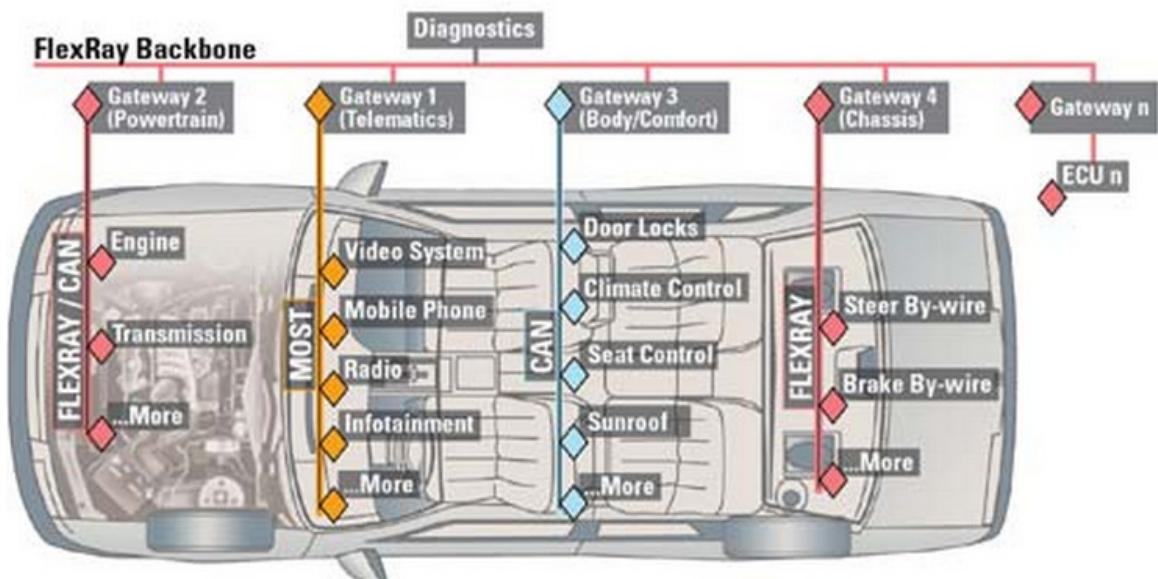
Figura 04 – Sistema automotivo distribuído com tráfego separado por sub-redes



FONTE: Santos (2010)

Em uma mesma arquitetura elétrica distribuída, devido as características dos sistemas utilizados bem como a carga atribuída nas redes de comunicação, podem ser empregados mais de um tipo de protocolo de comunicação interligados por um ou mais *gateways*, fazendo com que as redes se comuniquem entre si de forma transparente. A figura 05 apresenta as tecnologias de redes LIN, CAN, MOST e FlexRay interligadas através de *gateways*.

Figura 05 – Arquitetura elétrica automotiva genérica

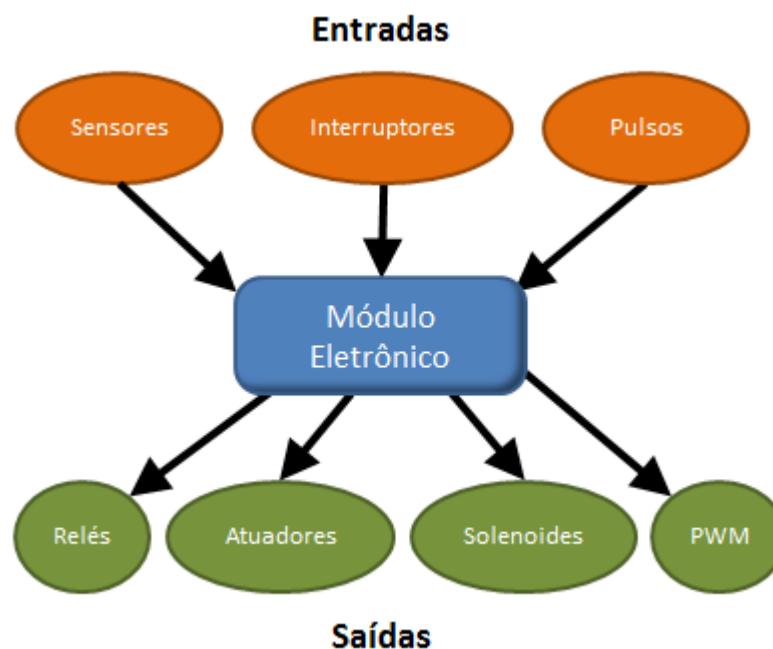


FONTE: Gould (2009)

## 2.1 ARQUITETURA ELÉTRICA CENTRALIZADA

Na arquitetura elétrica centralizada, um único módulo eletrônico com *hardware* e *software* dedicados, utiliza as interfaces I/Os<sup>1</sup> para coletar os sinais de grandezas físicas do ambiente, provenientes de sensores e transdutores diversos, processa essas informações e envia os sinais de controle aos atuadores, como válvulas solenóides, relés, LEDs, motores elétricos, lâmpadas, entre outros (Guimarães, 2007). A figura 06 apresenta um diagrama em blocos para uma arquitetura elétrica centralizada.

Figura 06 – Arquitetura elétrica Centralizada



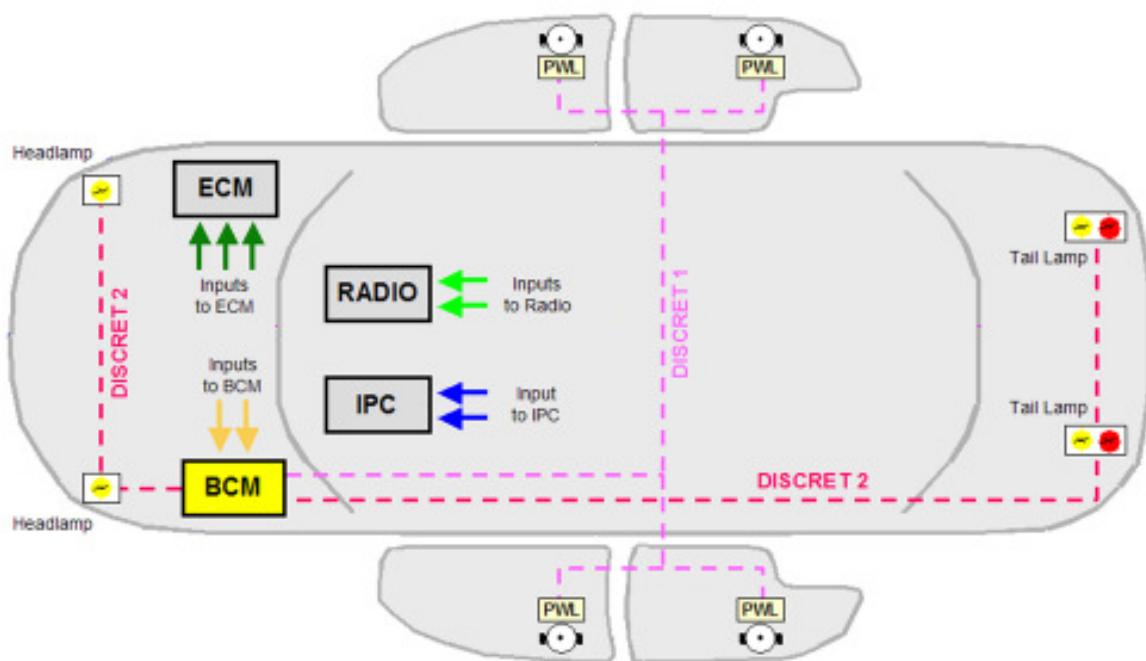
FONTE: O Autor

A vantagem dessa arquitetura é a existência de apenas um módulo eletrônico conectado diretamente a todos sensores, transdutores, interruptores e atuadores existentes no veículo para gerenciar o processamento de todas as tarefas de forma centralizada. As desvantagens são a grande quantidade de cabos necessários para efetuar as conexões elétricas devido a distância física entre a ECU e os diversos componentes instalados em diferentes locais do automóvel, a ocorrência de uma falha no módulo eletrônico neutralizará todas as funções do veículo e a falta de flexibilidade para implementar modificações ou adições de novas funções na arquitetura (Guimarães, 2007).

<sup>1</sup> Entradas e saídas (*Input/Output*).

A figura 07 apresenta um exemplo de arquitetura elétrica centralizada aplicada em um veículo leve (peso bruto total de até 3,5 toneladas e lotação máxima 9 lugares), note que cada um dos seguintes módulos eletrônicos BCM, ECM, IPC, PWL e Rádio funcionam de forma autônoma (*stand alone*) e não possuem quaisquer tipo de comunicação entre si, não sendo portanto necessário a utilização de nenhum protocolo de comunicação. Porém, muitas entradas utilizam sinais comuns que precisam ser levados através de cabos dedicados para cada uma das ECUs (Guimarães, 2007).

Figura 07 – Arquitetura elétrica Centralizada aplicada em um veículo

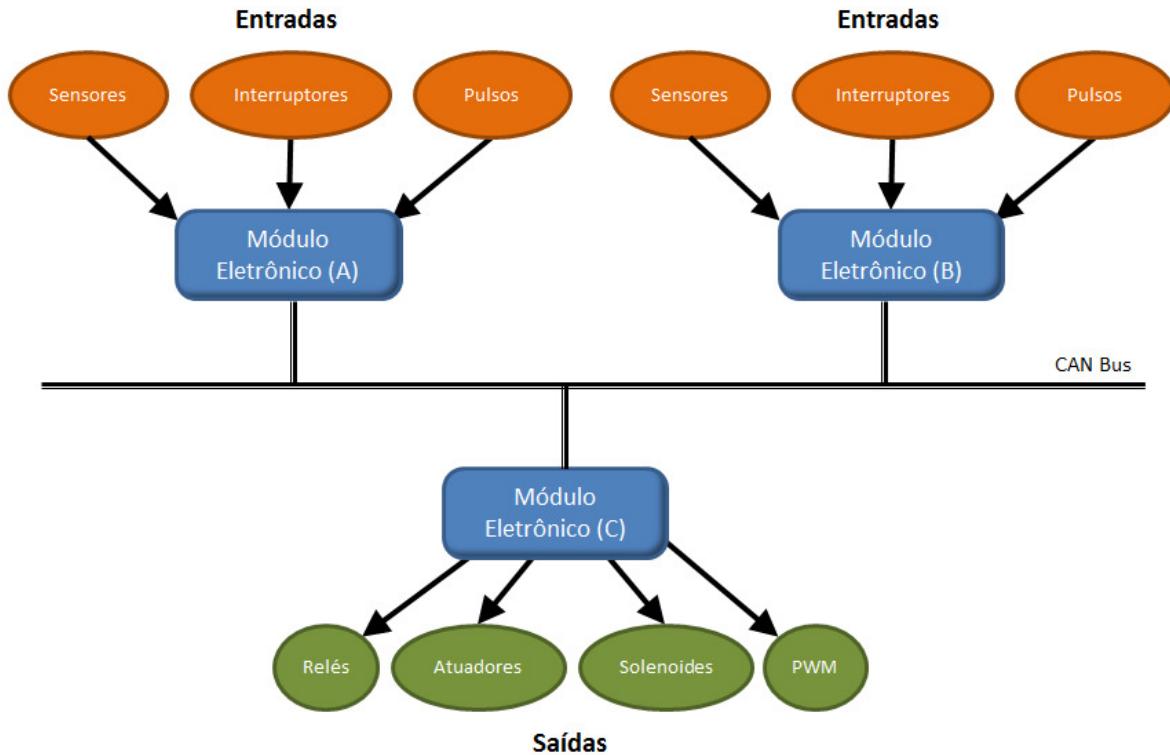


FONTE: Guimarães (2007)

## 2.2 ARQUITETURA ELÉTRICA DISTRIBUÍDA

Na arquitetura elétrica distribuída, diversos módulos eletrônicos com interfaces I/Os próprios são interconectados através de um ou mais barramentos de comunicação serial, possibilitando a distribuição no processamento das tarefas entre os mesmos e viabilizando a proximidade na instalação física entre as ECUs e seus respectivos sensores e atuadores. A Figura 08 representa uma arquitetura distribuída contendo módulos eletrônicos (A e C) responsáveis por efetuarem as leituras das variáveis do ambiente (entradas) e outro módulo eletrônico (B) responsável pelo acionamento dos dispositivos (saídas), baseado nas informações recebidas através do barramento de dados (Guimarães, 2007).

Figura 08 – Arquitetura elétrica Distribuída



FONTE: O Autor

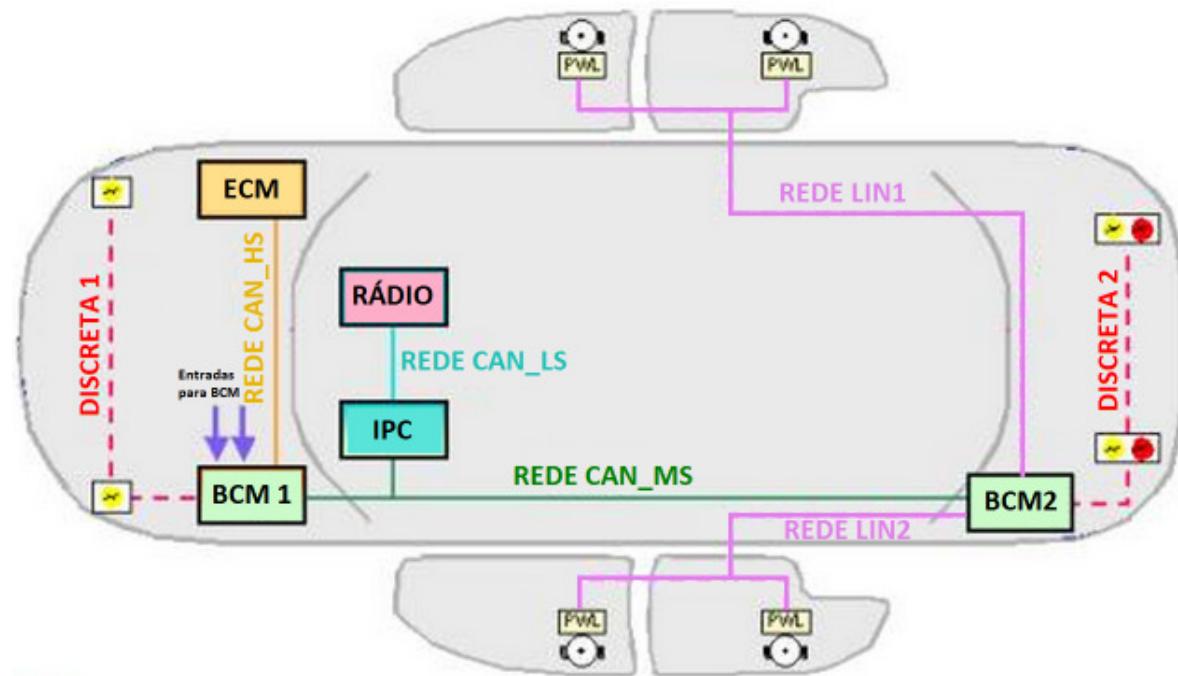
As vantagens dessa arquitetura são a reduzida quantidade de cabos, uma vez que o módulo eletrônico é instalado de forma a ficar o mais próximo possível aos sensores e atuadores do seu sistema e também devido a multiplexação das informações discretas, flexibilidade para implementar modificações e a possibilidade na ampliação da arquitetura apenas adicionando novas ECUs ao barramento de comunicação. A desvantagem é a obrigatoriedade da utilização de um meio físico e de um protocolo de comunicação serial, dificuldade para determinação da taxa de transmissão ideal da rede e necessidade da inclusão na ECU de *software* e *hardware* dedicados para efetuar o controle da camada de comunicação.

Ainda sobre as vantagens da arquitetura distribuída, Guimarães (2011) descreve:

O compartilhamento das informações disponíveis em cada ECU nas redes de comunicações do veículo tem sido fundamental para o conveniente funcionamento das diversas aplicações. Neste sentido, a utilização de sistemas eletroeletrônicos interligados, compartilhando informações entre si, além de facilitar o projeto do veículo, tem viabilizado a execução de inúmeras tarefas que, de outra maneira, só seria possível com a aplicação de sensores e atuadores redundantes e da excessiva quantidade de cabeamento elétrico.

A figura 09 apresenta um exemplo de arquitetura elétrica distribuída aplicada em um veículo leve. Perceba que são considerados os mesmos módulos eletrônicos (BCM, ECM, IPC, PWL e Rádio) utilizados no exemplo anterior, porém nesse caso estão interconectados através de quatro redes de comunicação serial distintas, permitindo a disponibilização dos dados do veículo para todas as ECUs. Note ainda as entradas comuns, que antes estavam conectadas discretamente em cada um dos módulos eletrônicos, agora são recebidas somente pelo módulo BCM e retransmitidas via rede para as demais ECUs, reduzindo significativamente o número de cabos no chicote elétrico do veículo (Guimarães, 2007).

Figura 09 – Arquitetura elétrica Distribuída aplicada em um veículo



FONTE: Guimarães (2011)

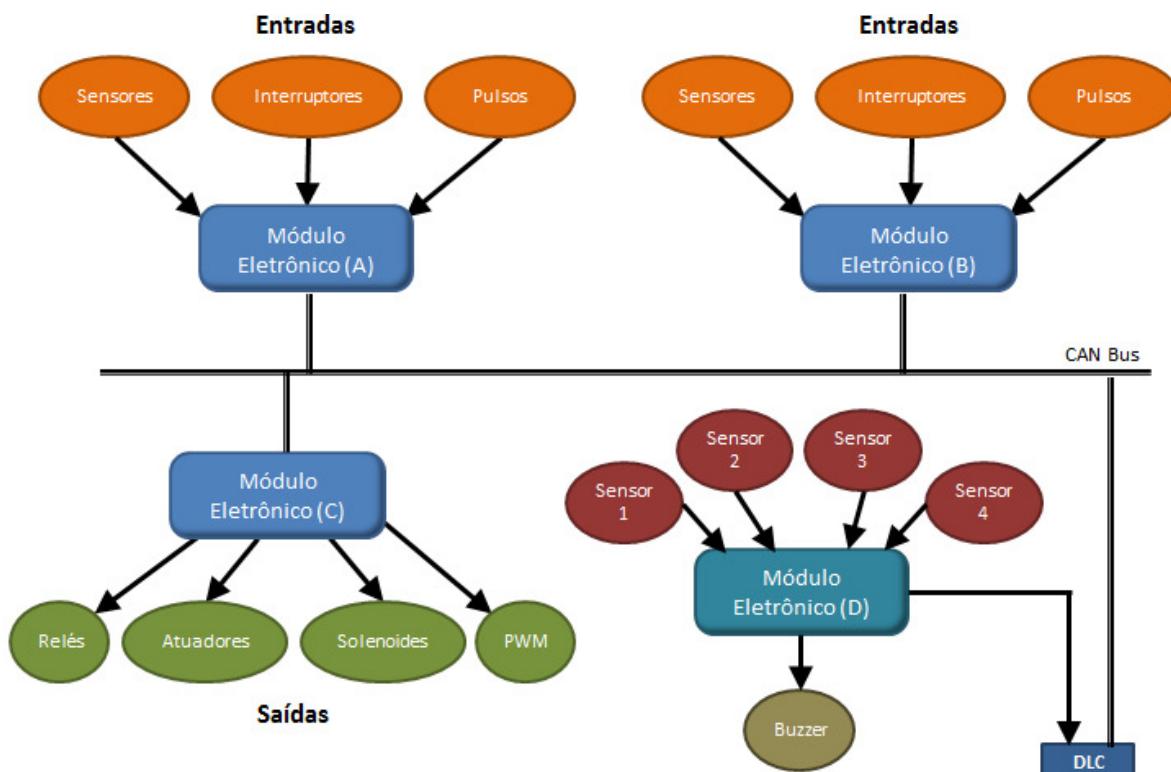
- Rede CAN\_HS: Responsável pela troca de dados entre os módulos ECM e BCM1, opera com taxa de transmissão de dados de alta velocidade (*High Speed*);
- Rede CAN\_MS: Responsável pela comunicação entre os módulos IPC, BCM1 e BCM2, opera com taxa de transmissão de dados de média velocidade (*Mid Speed*);
- Rede CAN\_LS: Responsável pela comunicação entre os módulos IPC e RÁDIO, opera com taxa de transmissão de dados de baixa velocidade (*Low Speed*);
- Rede LIN: Responsável pela interconexão da BCM com os quatro módulos PWL, opera com taxa de transmissão de dados de baixa velocidade (*Local Interconnect Network*).

Na arquitetura elétrica distribuída, com apenas uma medição, um determinado sinal recebido por um dos módulos eletrônicos será processado e disponibilizado para todas as ECUs através das redes de comunicação serial. Ainda que as ECUs estejam conectadas em barramentos com diferentes velocidades, existem *gateways* que transferem as informações de um rede para outra. A maximização na utilização dos dados disponíveis no veículo é uma das grandes vantagens da arquitetura elétrica distribuída (Guimarães, 2007).

### 2.3 ARQUITETURA ELÉTRICA MISTA

Existe ainda a arquitetura elétrica Mista, onde são reunidos em um mesmo veículo ECUs centralizadas que trabalham de forma autônoma (*stand alone*) e ECUs interconectadas por redes de comunicação de forma distribuída. Geralmente os módulos eletrônicos autônomos atribuídos a essa arquitetura elétrica são para funções secundárias ou de conforto que não necessitam interação com os demais sistemas do veículo, não justificando portanto adicionar o custo de um *transceiver*<sup>1</sup> no *hardware* do módulo. A figura 10 apresenta um exemplo de arquitetura mista onde a ECU “D” trabalha de forma autônoma em relação as demais ECUs.

Figura 10 – Arquitetura elétrica Mista



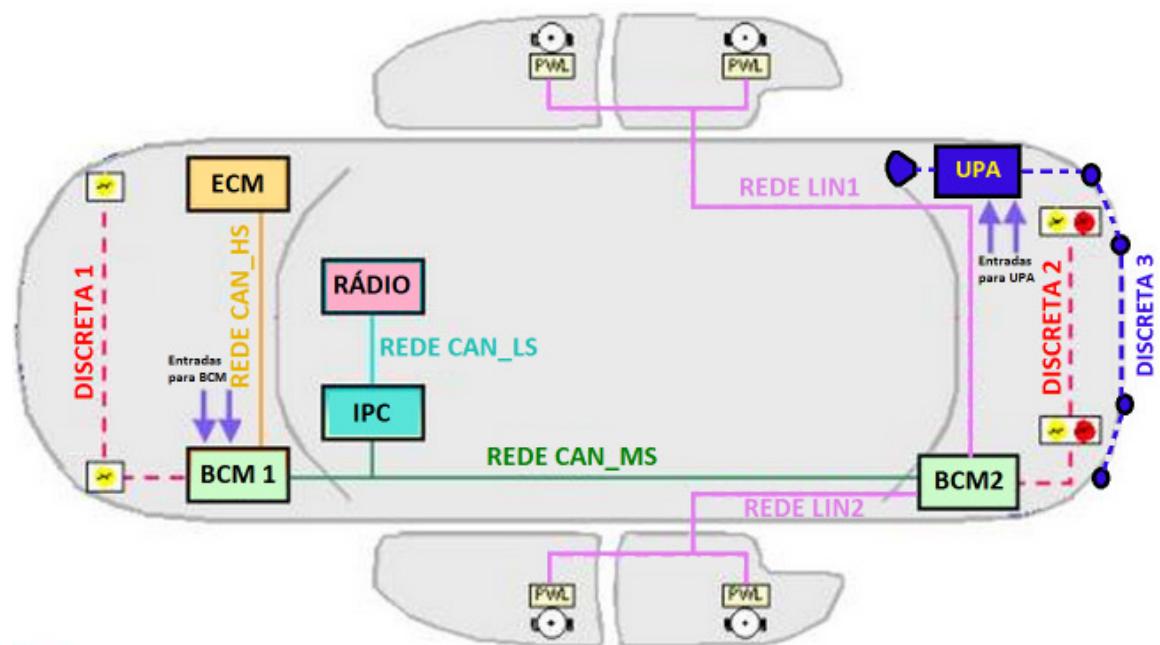
FONTE: O Autor

<sup>1</sup> Dispositivo composto por transmissor e receptor combinados que compartilham o mesmo circuito integrado.

A vantagem dessa arquitetura é a otimização no custo dos módulos eletrônicos, uma vez que o *transceiver* é implementado somente no *hardware* das ECUs relevantes ao funcionamento do veículo. As desvantagens são o não compartilhamento das informações recebidas pelo módulo eletrônico autônomo com as demais ECUs do veículo e também com a impossibilidade de efetuar o diagnóstico de falhas através do painel de instrumentos (*onboard*), sendo opcionalmente possível a verificação de falhas apenas através das ferramentas de diagnóstico conectadas via tomada DLC, ficando a critério da montadora decidir se o módulo eletrônico *stand alone* terá ou não implementado sistema de diagnóstico.

A figura 11 apresenta um exemplo de arquitetura elétrica mista aplicada em um veículo leve. Note que são considerados os mesmos módulos eletrônicos (BCM, ECM, IPC, PWL e Rádio) utilizados nos exemplos anteriores adicionado do módulo sensor de estacionamento (UPA), que trabalha de forma autônoma. Como a operação do UPA não é relevante ao funcionamento do veículo, optou-se por aplicá-lo de forma *stand-alone* em relação as demais ECUs que estão interligadas via redes de comunicação. Portanto, as informações recebidas pelo módulo UPA provenientes dos sensores de distância não serão retransmitidas para as redes do veículo e as entradas comuns, que na arquitetura distribuída estavam conectadas somente na BCM, terão também que ser conectadas discretamente no módulo UPA.

Figura 11 – Arquitetura elétrica Mista aplicada em um veículo



FONTE: O Autor (adaptação Guimarães, 2011)

## 2.4 DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA EM UM PROJETO

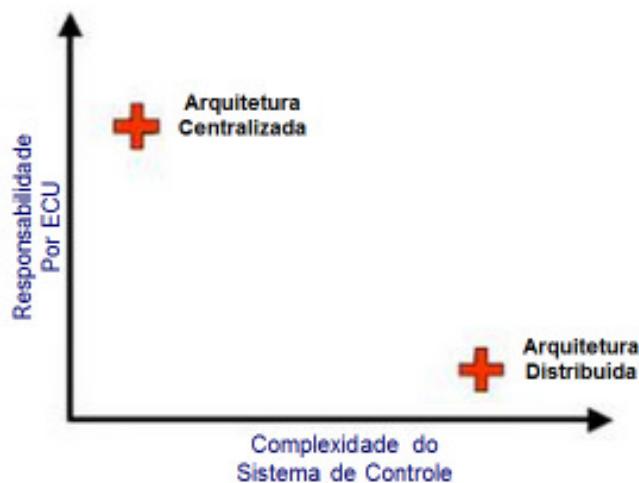
Segundo Guimarães (2011), a definição do tipo de arquitetura elétrica a ser aplicada no projeto de um novo veículo depende de vários fatores tais como:

- Segmento de mercado proposto: popular, entrada, médio, luxo, esportivo, etc;
- Quantidade de funcionalidades adotadas: vidros elétricos, ar condicionado, navegadores GPS, controle de estabilidade, etc;
- Quantidade de subsistemas envolvidos: *Powertrain* (tração 4x4, transmissão automática, etc.), Chassis (direção elétrica, suspensão ativa, etc.), Carroceria (capota conversível, etc.);
- Quantidade de componentes elétricos e eletrônicos: ECUs, sensores, atuadores, etc;
- Complexidade do sistema a ser controlado: quantidade de variáveis de entradas e saídas;
- Custo esperado para a nova arquitetura (*budget*);
- Capacidade de expansão futura (flexibilidade).

Um dos maiores desafios é a constante busca pelo ponto de equilíbrio entre o custo da arquitetura *versus* quantidade de funções do veículo. Por se tratar de uma questão estratégica do negócio de cada montadora OEM, os fatores determinantes para a escolha do tipo de arquitetura a ser utilizado não divulgados pelas empresas em bibliografias abertas ao público.

Para a seleção da arquitetura elétrica em um projeto, Guimarães (2011) ilustra na figura 12 a análise da tendência na relação entre a responsabilidade de cada ECU em um determinado sistema de controle *versus* a complexidade deste sistema como um todo.

Figura 12 – **Responsabilidade da ECU** *versus* **complexidade do sistema**



FONTE: Guimarães (2011)

Para o Brasil, com a introdução do PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) fase L-3 para todos os veículos fabricados a partir de 01 de Janeiro de 2007, foi necessária a instalação do sistema de gerenciamento eletrônico nos motores a combustão interna para atender aos níveis de emissões estabelecidos e, consequentemente, sendo necessário a utilização do módulo de controle do motor ECM.

Ainda com relação ao PROCONVE L-3, o Ministério do Meio Ambiente (2011) descreve:

Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA 15 de 1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação da mistura e controle eletrônico do motor como o sensor de oxigênio.

As resoluções 311 e 312 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), determinaram a obrigatoriedade de equipar os veículos automotores leves (peso bruto total de até 3,5 toneladas e lotação máxima 9 lugares) com freios anti-travamento (ABS) e sistema de retenção suplementar frontal para segurança passiva (Airbags frontais) a partir de 01 de Janeiro de 2014 e, consequentemente, a obrigatoriedade da implementação do módulo eletrônicos EBCM (para o controle dos freios com anti-travamento) e do módulo eletrônico SDM (para o gerenciamento do Airbag).

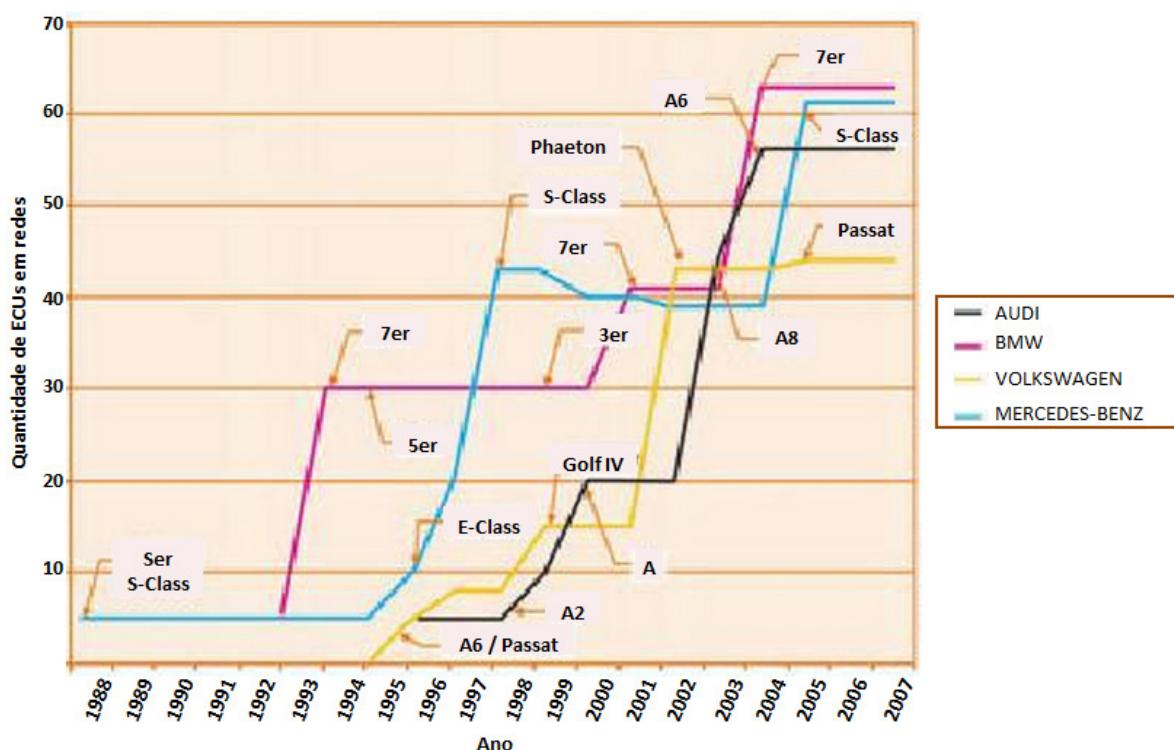
De acordo com as legislações citadas acima, pode-se afirmar que todos os veículos leves vendidos atualmente no mercado brasileiro deverão obrigatoriamente estar equipados pelo menos com os seguintes módulos eletrônicos: ECM (*Engine Control Module*), EBCM (*Electronic Brake Control Module*) e SDM (*Sensing and Diagnostic Module*).

Assim sendo, para o Brasil conclui-se que a escolha da arquitetura elétrica mais adequada para ser aplicada no desenvolvimento de um novo veículo deverá ser a Distribuída ou a Mista, uma vez que a arquitetura elétrica Centralizada não irá atender de forma eficaz e com o custo benefício favorável a todo esse conteúdo eletro-eletrônico.

### 3 REDES DE COMUNICAÇÃO

No decorrer dos últimos anos, o conteúdo eletrônico e a quantidade de módulos eletrônicos embarcados nos veículos aumentaram significativamente, conforme pode ser observado na figura 13. A tendência para as próximas décadas é que o número de ECUs nos automóveis aumente de forma exponencial. Assim, a implementação de uma rede de comunicação é fundamental para viabilizar essa evolução (Santos, 2010).

Figura 13 – Tendência em quantidade de ECUs em veículos de passeio



FONTE: Lehold, J. (2004)

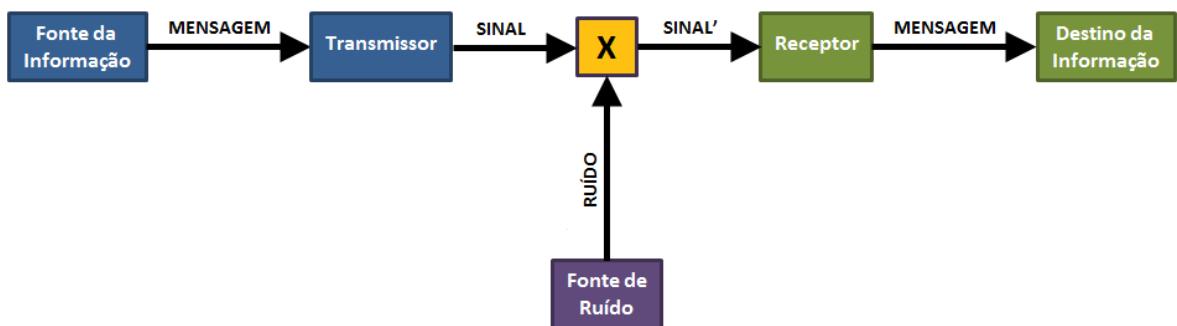
A rede de comunicação é uma entidade que tem como função principal interconectar todos os módulos eletrônicos com a finalidade de transmitir e receber mensagens entre as diversas tarefas distribuídas, sendo a sua existência fundamental para o funcionamento da arquitetura elétrica distribuída (Santos, 2010).

Segundo Guimarães (2007), a rede de comunicação serial multiplexada possui as seguintes principais vantagens em comparação com o método discreto (ponto-a-ponto) ou ainda com a comunicação paralela:

- Redução na quantidade de cabos e componentes dedicados para cada função, diminuindo o custo, massa e complexidade dos chicotes elétricos;
- Aumento da confiabilidade e eficiência do sistema elétrico do veículo, uma vez que quanto menor o número de conectores, menor a susceptibilidade a falhas;
- Aumento na quantidade dos tipos de dados/informações compartilhados entre os diversos módulos eletrônicos de um veículo.

Santos (2010) define a rede de comunicação como sendo um sistema constituído de uma fonte de informação, transmissor, sinal, mensagem, fonte de ruído, receptor e destino da informação, conforme apresenta o diagrama em blocos da figura 14 e explicações a seguir.

Figura 14 – Diagrama em blocos de um sistema de comunicação



FONTE: Santos (2010)

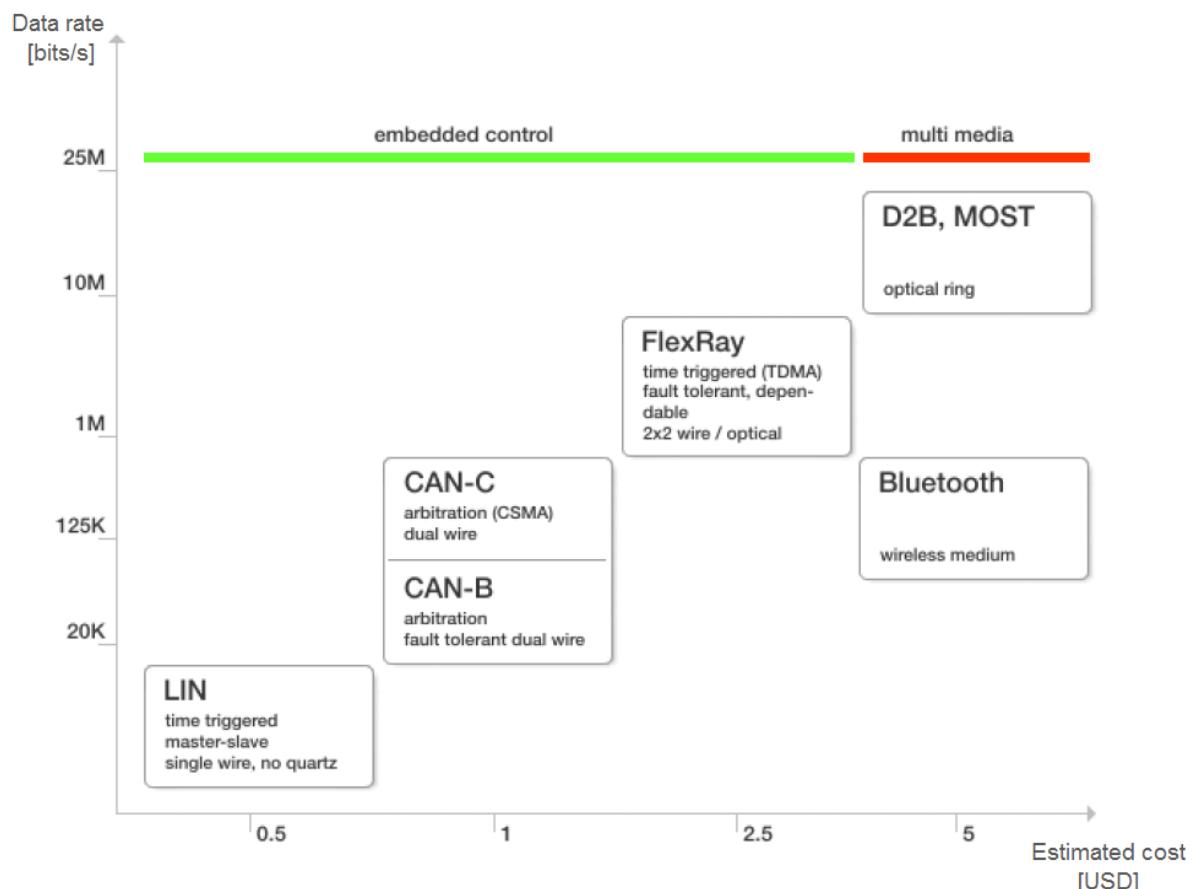
- Fonte da Informação: Produz uma mensagem ou sequência de mensagens que serão enviadas ao destino. Uma mensagem pode ter diversas formas como: sequência de letras; função no tempo  $f(t)$ ; função no tempo com diversas variáveis  $f(x,y,t)$ , duas ou mais funções no tempo  $f(t)$  e  $g(t)$ ; diversas combinações de funções no tempo e variáveis como sinais de áudio e vídeo.
- Transmissor: Transforma a mensagem de forma a produzir um sinal aceitável pelo canal de comunicação.
- Canal de Comunicação: Meio físico pelo qual a mensagem é transmitida, podendo ser cobre, óptico, ar, dentre outros.
- Receptor: Realiza a operação inversa do transmissor, reconstituindo a mensagem através do sinal recebido.
- Destino da Informação: Entidade a qual a mensagem foi direcionada.

Com o objetivo de padronizar e viabilizar a comunicação entre os diversos dispositivos eletrônicos fabricados por diferentes empresas, a ISO desenvolveu e lançou em 1984 um padrão de interconectividade denominado Interconexão de Sistemas Abertos (OSI), conhecido como Modelo OSI de sete camadas, vide o “ANEXO A - Modelo OSI” para maiores detalhes.

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA

A indústria automotiva apresenta como uma das suas principais características a otimização da produção, a redução dos custos e a melhoria contínua na qualidade dos produtos. Com relação ao custo, Santos (2010) estima que futuramente o sistema eletro-eletrônico de um automóvel corresponderá entre 30 a 40% o seu valor total e a utilização de um protocolo de comunicação correto associado a uma arquitetura elétrica distribuída poderá resultar na economia de milhares de unidades monetárias durante o período de um ano. A figura 15 apresenta o custo genérico de implementação do protocolo de comunicação em relação a taxa de transmissão de dados.

Figura 15 – **Custo do protocolo de comunicação versus taxa de transmissão de dados**



FONTE: Santos (2010)

Conforme demonstrado na figura 15, é notável que o protocolo LIN possui um custo inferior aos demais padrões de redes de comunicação usualmente utilizados na indústria automotiva, porém possui grande limitação na velocidade de transmissão dos dados. Já o protocolo CAN possui maior versatilidade e velocidade de transmissão das informações, entretanto possui maior custo para implementação.

As tecnologias de redes automotivas podem ser classificadas quanto a funcionalidade, capacidade de transmissão de dados, velocidade de transmissão de dados, satisfação dos requisitos operacionais, facilidade de integração e manutenção. Desta forma, as empresas automobilísticas possuem redes de comunicação padronizadas ou proprietárias de acordo com os requisitos de seu do projeto. Em um mesmo veículo, podem coexistir diversas tecnologias de redes interconectadas e trabalhando de forma hierarquizadas (Santos, 2010).

Para as montadoras OEMs (*Original Equipment Manufacturer*), a disponibilidade de componentes e equipamentos padronizados facilitam o processo de desenvolvimento, compras e manutenção, levando a independência de fornecedores exclusivos. A SAE (*Society of Automotive Engineers*), baseada nas tecnologias de redes em função dos requisitos de comunicação das aplicações como largura de banda, taxa de transmissão, *deadline*, *jitter*, atrasos, dentre outros, classifica as redes automotivas pelas denominações Classe A, Classe B, Classe C e Classe Entretenimento (Santos, 2010).

### 3.1.1 Redes Automotivas Classe A

São redes de comunicação com baixa largura de banda, baixo custo, *frames* de dados pequenos, empregado em curtas distâncias com a utilização de até um cabo de cobre como forma de barramento físico, sendo suficiente para satisfazer a demanda das aplicações automotivas com requisitos simples e eficientes tais como as funções de conforto, diagnóstico, vidros elétricos, retrovisores elétricos, controle de lâmpadas, botões inteligentes, etc. Geralmente utilizado como meio para que as funções secundárias tenham acesso a uma das redes principais do veículo. Alguns exemplos são os protocolos UART, J1708, BEAN, A-BUS, LIN, TTP/A. (Santos, 2010).

De forma geral, os barramentos de comunicação para as redes Classe A operam em baixa velocidade, possuindo taxa de transmissão na ordem de 10kbps a 50kbps. A tabela 01 apresenta as principais características técnicas de redes Classe A, baseada nos produtos disponíveis no mercado.

Tabela 01 – Tecnologias de redes automotivas Classe A

Empresa	UART GM	SAE J1708 TMC-ATA	CCD CHRYSLER	ACP FORD	BEAN TOYOTA	LIN Consórcio	TTP/A TTTech
<b>Aplicação</b>	Geral Diagnóstico	Controle Diagnóstico	Geral Diagnóstico	Áudio Controle	Geral Diagnóstico	Geral Diagnóstico	Geral Diagnóstico
<b>Meio Físico</b>	Fio Simples	Par Trançado	Fio Simples	Par Trançado	Fio Simples	Fio Simples	Fio Simples
<b>Código Bit</b>	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	-
<b>Controle de Acesso</b>	Mestre / Escravo	Mestre / Escravo	Mestre / Escravo	Mestre / Escravo	Contenção	Mestre / Escravo	Mestre / Escravo
<b>Controle de Erro</b>	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CS	-
<b>Cabeçalho</b>	16 bits	16 bits	8 bits	12-24 bits	25 bits	2 bits	16 bits
<b>Dados</b>	0-85 bytes	-	5 bytes	6-12 bytes	1-11 bytes	8 bytes	16 bytes
<b>Overhead</b>	Variável	Variável	16,70%	25%	28%	2 bytes	39%
<b>Taxa de Transmissão</b>	8192 bps	9600 bps	7812,5 bps	9600 bps	10 kbps	20 kbps	50 kbps
<b>Máx. Compr. Barramento</b>	Não Especificado	Não Especificado	Não Especificado	Não Especificado	Não Especificado	40 m	-
<b>Nº Máx. de ECUs</b>	10	-	6	20	20	16	-

FONTE: Santos (2010)

### 3.1.2 Redes Automotivas Classe B

São redes de comunicação utilizadas para funções importantes na operação do automóvel e não demandam elevados requisitos para comunicação de dados. Geralmente são utilizadas para interconectar módulos eletrônicos que gerenciam unidades de *powetrain* como motor, transmissão, caixa de transferência, eixo traseiro, carroceria, etc. (Santos, 2010).

São constituídos por barramentos de comunicação compostos por um par de cabos de cobre trançados que trabalham com tensão diferencial, capazes de tolerar ruídos eletromagnéticos do ambiente com elevado desempenho operacional. Possuem taxa de transmissão de dados na ordem de 250kbps, 500kbps ou superiores (Santos, 2010).

Devido a sua eficiência, do ponto de vista das aplicações, as redes Classe B fornecem um tempo de resposta semelhantes ao das redes de alta velocidade devido a utilização de *frames* otimizados no seu protocolo. Alguns exemplos de redes Classe B são os protocolos CAN, VAN, SAE J1850, SAE J1939, KWP2000, etc. A tabela 02 apresenta as principais características das redes Classe B.

Tabela 02 – Tecnologias de redes automotivas Classe B

Empresa	SWC SAE/ISO	CAN 2.0 Bosch/ISO	J1850			SAE J1939 TMC-ATA	VAN PSA/Renault
			GM	FORD	CHRYSLER		
<b>Aplicação</b>	Diagnóstico	Controle Diagnóstico	Geral Diagnóstico	Geral Diagnóstico	Geral Diagnóstico	Diagnóstico	Controle Diagnóstico
<b>Meio Físico</b>	Fio Simples	Par Trançado	Fio Simples	Par Trançado	Fio Simples	Fio Simples	Par Trançado
<b>Código Bit</b>	NRZ-5 MSB first	NRZ-5 MSB first	VPW MSB first	PWM MSB first	VPW MSB first	NRZ-5 MSB first	NRZ-5 MSB first
<b>Controle de Acesso</b>	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	-
<b>Controle de Erro</b>	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC	-
<b>Cabeçalho</b>	11 bits	11 ou 29 bits	32 bits	32 bits	8 bits	11 bits	-
<b>Dados</b>	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	-
<b>Overhead</b>	9,9%	9,9%-22%	33,3%	33,3%	8,3%	9,9%	-
<b>Taxa de Transmissão</b>	33.3 kbps to 83.33 kbps	10 kbps to 1 Mbps	10.4 kbps	41.6 kbps	10.4 kbps	33.3 kbps to 83.33 kbps	-
<b>Máx. Compr. Barramento</b>	30 m	40 m (típico)	35 m (5 m tool)	35 m (5 m tool)	35 m (5 m tool)	30 m	-
<b>Nº Máx. de ECUs</b>	16	32 (típico)	32	32	32	16	-

FONTE: Santos (2010)

### 3.1.3 Redes Automotivas Classe C

São redes de comunicação utilizadas em aplicações de segurança crítica com requisitos de mensagens em tempo real e tolerância a falhas, que estejam diretamente ligadas a dinâmica do automóvel e a segurança ativa. Aplicações baseadas nas tecnologias *x-by-wire* requerem que as redes ofereçam transmissão de dados com baixa taxa de atraso, alta frequência, tolerância a falhas entre outros mecanismos essenciais para segurança crítica (Santos, 2010).

O barramento de comunicação é constituído por um par de cabos de cobre trançados ou por fibras ópticas, sendo capazes de tolerarem ruídos eletromagnéticos com elevado desempenho operacional (Santos, 2010).

Possuem elevada taxa de transmissão na ordem de 1Mbps a 25Mbps, sendo capaz de oferecer trocas de mensagens com tempos inferiores a 1ms, com atrasos e variações para mensagens também menores que 1ms. Alguns exemplos de protocolos Classe C são o FlexRay, ByteFlight, TTP/C, TT-CAN, DSI, etc. A tabela 03 apresenta as principais características das rede Classe C.

Tabela 03 – Tecnologias de redes automotivas Classe C

Empresa	TTP/C TTTech	FlexRay Consórcio	TT_CAN CiA	ByteFlight BMW	BST Bosch/TEMIC	Safe-by-Wire Delphi/Philips	DSI Motorola
<b>Aplicação</b>	Airbag	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica
<b>Meio Físico</b>	Par Trançado	Par de Fios Fibra Óptica	Par Trançado	Fibra Óptica	Par Trançado	Par Trançado	Par Trançado
<b>Código Bit</b>	-	NRZ	NRZ	-	Manchester Bifásico	3 Níveis de Tensão	3 Níveis de Tensão
<b>Controle de Acesso</b>	TDMA	F-TDMA	TDMA	F-TDMA	-	-	-
<b>Controle de Erro</b>	CRC 16 bits	CRC 24 bits	CRC 15 bits	CRC 16 bits	Paridade CRC	CRC 8 bits	CRC 4 bits
<b>Dados</b>	16 bytes	0-246 bytes	0-8 bytes	-	1 byte	1 byte	1-2 bytes
<b>Overhead</b>	-	-	32	-	-	64	16%
<b>Taxa de Transmissão</b>	5-25 Mbps	10 Mbps	1-2 Mbps	10 Mbps	125 kbps ou 250 kbps	150 kbps	5 kbps 150 kbps
<b>Máx. Compr. Barramento</b>	-	25 m	40 m	-	-	25-40 m	-
<b>Nº Máx. de ECUs</b>	64/256	-	32	-	12 squibs + 62 slaves	64	16

FONTE: Santos (2010)

### 3.1.4 Redes Automotivas Classe Entretenimento

São redes de comunicação utilizadas em aplicações de entretenimento automotivo, como tecnologias de multimídia, vídeo, navegação, *e-books*, sistemas de reconhecimento de voz, telas de cristal líquido, telefonia, etc.

As aplicações de entretenimento automotivo demandam da rede de comunicação requisitos para a transmissão de mensagens como confiabilidade, elevada largura de banda, atraso, variação de atraso, escalabilidade, tolerância a falhas durante a transmissão, escalabilidade e interfaces *plug and play* com dispositivos externos (Santos, 2010).

São constituídos por barramento de comunicação compostos por fibras ópticas ou em algumas aplicações específicas através de par de cabos de cobre trançados e blindados com elevada proteção a interferências eletromagnéticas. Possuem taxa de transmissão na ordem de 12Mbps a 400Mbps e também elevada largura de banda para o tráfego necessário a aplicações como transmissão de dados de áudio e vídeo. Alguns exemplos de redes de comunicação automotiva para entretenimento são MOST, D2B e FireWire. A tabela 04 apresenta as principais características das redes Classe Entretenimento.

Tabela 04 – Tecnologias de redes automotivas Classe Entretenimento

Empresa	IDB-C SAE	MOST OASIS	MML DELCO	USB COMMERCIAL	IEEE 1394 IEEE
<b>Aplicação</b>	Entretenimento	Entretenimento	Entretenimento	Periféricos	Entretenimento
<b>Meio Físico</b>	Par Trançado	Fibra Óptica	Fibra Óptica	Par de Fios Blindado	Par de Fios Blindado
<b>Código Bit</b>	NRZ	Bifásico	NRZ	NRZ	NRZ
<b>Controle de Erro</b>	CRC 15 bits	CRC	CRC	CRC	CRC
<b>Dados</b>	8 bytes	-	1-200 bytes	-	-
<b>Taxa de Transmissão</b>	250 kbps	25 kbps	11 kbps	12 kbps	98-393 kbps
<b>Máx. Compr. Barramento</b>	-	-	10 m	-	72 m
<b>Nº Máx. de ECUs</b>	16	24	16	127	16

FONTE: Santos (2010)

### 3.2 PROTOCOLO UART

A comunicação serial é o processo de transmitir dados contendo informações, sendo um bit por vez e de forma sequencial utilizando um barramento de comunicação serial. Diferentemente da comunicação paralela, onde todos os bits da informação são enviados simultaneamente utilizando um barramento paralelo (Santos, 2010).

A comunicação serial pode ser classificada quanto ao mecanismo de controle como síncrona (necessita que os emissor e receptor estejam sincronizados no tempo) ou assíncrona, podendo os dispositivos pertencerem a um dos seguintes padrões:

- USRT: *Universal Synchronous Receiver/Transmitter*.
- UART: *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*.
- USART: *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*.

O UART adquire os *bytes* de dados e transmite os bits individualmente de forma sequencial. No destino, um segundo UART remonta os bits em bytes completos. A transmissão serial de informações digitais (bits) através de um único fio ou outro meio físico apresenta um custo benefício mais favorável do que a transmissão em paralelo através de múltiplos fios. A comunicação pode ser do tipo "full-duplex" (envia e recebe as mensagens ao mesmo tempo)

ou "*half-duplex*" (os dispositivos se revezam durante a transmissão e recepção das mensagens) (Santos, 2010).

O bit de dados menos significativo (mais à direita) é sempre transmitido primeiro. Se a mensagem possuir paridade, o bit de paridade vem depois dos bits de dados porém antes do bit de parada. Para enviar uma informação de 7 bits, é necessário um *frame* contendo 10 bits, nesse caso a eficiência de transmissão é de 70% (Santos, 2010).

A figura 16 apresenta uma estrutura de *frame* típico da comunicação serial UART para transmissão de uma mensagem com bit de paridade.

Figura 16 – **Estrutura do *frame* UART**

BIT #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	START BIT	5-8 DATA BITS								PARITY BIT	STOP BIT
	START	DATA 0	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	DATA 6	DATA 7	PARITY	STOP

FONTE: Santos (2010)

Em *idle* (sem tráfego de mensagens), o estado do barramento permanece em nível lógico 1 (energizado). Esta é uma herança histórica da telegrafia, em que a linha é mantida energizada para diagnosticar que o barramento e o transmissor não estão danificados. Cada mensagem é enviada com um bit de início no nível lógico 0, um número configurável de bits de dados (geralmente 8, porém os usuários podem escolher entre 5 a 9 bits dependendo do modelo de UART em uso), um bit de paridade opcional caso o número de bits por personagem escolhido não seja de 9 bits e um ou mais bits de parada. (Santos, 2010).

O bit de início sinaliza ao receptor que uma nova mensagem está por vir. Os próximos 5-9 bits utilizados, representam os dados da mensagem. Se um bit de paridade está sendo utilizado, o mesmo é colocado após o último bit de dados. Os próximos um ou dois bits estão sempre no nível lógico 1 e são denominados bits de parada. Eles sinalizam ao receptor que a mensagem está concluída. Uma vez que o bit de início é sempre nível lógico baixo (0) e o bit de parada é nível lógico alto (1), existe sempre pelo menos duas mudanças de níveis lógicos garantidos entre as mensagens. (Santos, 2010).

Se a linha de transmissão for mantida na condição de nível lógico baixo (0) durante um período de tempo maior que a duração de um *frame* padrão, esta condição é detectada pelo diagnóstico da UART e classificada como de ruptura do barramento. (Santos, 2010).

A transmissão do *frame* ocorre assim que os dados são depositados no registrador de deslogamento (*shift register*) após a conclusão da mensagem precedente, o *hardware* do UART gera um bit de início, desloca o número necessário de bits de dados para a linha, gera e anexa os bits de paridade (se utilizado) e adiciona os bits de parada. Como a transmissão de uma única mensagem pode demandar um tempo elevado em relação a velocidade do microcontrolador, o UART manterá uma sinalização (*flag*) ativa indicando o estado ocupado para que o sistema não deposite uma nova mensagem para transmissão até que a anterior tenha sido concluída, esta ação também pode ser realizada utilizando uma interrupção. Uma vez que a operação *full-duplex* permite que as mensagens sejam enviadas e recebidas ao mesmo tempo, as UARTs utilizam dois registradores de deslocamento para diferentes mensagens transmitidas e recebidas. (Santos, 2010).

### 3.3 PROTOCOLO LIN

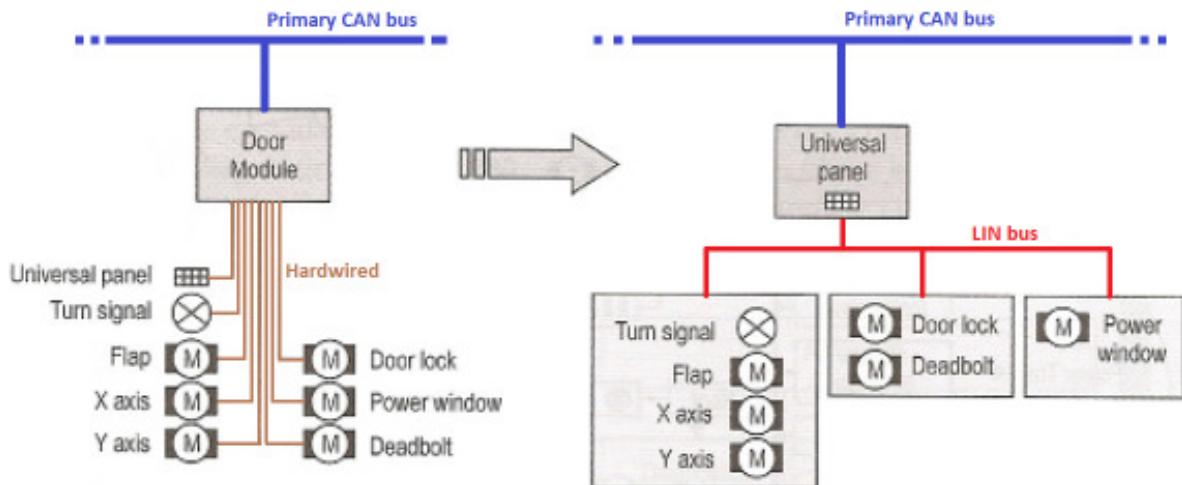
O protocolo *Local Interconnect Network* (LIN) foi desenvolvido em 1988 pelo consórcio formado pelas empresas Audi, BMW, Mercedes-Benz, Volvo e Volkswagen, baseados na tecnologia Motorola, com o objetivo de desenvolver um protocolo aberto e com baixo custo de implementação, para aplicações onde a versatilidade e a largura de banda proporcionada pelo protocolo CAN não eram necessárias (National Instruments, 2011).

Por volta de 1999, foi lançado a primeira especificação do protocolo denominada LIN 1.0. Em 2002 foi liberada a versão LIN 1.3 com alterações na camada física e em seguida a versão LIN 2.0 com principais modificações nas características de diagnose. Atualmente o protocolo está na versão LIN 2.1 e, mesmo com o término do consórcio, o protocolo continua aberto para possíveis melhorias. De acordo com a padronização definida pela SAE, o LIN é uma rede do tipo Classe A (National Instruments, 2011).

A comunicação no LIN é fundamentada na utilização do UART, dispositivo eletrônico que utiliza o método de comunicação serial largamente difundido e disponível em diversos microcontroladores, que dispensa a utilização de controladores de comunicação, onde as ECU's sincronizam-se automaticamente no início da transmissão de cada mensagem.

O protocolo LIN é do tipo serial multiplexado de baixa velocidade, mestre-escravo, determinístico e disparado por tempo (*time-triggered*), com a camada física baseada na ISO9141. Indicado para utilização de sub-rede em sistemas de carroceria, conveniência e conforto em veículos, tais como aquecimento e regulagem de bancos, retrovisores, vidros elétricos, teto solar elétrico, travas elétricas, limpadores de pára-brisas, botões inteligentes, entre outros (Santos, 2010). A figura 17 ilustra a comparação entre uma aplicação implementada com arquitetura elétrica centralizada (*hardwired*) em relação a uma arquitetura elétrica distribuída utilizando rede LIN.

Figura 17 – Arquitetura *Hardwired* versus Arquitetura LIN



FONTE: Santos (2010)

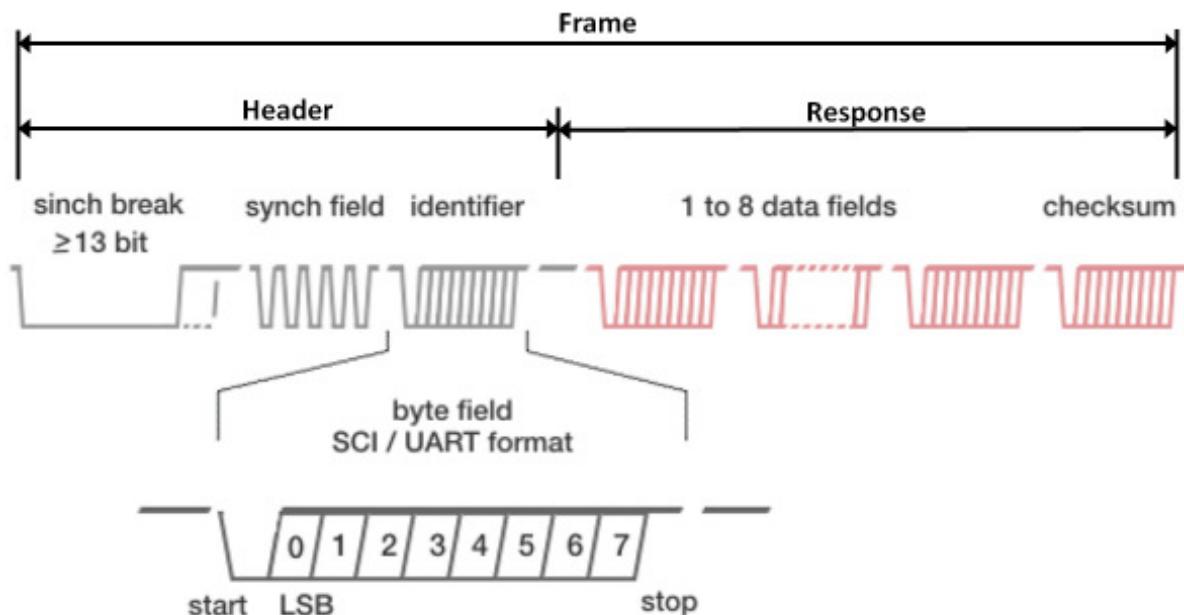
Abaixo estão listadas as principais propriedades e características técnicas da tecnologia LIN:

- Comunicação mestre/escravo, sendo possível um módulo eletrônico mestre para até 16 componentes escravos;
- Utiliza interface baseada no padrão UART, disponível na maioria dos microcontroladores comerciais;
- Somente o mestre possui pulso de sincronização (*clock*), não sendo necessário a utilização de cristais para sincronismo nos escravos;
- Implementação com um único cabo de cobre;
- Velocidade de transmissão máxima de 20kbps;
- Comprimento de barramento limitado a 40 metros;
- Mensagens de 2, 4 ou 8 bytes de dados com 3 bytes de controle;

- Camada física conforme norma ISO 9141;
- Detecção de erros com oito bits de *checksum* (mecanismo para verificação de erros através da soma dos bits da mensagem) e dois bits de paridade no identificador.

No protocolo LIN, um *frame* é constituído por um cabeçalho (*header*) fornecido pela tarefa mestre, e uma resposta (*response*) fornecida pela tarefa escrava. O cabeçalho é dividido em três partes, sendo a primeira parte o intervalo utilizado para marcar o início da mensagem, a segunda parte é o sinal de sincronismo utilizado pelos módulos eletrônicos escravos para sincronização da frequência de *clock* e a terceira parte é o sinal de identificação que indica o endereço da mensagem específica, porém não o seu destino. A resposta é dividida em duas partes, sendo a primeira a mensagem de resposta do módulo escravo que consiste de um a oito bytes de dados e a segunda parte é o *checksum* de oito bits. A figura 18 demonstra de forma detalhada a estrutura do frame LIN (National Instruments, 2011).

Figura 18 – Estrutura do *frame* LIN



FONTE: Santos (2010)

### 3.4 PROTOCOLO CAN

O desenvolvimento do protocolo CAN (*Controller Area Network*) começou originalmente em 1983 pela empresa Robert Bosch GmbH. O mesmo foi lançado oficialmente em 1986 no congresso da SAE ocorrido em Detroit, Michigan USA. Os primeiros circuitos integrados

controladores de CAN fabricados pela Intel e Philips chegaram ao mercado em 1987. A Bosch publicou a especificação do protocolo CAN 2.0 em 1991. Em 2012 a Bosch publicou a melhoria no protocolo da camada de enlace de dados denominado CAN FD, que atende a norma ISO 11898-1 (Santos, 2010).

O barramento CAN é um dos cinco protocolos utilizados na norma de diagnóstico embarcado padrão OBD-II, que tornou-se obrigatório para todos os carros e caminhões leves vendidos nos Estados Unidos desde 1996. A norma EOBD passou a ser obrigatória para todos os veículos movidos a gasolina vendidos na União Européia desde 2001 e para todos os veículos movidos a diesel desde 2004 (Santos, 2010).

O protocolo CAN é um padrão de comunicação serial síncrono, onde o sincronismo entre as ECUs conectadas na rede é realizado em relação ao início de cada mensagem enviada ao barramento, ocorrendo em intervalos de tempo conhecidos e regulares. Trabalha baseado no conceito multi-mestre, onde todos os módulos eletrônicos podem se tornar mestre em determinado momento e escravo em outro, além das mensagens serem enviadas em regime *multicast*, caracterizado pelo envio de qualquer mensagem para todos os módulos eletrônicos existentes na rede. Ou seja, permite que dispositivos e módulos eletrônicos se comuniquem entre si sem a necessidade da presença de um gerenciador da rede, sendo um protocolo baseado em mensagens (Santos, 2010).

É fundamentado no conceito *CSMA/CD with NDA*<sup>1</sup>, isso significa que não existe destruição de mensagens. Todos os módulos eletrônicos são capazes de enviar e receber mensagens, mas não simultaneamente. Se o barramento está em *idle*, quaisquer ECUs podem iniciar a transmissão de um *frame*. Se uma ou mais ECUs começam a enviar mensagens ao mesmo tempo, a mensagem que possuir o identificador de mensagem (*frame ID*) dominante (com o maior número de bits de prioridade) irá sobrescrever as demais mensagens com menor prioridade. Portanto somente a mensagem com maior prioridade continuará na rede e será transmitida a todos os módulos eletrônicos conectados no barramento. Esse mecanismo é denominado prioridade do barramento baseada na arbitrariedade (*priority based bus arbitration*), onde os *frames* com menores valores de identificação possuem maior prioridade e são transmitidos primeiros (Santos, 2010).

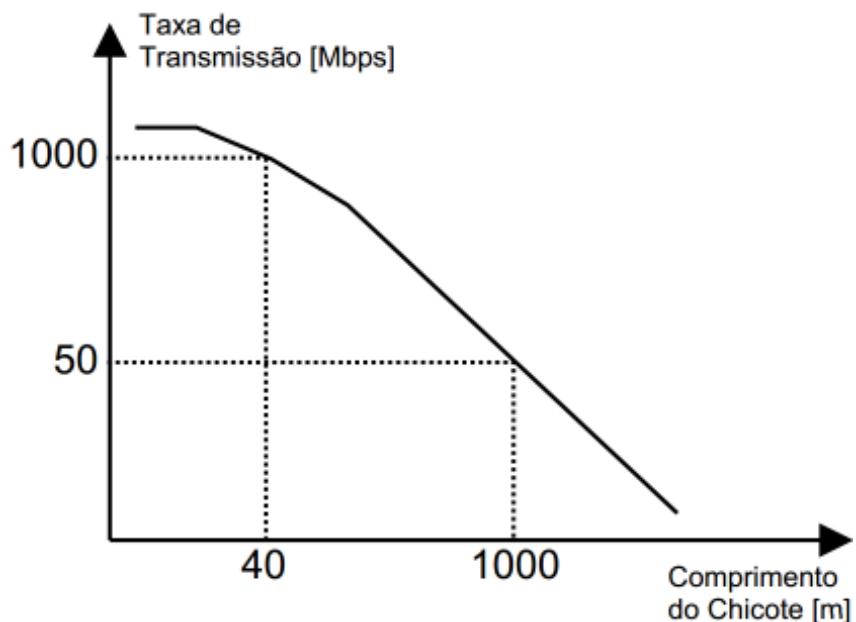
---

<sup>1</sup> *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection with Non-Destructive Arbitration*

Uma mensagem é composta principalmente de um identificador (ID) que representa a prioridade da mensagem e até oito bytes de dados. O aperfeiçoado CAN FD extende o comprimento dos dados para até 64 bytes por *frame*. Este padrão de sinal é codificado utilizando a metodologia NRZ<sup>1</sup>, onde cada bit transmitido representa efetivamente um dado da mensagem e não o barramento sem operação efetiva (Santos, 2010).

A velocidade de transmissão dos dados é inversamente proporcional ao comprimento do barramento. A maior taxa de transmissão especificada é de 1Mbit/s considerando uma rede com até 40 metros de comprimento. Diminuir a velocidade de transmissão permite alcançar maiores comprimentos da rede (por exemplo 500 metros a 125kbit/s). O melhorado CAN FD extende a velocidade da sessão de dados em um fator de até 8 em relação a taxa de bits arbitrário. A Figura 19 representa a relação entre o comprimento da rede e a taxa de transmissão dos dados (Guimarães, 2002).

Figura 19 – **Taxa de transmissão versus comprimento dos cabos elétricos**



FONTE: Guimarães (2002)

Os fundamentos do CAN são regidos por duas normas: a ISO11898 e a ISO11519-2, onde ambas especificam as camadas físicas e de dados. A tabela 05 demonstra a classificação de alguns protocolos CAN de acordo com a taxa de transmissão dos dados (velocidade) e construção física do barramento (Bosch Automotive, 2012).

<sup>1</sup> Non Return to Zero

Tabela 05 – Tipos de protocolo CAN

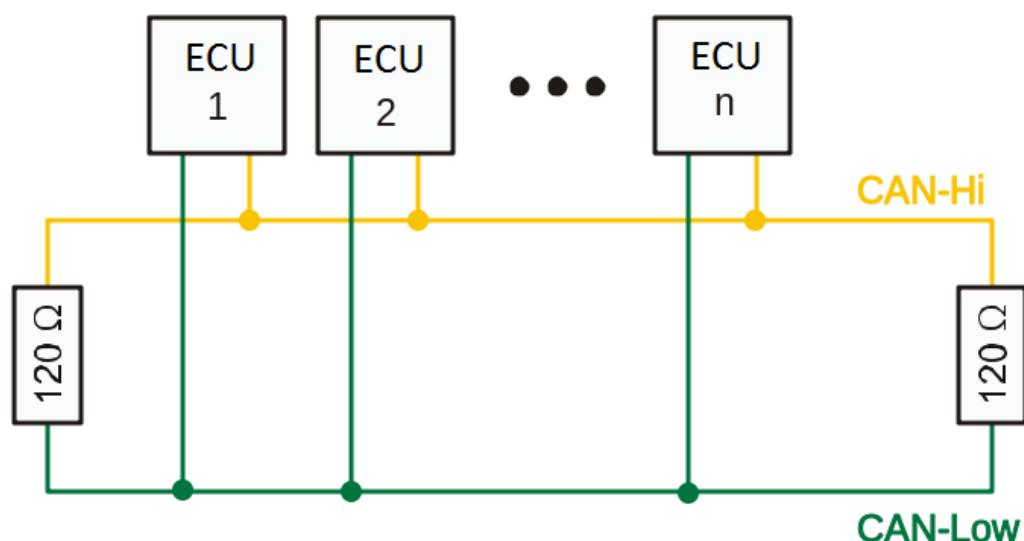
Norma	Nomenclatura	Taxa de Transmissão	Construção do Barramento
<b>ISO 11989-2 : 2003</b>	High-Speed CAN	1Mbps	Par de fios Trançado
<b>ISO 11989-3 : 2006</b>	Low-Speed CAN	40k - 125kbps	Fio simples
<b>ISO 11989-4 : 2004</b>	Time-Triggered CAN	1Mbps	Par de fios Trançado
<b>ISO 11989-5 : 2007</b>	High-Speed CAN with low power mode	1Mbps	Par de fios Trançado

FONTE: O Autor

A construção física de um barramento depende diretamente do padrão CAN adotado na arquitetura, podendo ser: Com apenas um cabo de cobre, com 2 cabos de cobre trançados transportando os sinais diferenciais CAN\_H e CAN\_L ou ainda com 4 cabos de cobre trançados que conduzem, além dos sinais CAN\_H e CAN\_L, a tensão de alimentação Vcc e o aterramento GND (Guimarães, 2002).

Para o perfeito funcionamento do barramento, a rede de comunicação CAN deve possuir dois resistores terminadores, com o valor de 120 ohms cada, conectados nas extremidades dos cabos elétricos do barramento para garantir a perfeita propagação dos sinais elétricos. A figura 20 ilustra um barramento CAN com resistores de terminação (Guimarães, 2002).

Figura 20 – Topologia CAN com resistores de terminação

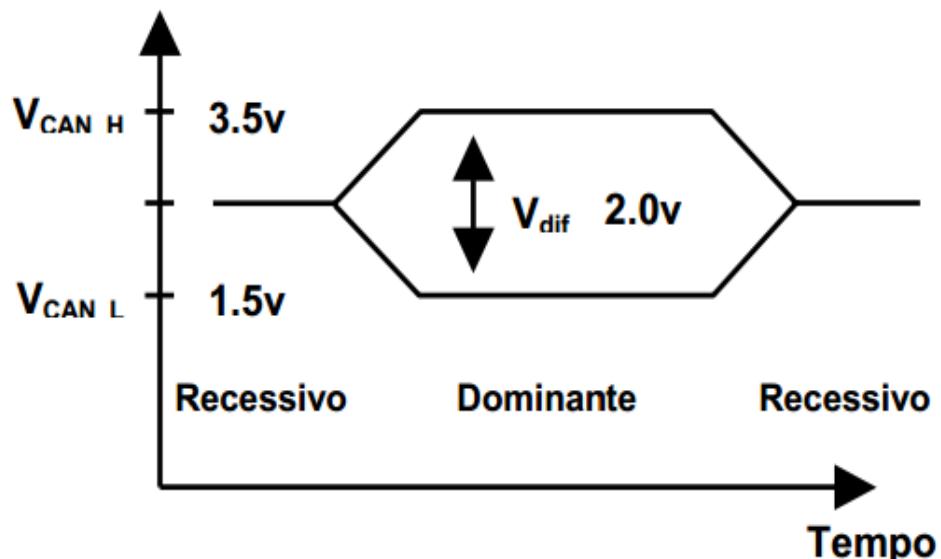


FONTE: Bosch Automotive (2012)

O conceito de par trançado diferencial elimina os efeitos gerados por interferências eletromagnéticas externas a rede, uma vez que quaisquer indução elétrica sobre um dos cabos será também sentida pelo outro, causando flutuação nos sinais elétricos de ambos para o mesmo sentido e com a mesma intensidade. Como as ECUs decodificam as mensagens baseado na diferença de potencial entre os fios, a comunicação não é prejudicada (Santos, 2010).

No protocolo CAN, os dados não são representados por bits em níveis lógicos “0” ou “1”, mas sim através de níveis de tensão diferencial representados por bits dominantes e bits recessivos, transmitidos pelos cabos CAN\_H e CAN\_L (Guimarães, 2002). A figura 21 demonstra os níveis de tensão em um barramento CAN e os bits dominantes (com diferença de tensão entre os circuitos do barramento) e recessivos (mesmo valor de tensão em ambos os circuitos do barramento).

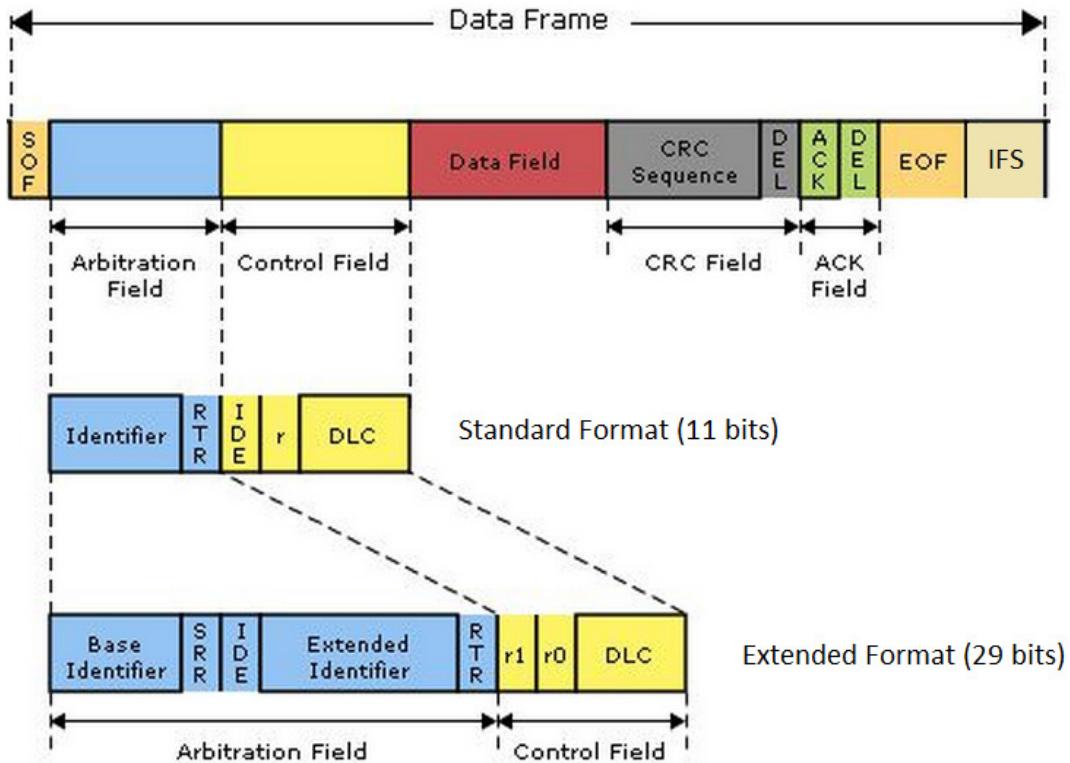
Figura 21 – Níveis de tensão no barramento CAN



FONTE: Guimarães (2002)

O *frame* do protocolo CAN pode ser configurado em dois formatos. O CAN 2.0A possui o comprimento do identificador com 11 bits, sendo possível ter até 2.048 mensagens. O CAN 2.0B possui o comprimento de 29 bits no identificador, permitindo ter até 537 milhões de mensagens, diminuindo a limitação proporcionada pelo identificador de apenas 11 bits porém aumentando o tempo de transmissão da mensagem. A figura 22 apresenta a diferença entre o *frame* padrão CAN 2.0A e o *frame* padrão CAN 2.0B (Bosch Automotive, 2012).

Figura 22 – Estruturas de mensagem CAN (padrão e estendido)



FONTE: Bosch Automotive (2012)

Abaixo estão descritas as características relativas aos campos do *frame* CAN (Bosch Automotive, 2012):

- **SOF (star of frame):** Indica o início da transmissão da mensagem.
- **Identifier:** Identificador dos dados e também representa a prioridade da mensagem.
- **RTR (Remote Transmission Request):** Identifica se o *frame* é de dados ou remoto, utilizado no identificador de 11 bits.
- **SRR (Substitute Remote Request):** Substitui a função do RTR para o identificador de 29 bits.
- **IDE (Identifier Extension):** Declara se o identificador da mensagem é de 11 bits ou 29 bits. O bit dominante (0) indicam 11 bits de ID enquanto o recessivo (1) indica ID de 29 bits.
- **R0, R1:** Bits reservados, devem ser ajustados para transmitir como dominante (0).
- **DLC (Data Length Code):** Declara o número de bits no campo de dados.
- **Data:** Contém os dados/informação da mensagem.

- CRC (*Cyclic Redundancy Check*): Utilizado pelo receptor para verificar a integridade da sequência de bits dos dados durante a transmissão.
- CRC Del (*CRC Delimiter*): Deve ser transmitido recessivo (1).
- ACK (*Acknowledge*): Campo para confirmação da mensagem recebida sem erros, enviado pela ECU receptora da mensagem.
- ACK Del (*ACK Delimiter*): Deve ser transmitido recessivo (1).
- EOF (*End of Frame*): Marca o final da mensagem, deve ser transmitido recessivo (1).

### 3.5 PROTOCOLO J1587/1708

O protocolo J1587/J1708 é um padrão de comunicação e diagnóstico automotivo do tipo serial diferencial, *half-duplex*, multi-mestre, com velocidade de transmissão típica de 9600bps, de baixo custo e complexidade. Desenvolvido em 1986 pela SAE para aplicação em veículos comerciais (caminhões, ônibus e vans) com o objetivo de garantir a consistência nos dados dos módulos eletrônicos provenientes de diferentes fornecedores. O J1587 é a camada de aplicação utilizada em conjunto com o J1708 que especifica as características físicas do *hardware* para comunicação (Santos, 2010).

Esse padrão descreve o formato de mensagens nos identificadores MID, PID, byte de dados e soma final de verificação (*checksum*). O comprimento da mensagem é limitado a 21 bytes de acordo com as restrições do protocolo J1708 (Santos, 2010).

O MID<sup>1</sup> é o primeiro byte do frame da mensagem, no intervalo de 128 a 255, e identifica qual ECU está direcionada a mensagem.

O PID<sup>2</sup> possui um byte de comprimento e identifica o parâmetro da mensagem, sendo seguido por um número de bytes contendo os dados do parâmetro. Um mesmo *frame* pode conter vários PIDs associados.

O *Checksum* executa o cálculo em complemento de 2 dos bytes transmitidos no *frame* para verificar se a mensagem foi recebida corretamente.

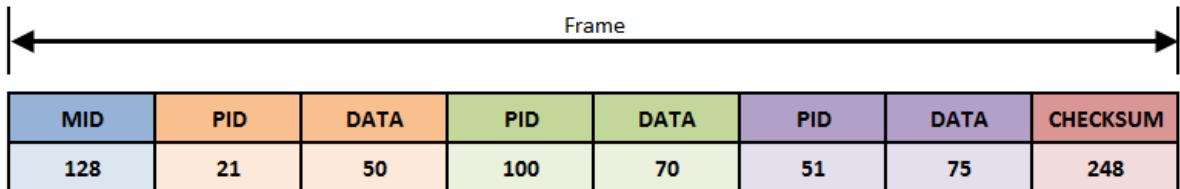
A figura 23 apresenta uma estrutura do *frame* J1587 contendo três PIDs e seus respectivos dados de informação.

---

<sup>1</sup> *Message Identification*

<sup>2</sup> *Parameter Identification*

Figura 23 – Estrutura de mensagem J1587



FONTE: Santos (2010)

Essa mensagem transmite as seguintes informações:

MID 128 --- Módulo eletrônico do motor (ECM).

PID 21 --- Parâmetro da temperatura do líquido do arrefecimento.

Data 50 --- Valor da temperatura do líquido do arrefecimento igual a 125°F.

PID 100 --- Parâmetro da pressão do óleo do motor.

Data 70 --- Valor da pressão do óleo do motor igual a *normal state*.

PID 51 --- Parâmetro da posição do corpo da borboleta (*throttle position*).

Data 75 --- Valor da posição do corpo da borboleta igual a 50%.

A SAE e a *Data Format Subcommittee* padronizaram todos os componentes eletrônicos embarcados nos veículos com seu respectivo MID e todos os parâmetros de funcionamento com seu respectivo PID. Os dados alfanuméricos são decodificados de acordo com o padrão ISO 8859-1, os valores inteiros são enviados no formato complemento de dois e as temperaturas (em graus *fahrenheit*) e os números em ponto flutuante são interpretados conforme os padrões IEEE (Santos, 2010).

### 3.6 PROTOCOLO J1939

A família de normas J1939 foi desenvolvida pelo comitê de controle e comunicações via rede, que se reporta ao Conselho de Elétrica e Eletrônica para caminhões e ônibus da SAE. Os participantes desse comitê incluem montadoras OEM, fornecedores, empresas de consultoria, agências governamentais e outras comunidades envolvidas na indústria de caminhões e ônibus. O protocolo SAE J1939 foi originalmente publicado em abril de 2000, sendo revisado em 2003, 2005, 2007, 2009, 2010 e mais recentemente em abril de 2011 (SAE International, 2014).

De acordo com a SAE (2014) as características e o objetivo do protocolo J1939 são:

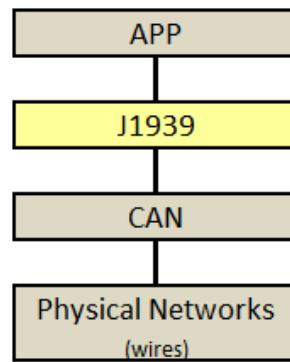
*The SAE J1939 communications network is a high speed ISO 11898-1 CAN-based communications network that supports real-time closed loop control functions, simple information exchanges, and diagnostic data exchanges between Electronic Control Units (ECUs), physically distributed throughout the vehicle.*

*The SAE J1939 common communication architecture strives to offer an open interconnect system that allows ECUs associated with different component manufacturers to communicate with each other.*

O protocolo SAE J1939 substitui os protocolos SAE J1587/J1708, que foram utilizados nos veículos comerciais médios, pesados e ônibus durante os últimos 20 anos. Atualmente o J1939 é utilizado como o protocolo de comunicação padrão para aplicações de diagnóstico e controle de veículos comerciais e ônibus. Devido à sua popularidade e sucesso, foi também adotado pelas indústrias agrícolas (ISO 11789) e marinha (NMEA2000). Devido a sua confiabilidade e padronização, compete diretamente com os protocolos ISO 15765 e CANopen (Simma Software, 2009).

O SAE J1939 é um protocolo de comunicações de alto nível, que opera baseado no barramento CAN 2.0B. Especificando exatamente como a informação (por exemplo, a rotação do motor) é trocada entre as unidades de controle eletrônico (ECU) em um veículo. A figura 24 demonstra a correlação entre o padrão J1939 e o barramento CAN (Simma Software, 2009).

Figura 24 – Correlação entre J1939 e CAN



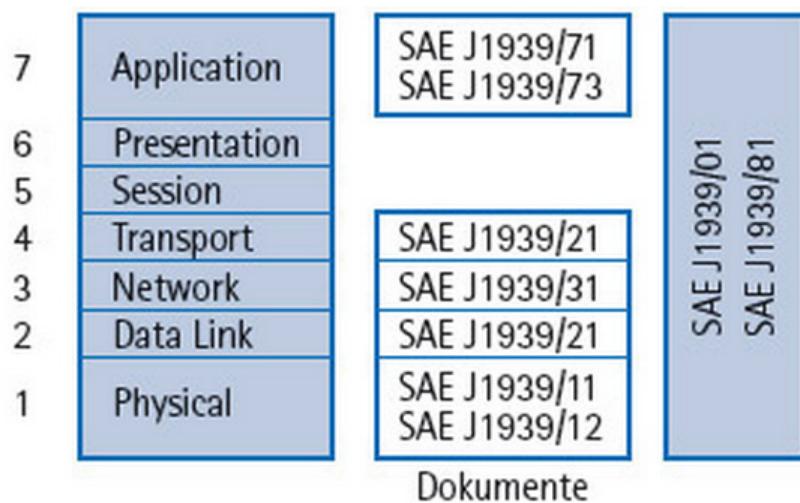
FONTE: Simma Software Inc. (2009)

Ele define a prioridade dos dados, tamanho, escala e deslocamento. Por exemplo, J1939 especifica que o RPM do motor tenha como padrão a prioridade 3, comprimento de dados de 16 bits, resolução de 0,125 rpm/bit e um *offset* de 0.

A norma vai além e define muitos outros parâmetros, incluindo o tempos de espera das mensagens, como as mensagens grandes são fragmentadas e remontadas, a velocidade da rede, a camada física e como os aplicativos adquirirem endereços de rede (Santos, 2010).

O SAE J1939 define cinco camadas no modelo OSI e este inclui a especificação da rede CAN 2.0B (com 29 bits no campo *data id* da mensagem) para as camadas físicas e de enlace de dados. As camadas de sessão e de apresentação não são especificados pela norma, conforme pode ser observado na figura 25. Nela estão relacionados todos os documentos escritos pela SAE relacionados ao padrão J1939 (Ixxat Automation, 2014).

Figura 25 – Especificação do padrão SAE J1939



FONTE: Ixxat Automation (2014)

O centro do J1939 é o Número do Grupo de Parâmetro (PGN), similar ao ID no protocolo CAN, é um número único atribuído a cada mensagem J1939. O PGN serve para identificar a mensagem e os seus dados. Embora as vezes uma mensagem irá conter um único parâmetro (por exemplo o VIN), tipicamente o PGN irá conter um grupo de parâmetros. No padrão existe um total de 8.672 PGNs. Por exemplo, a mensagem PGN 61.444 identifica o "Controlador Eletrônico Motor Mensagem 1". Por especificação, "EEC1" possui sete parâmetros diferentes incorporados no campo de dados da mensagem. O RPM do motor é um desses sete parâmetros (Santos, 2010).

O J1939 possui três diferentes tamanhos de mensagem permitidos, são eles: 3 bytes, 8 bytes, e comprimento variável. Existe apenas uma mensagem que possui três bytes de comprimento, sendo a mensagem de solicitação (PGN 59.904).

A maioria das mensagens em J1939 possuem 8 bytes de comprimento. Isto permite uma maior eficiência na utilização da largura de banda da rede, maximizando a quantidade de dados na rede, através da redução no número de mensagens (Santos, 2010).

Mensagens de comprimento variável são *frames* com comprimento de 9 a 1.785 bytes. Essas mensagens são grandes demais para caberem em um único *frame* de dados e devem ser fragmentado pela transmissor e remontada pelo receptor. Este processo é definido pelo protocolo de transporte, especificada pela norma J1939-21 (Santos, 2010).

De acordo com a SAE, existem duas camadas físicas com 250 Kbps definidas, J1939-11 e J1939-15. A norma J1939-14 com uma camada física de 500 Kbps está em desenvolvimento.

- J1939-11 especifica um par trançado blindado de fios com um comprimento máximo de *backbone* de 40 metros. Ele usa um conector de três pinos e permite até 30 ECUs.
- J1939-15 especifica um par trançado de fios com um comprimento máximo de *backbone* de 40 metros. Ele usa um conector de dois pinos e permite até 10 ECUs.

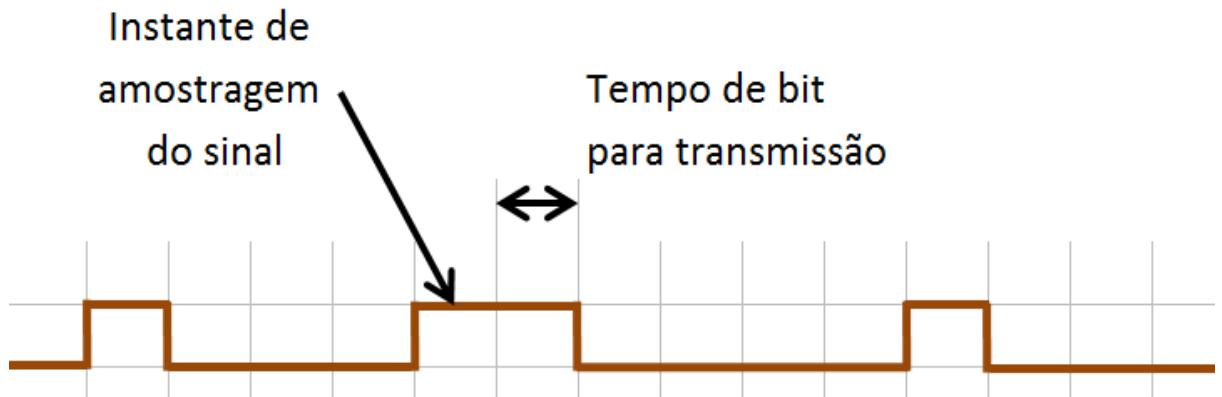
### 3.7 PROTOCOLO VAN

A tecnologia VAN (*Vehicle Area Network*) foi desenvolvido pelas empresas francesas PSA Peugeot-Citroen e Renault. Consiste em um protocolo de comunicação serial capaz de suportar velocidades de transmissão de até 125kbps, sendo padronizado pela norma ISO 11519-3 (Santos, 2010).

Possui uma estrutura em camadas com um barramento de tensão diferencial com os estados dominantes e recessivos de sinalização. A codificação dos bits de dados é do tipo *Enhanced Manchester*, o que a diferencia de todos os demais protocolos existentes (Santos, 2010).

As redes de comunicação do tipo difusão possuem um mecanismo de propagação serial dos bits com um sinal de informação elementar indicando o início de transmissão do *frame*. O receptor deve utilizar seu pulso de *clock* na mesma frequência do transmissor e escolher o instante da leitura de um bit, porém esse instante de amostragem deve estar entre 25% e 75% do tempo após o início do bit, caso contrário ocorrerá erro na leitura da mensagem. A figura 26 apresenta o instante de amostragem do sinal (Santos, 2010).

Figura 26 – Instante de amostragem e tempo de bit para transmissão



FONTE: Santos (2010)

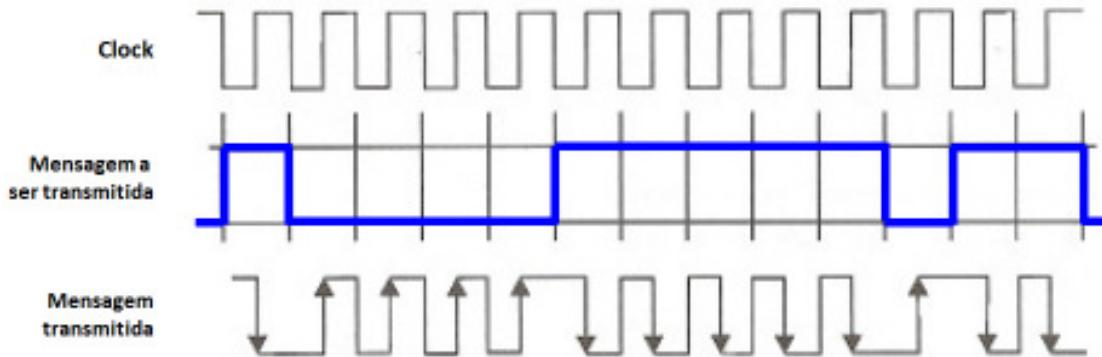
As ECUs automotivas raramente possuem relógios sincronizados e operando na mesma velocidade, o que dificulta o sincronismo em tarefas distribuídas. A falta de sincronismo entre o emissor e receptor pode levar a interpretações erradas durante o processo de transmissão da mensagem (Santos, 2010).

Para solucionar o paradigma do sincronismo, o receptor deve ser capaz de usar as mudanças de estado do sinal de forma a detectar e sincronizar o processo de recepção da mensagem. O transmissor mistura o seu sinal de *clock* para enviar a mensagem, considerando o período de transmissão e o instante de amostragem. Esse mecanismo substitui o nível de tensão da informação por bordas do sinal da seguinte forma (Santos, 2010):

- O bit 1 é representado por uma borda de descida.
- O bit 0 é representado por uma borda de subida.

A informação transportada no barramento não inclui mais um nível de tensão de corrente contínua, mas sim um conjunto de sinais representado por mudanças de estado baseado no pulso de *clock* do transmissor, conforme indica a figura 27.

Figura 27 – Mecanismo de transmissão do *frame* por transição de sinal

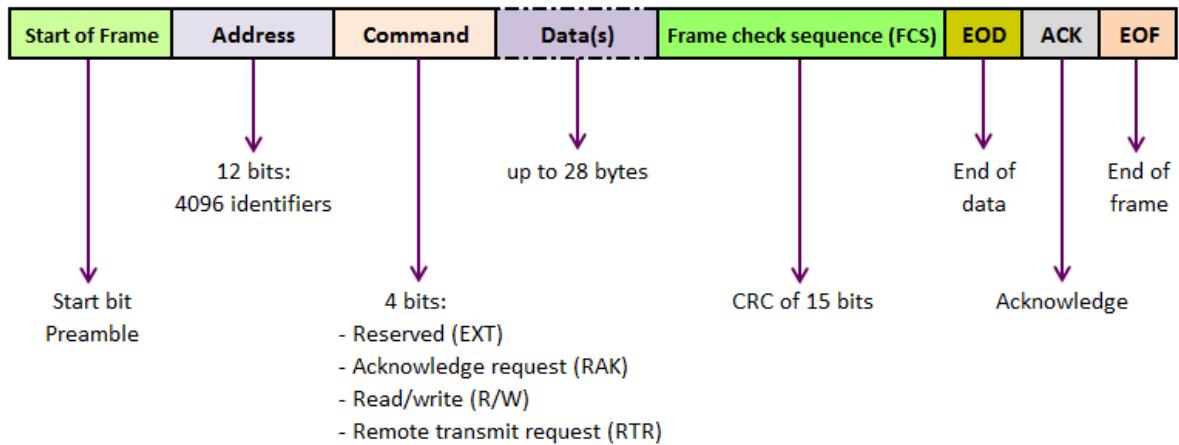


FONTE: Santos (2010)

Este é o mecanismo de transmissão de sinais utilizado pelo padrão VAN. No caso do Manchester, a codificação dos dados de base é transmitida em uma frequência cujo valor é a metade do *clock* e utiliza o mecanismo de *stuff bit* para detecção e correção de erros simples. (Santos, 2010)

Um *frame* do protocolo VAN é composto por oito campos, conforme demonstra a figura 28.

Figura 28 – Estrutura do *frame* VAN



FONTE: Santos (2010)

- *Preamble*: É um campo fixo utilizado pelas ECUs para identificar o início do *frame* e sincronizarem seus *clocks*.
- *Address*: É o campo que contém o endereço do destinatário do *frame*.
- *Command*: É o campo que fixa o câmbio sobre a rede.

- **Data:** Campo destinado para o transporte das informações.
- **FCS:** Campo que contém a sequência de controle, que verifica a integridade dos dados.
- **EOD:** Campo que sinaliza o fim do campo de dados.
- **ACK:** É o mecanismo de reconhecimento do recebimento de uma mensagem.
- **EOF:** É o campo que delimita o final do *frame* transmitido.

### 3.8 PROTOCOLO K-LINE

O protocolo K-Line é o mais antigo para interface de diagnóstico da Europa, sendo normatizado pela ISO 9141 no final da década de 80. Consiste em um protocolo de comunicação para transmissão de dados através de um ou dois cabos como barramento. É compatível com o padrão UART/SCI e opera a uma taxa de transmissão de 10,4kbit/s e comprimento máximo do *frame* de 11 bytes, com mecanismo de detecção de erro em *checksum* de 8 bits. É geralmente utilizado para comunicação entre as ECUs e o equipamento de diagnóstico, conectado a tomada DLC do veículo (Emotive, 2011).

Seu padrão comprehende principalmente as propriedades elétricas, o tipo de transmissão de bits e o tipo de encontro (*rendezvous*). Inicialmente, o protocolo de diagnóstico propriamente dito não foi especificado, sendo definido por cada um dos fabricantes OEM. Em 1994, a União Europeia e a legislação de emissões americano na forma da interface de diagnóstico padronizaram a forma de se efetuar o diagnóstico. Como resultado, foi especificado e padronizado o OBD-2 para diagnóstico *on-board*, e o KWP 2000 para os diagnósticos gerais do veículo, conforme pode ser observado na tabela 06 (Emotive, 2011).

**Tabela 06 – Padronização do K-Line**

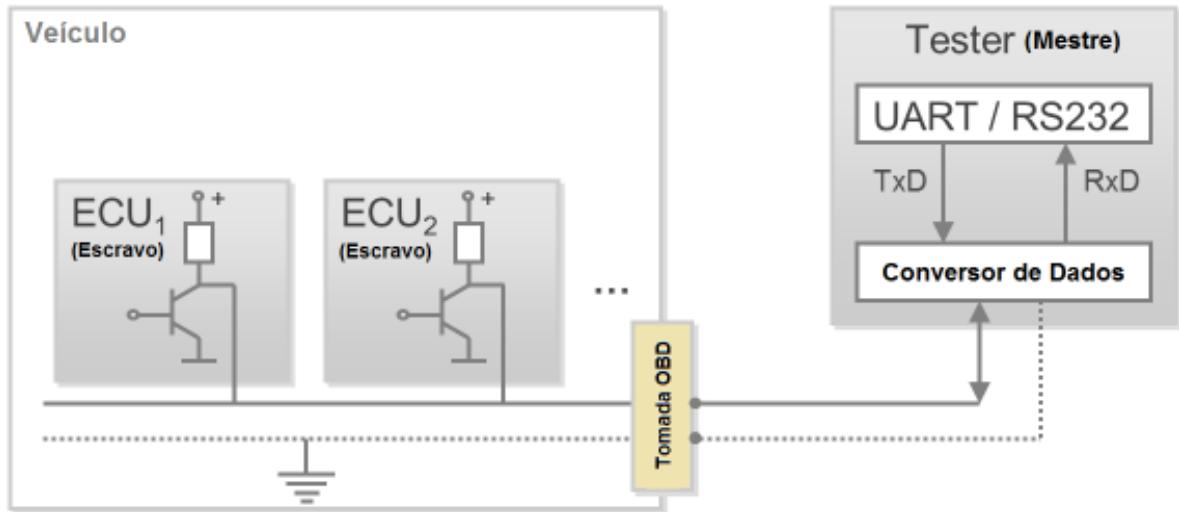
<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
<b>ISO 14230-3</b>	Camada Física do KWP2000 (Compatível com ISO 9142-2)
<b>ISO 14230-2</b>	Camada do Link de Dados
<b>ISO 14230-1</b>	Camada de Aplicação (Instruções de Execução)
<b>ISO 14230-4</b>	Limitações Físicas e Camada do Link de Dados para EOBD

FONTE: Emotive Gmbh (2011)

A interface K-line utiliza um protocolo baseado em caracteres com um fio bidirecional de barramento. A camada física é similar ao barramento LIN, trabalhando com níveis de tensão

da bateria. Opcionalmente, pode existir uma linha de comunicação adicional no barramento denominada L-Line. A figura 29 apresenta a topologia do barramento K-Line.

Figura 29 – Topologia do barramento K-Line



FONTE: Emotive Gmbh (2011)

O protocolo de comunicação para diagnóstico é essencialmente um protocolo mestre-escravo. O equipamento de diagnóstico é o mestre e envia as solicitações (*requests*). Um ou mais módulos eletrônicos conectados ao barramento como escravos devem responder com uma mensagem de resposta correspondente (*response*). No caso do OBD, a taxa de transmissão é fixa em 10,4 kbit/s (Emotive, 2011).

O protocolo K-Line é fácil de implementar. Tanto na ECU quanto no equipamento de teste é baseado inteiramente em *software*. O único componente de *hardware* necessário é uma UART, que atualmente está disponível praticamente em todos os microcontroladores (Emotive, 2011).

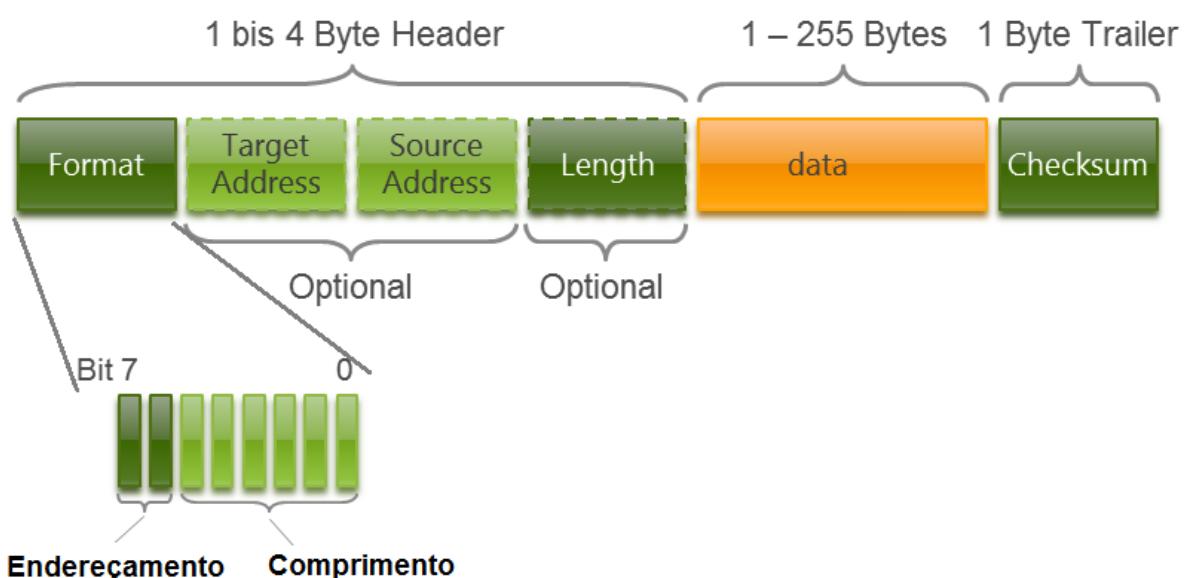
Em contraste com o protocolo CAN, o qual pode enviar um comando (*control device*) a qualquer momento, o protocolo K-Line deve em primeiro lugar estabelecer uma conexão com a ECU, somente após essa ação que poderá ocorrer a troca de dados. Além disso, no final da ligação a conexão tem que ser desmantelada (Emotive, 2011).

Existem dois métodos para estabelecer a conexão: Primeiro e mais recente, chamado *fast-stimulation* que foi padronizado apenas no protocolo KWP 2000. O equipamento de teste envia uma mensagem para a ECU, que responde com uma série de bytes que contêm um

componente principal chamado *keyword*. Com esse *keyword*, o equipamento de diagnóstico consegue decodificar a mensagem. Este método só funciona com a taxa de transmissão fixa em 10,4kbit/s, conforme determinado pela norma EOBD (Emotive, 2011).

O outro método para sistemas que utilizam uma taxa de transmissão diferente e em sistemas mais antigos, é utilizado a estimulação de mensagens (*Baudreizung*). Levando um tempo elevado em torno de 2,5 segundos para comunicação. O equipamento de diagnóstico se comunica com a ECU inicialmente com taxa de transmissão de 5 baud. Eles trocam informações utilizando a *keyword* através do protocolo de comunicação e taxa de transmissão. Caso a ECU não responda, a taxa de transmissão deve ser reduzida pelo equipamento de teste para um valor o qual a ECU suporte. A figura 30 apresenta a estrutura de um *frame* padrão K-line (Emotive, 2011).

Figura 30 – Estrutura do *frame* K-Line



FONTE: Emotive GmbH (2011)

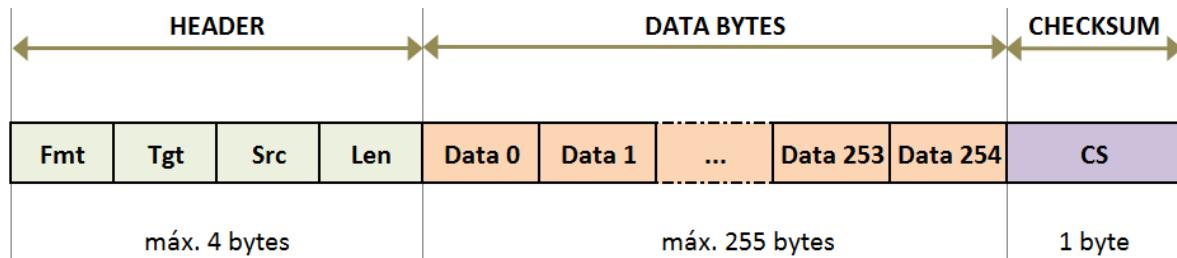
A comunicação segue o procedimento de requisição e resposta (*request-response*). Ou seja, o equipamento de diagnóstico transmite uma solicitação para a ECU e a mesma envia uma resposta. Em ambos os casos, o formato do *frame* é o mesmo. O primeiro byte (*format*) contém informações sobre o formato da mensagem. Os dois bytes seguintes são as informações de endereço e um byte que indica o comprimento dos dados. O campo de dados pode compreender 1-255 bytes, seguido por um byte de *checksum* para a detecção de erros (Emotive, 2011).

### 3.9 PROTOCOLO KWP 2000

O padrão *Keyword Protocol* 2000 é um protocolo de comunicação utilizado para realização de diagnóstico *on-board* e também via equipamento de teste externo. Este protocolo segue a camada de aplicação do modelo OSI, padronizado pela norma ISO 14230 (Santos, 2010).

A estrutura do *frame* no protocolo KWP 2000 é constituído pelo cabeçalho, que possui no máximo 4 bytes, campo de dados com no máximo 255 bytes e 1 byte de *checksum*. A figura 31 apresenta a estrutura da mensagem KWP 2000 (Santos, 2010).

Figura 31 – Estrutura do *frame* KWP 2000



FONTE: Santos (2010)

O campo *Format Byte* (Fmt) possui um byte composto por 6 bits que representam informações (L5 ~ L0) e 2 bits com informações de endereçamento (A1, A0).

O campo *Target Address Byte* (Tgt) consiste no endereço de destino da mensagem aplicado em conjunto com o endereço da fonte, podendo ser físico ou funcional e é necessário em topologias com mais de um módulo eletrônico conectados ao barramento.

O campo *Source Address Byte* (Src) é o endereço físico do dispositivo de transmissão, sendo necessário em topologias com mais de um módulo eletrônico conectados ao barramento.

O campo *Length Byte* (Len) especifica a quantidade de informação em bytes que terão no campo de dados da mensagem.

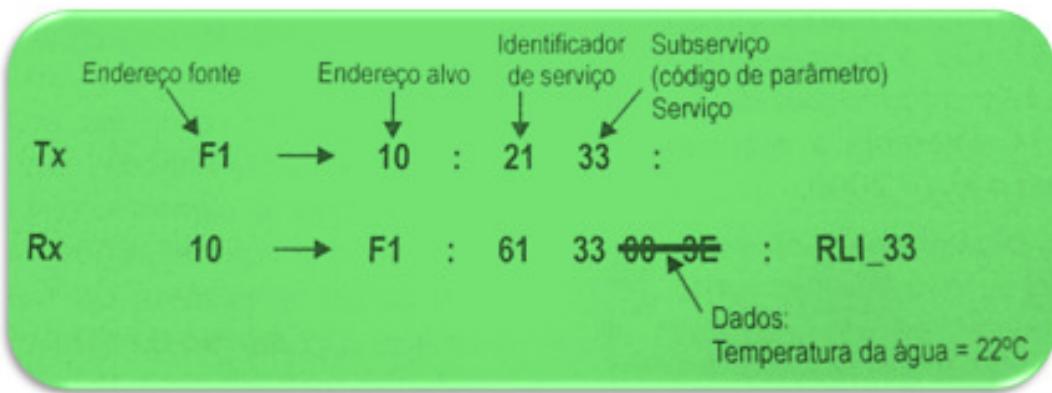
O campo *Data Bytes* pode conter de 63 a 255 bytes de informações, e o primeiro byte é a identificação do serviço, podendo ser seguido por parâmetros e dados.

O campo *Checksum* é o byte de verificação da mensagem, composto pela soma simples de todos os bytes do *frame*, excluindo o *checksum*.

O protocolo de comunicação KWP 2000 é baseado no sistema cliente/servidor, onde o equipamento de teste é o cliente solicitante de serviços e as ECUs são os servidores de informação. O mecanismo de comunicação entre as camadas segue a norma ISO 7498, que especifica o conjunto de padrões abertos para viabilizar a comunicação entre os dispositivos eletrônicos (Santos, 2010).

A figura 32 ilustra a troca de mensagens de diagnose entre o equipamento de teste e o módulo eletrônico conectado ao barramento, onde é possível verificar o testador solicitando o serviço 21 33 e o módulo eletrônico respondendo com a informação desejada (Santos, 2010).

**Figura 32 – Exemplo do fluxo de mensagens para diagnóstico**



FONTE: Santos (2010)

### 3.10 PROTOCOLO J1850

O protocolo J1850 é do tipo classe B e foi desenvolvido em 1994 pela SAE para utilização em diagnóstico e compartilhamento de informações entre módulos eletrônicos. Utilizado principalmente pelas montadoras americanas Chrysler (rede denominada PCI com 10,4kbit/s), General Motors (rede denominada CLASS 2 com 10,4kbit/s) e pela Ford (rede denominada SCP com 41,6kbit/s). É um padrão de transmissão de dados serial baseado em modulação com duas especificações distintas, as principais diferenças podem ser observadas na tabela 07 (Emotive Gmbh, 2011).

- PWM (*Pulse Width Modulation*): Alta velocidade de transmissão com 41,6kbit/s, tensão diferencial e barramento com dois cabos de cobre.
- VPW (*Variable Pulse Width*): Baixa velocidade de transmissão com 10,4Kbit/s, barramento com um único fio podendo ter um comprimento máximo de 35 metros e 32 ECUs.

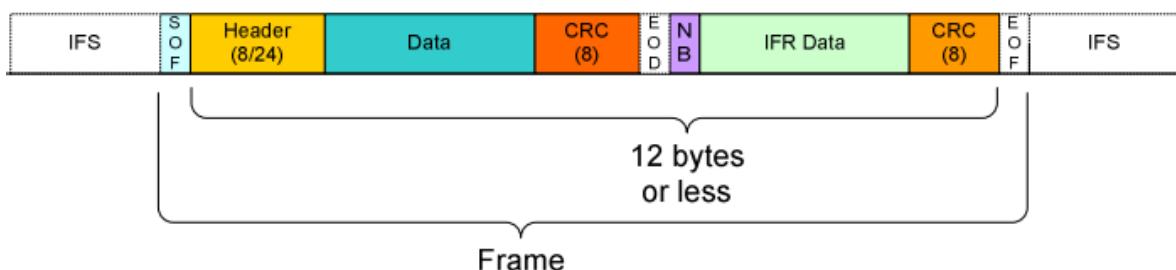
Tabela 07 – Comparação entre J1850 modulação PWM e VPW

Propriedades	SAE J1850 PWM	SAE J1850 VPWM
Utilizado por	Ford	General Motors, Chrysler, Toyota
Codificação de bit	Modulação por Largura de Pulso	Largura de Pulso Variável
Taxa de Transmissão	41,6 kbps	10,4 kbps
Barramento	Par Trançado	Fio Simples
Nível de Sinal	5V diferencial Baixo < 2,2V ; Alto > 2,8V	Vbat Unipolar Baixo < 3,5V ; Alto > 4,5V
Campo de Dados	0 a 8 bytes	
Comprimento da Mensagem	Máximo 101 bits (incluindo <i>Header</i> e <i>Trailer</i> )	
Tipo de Acesso	CSMA/CA	

FONTE: Emotive Gmbh (2011)

O padrão J1850 é assíncrono, sem mestre, ponto a ponto e oferece acesso ao barramento igual para todas as ECUs. A rede é atribuída a cada módulo eletrônico baseado no conceito de arbitragem, processo que determina qual ECUs possui a prioridade de acesso ao barramento quando dois ou mais módulos eletrônicos desejam transmitir mensagens no barramento de forma simultânea (Emotive Gmbh, 2011).

Os *frames* no padrão J1850 são transmitidos na forma de sinais digitais entre os módulos eletrônicos, utilizando o conceito de multiplexação. A variante VPW é o mais adotado pelas montadoras e possui baixa emissão de radiação, compensação para incompatibilidade de *clocks* e *offset* para o aterramento. A figura 33 apresenta a estrutura da mensagem J1850 com IFR e a seguir a descrição de cada um dos campos do *frame* (Emotive Gmbh, 2011).

Figura 33 – Estrutura do *frame* J1850

FONTE: Stone (2008)

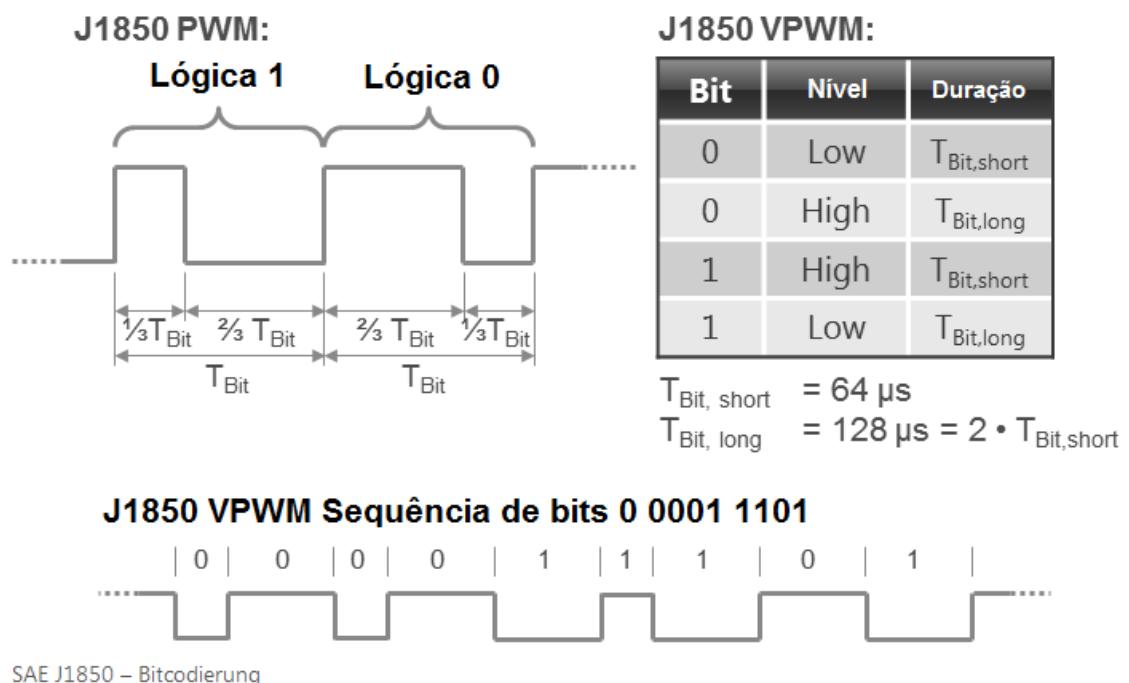
- IFS (*Inter Frame Space*): Espaço entre as mensagens no barramento.
- SOF (*Start of Frame*): O início de qualquer mensagem começa com o período pré-definido denominado SOF, sendo crucial para a detecção do transportador e para fins de arbitragem.
  - *Header*: É o primeiro byte da mensagem. O campo de cabeçalho contém informações fundamentais sobre o que a ECU receptora deve esperar sobre a mensagem que vem a seguir, podendo ser configurado para ter um ou três bytes de comprimento.
  - *Data*: Campo de dados que possui as informações a serem transmitidas.
  - CRC (*Cyclical Redundancy Check*): Mecanismo de controle de erro com verificação de dados e cabeçalho. O *frame*, excluindo o SOF é tratado como se fosse uma única “palavra grande”, essa “palavra grande” é dividido por um polinômio especial gerando o código de verificação.
  - NB (*Normalization Bit*): Bit de normalização da mensagem.
  - EOD (*End Of Data*): Transmitido após o CRC, o EOD consiste em um sinal com 200 $\mu$ s de comprimento e potencial baixo enviado ao barramento.
  - IFR (*In-Frame Response*): Um IFR fornece a informação para a ECU receptora reconhecerativamente a transmissão. Ao final da transmissão, é enviado uma resposta para a ECU transmissora.
  - EOF (*End Of Frame*): Sinaliza o final da mensagem.
  - IFS (*Inter Frame Separation*): Tempo de barramento ocioso, com potencial baixo e duração de 300 $\mu$ s, necessário entre a transmissão das mensagens.

O padrão J1859 não utiliza o processo NRZ para codificação dos bits, mas sim a largura de pulso por sinais modulados. No caso do VPWM, os dados são representados por símbolos, onde o símbolo de bit 1 passivo é uma tensão nível baixo com comprimento de 128 $\mu$ s e o símbolo de bit 1 dominante é uma tensão de nível alto com comprimento de 64 $\mu$ s. Já o símbolo de bit 0 passivo é uma tensão de nível baixo com comprimento de 64 $\mu$ s e o símbolo de bit 0 dominante é uma tensão de nível alto com comprimento de 128 $\mu$ s (Emotive GmbH, 2011).

No caso do PWM, o período do pulso é fixo (tempo do bit) sendo variado o tempo do pulso em nível alto nas proporções de 1/3 para o símbolo de bit 1 e 2/3 para o símbolo de bit 0.

A figura 34 demonstra de forma clara a sistemática de codificação utilizada no padrão J1850, nos formatos PWM e VPW, onde os símbolos são transferidos para o barramento de dados em forma de pulsos elétricos (Emotive Gmbh, 2011).

Figura 34 – Codificação de bit nos padrões J1850 PWM e VPW



FONTE: Emotive Gmbh (2011)

O objetivo do padrão J1850 é garantir tolerância a falhas, uma vez que qualquer perturbação ou erro menor que  $8\mu s$  de duração é filtrado digitalmente como sendo um ruído indesejado. Conforme citado anteriormente, o comprimento da rede dentro do veículo deve ser no máximo de 35 metros e para equipamentos de teste no máximo 5 metros (Santos, 2010).

### 3.11 PROTOCOLO FLEXRAY

O FlexRay é um protocolo de comunicação serial desenvolvido em 1998 através do consórcio formado pelas empresas BMW, Daimler AG, Motorola, Freescale, Philips, Robert Bosch, General Motors e Volkswagen com o objetivo de ser mais rápido e confiável que os protocolos CAN e TTP. Atualmente padronizado pelas normas ISO 17458-1 até 17458-5 (Santos, 2010).

A tecnologia FlexRay é do tipo *time-determinism*, tolerante a falhas, possui taxa de transmissão de até 10Mbit/s, combina sessões síncronas e assíncronas com slots de tempos predefinidos para aplicações em sistemas de segurança crítica tipo *x-by-wire* (Santos, 2010).

A incorporação de um novo protocolo de comunicação no projeto de automóveis demanda tempo e custo. Para otimizar o custo da arquitetura elétrica, os diferentes protocolos de comunicação serão implementados em conjunto no projeto de novos veículos de modo que o FlexRay irá abranger redes complexas que necessitam de comunicação de dados *high-end* e com segurança crítica, o protocolo CAN será utilizado como dominante nas comunicações de *Powertrain* e o padrão LIN para módulos eletrônicos de carroceria com baixa custo e complexidade. A tabela 08 apresenta as diferenças em termos de custo e funcionalidades entre FlexRay, CAN e LIN.

**Tabela 08 – Principais diferenças entre FlexRay, CAN e LIN**

Barramento	LIN	CAN	FlexRay
<b>Velocidade</b>	40 kbps	1 Mbps	10 Mbps
<b>Custo</b>	\$	\$\$	\$\$\$
<b>Quantidade de Cabos</b>	1	2	2 ou 4 ou Óptico
<b>Aplicações típicas</b>	<i>Body Electronics</i>	<i>Powertrain</i>	<i>Active Safety</i>

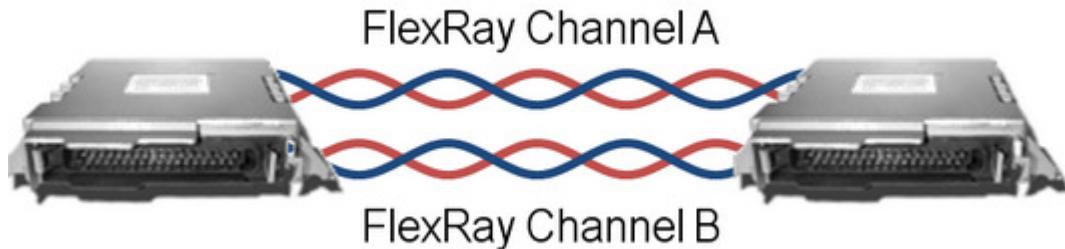
FONTE: National Instruments (2011)

A camada física possui soluções através de meios elétricos e ópticos, na forma de canais de comunicação simples e duplicados com diferentes topologias. O barramento geralmente é composto por um par de cabos trançado sem blindagem para interconectar as ECUs. O FlexRay suporta configurações de canais simples (*single-channel*) e duplo (*dual-channel*), que consistem na forma de um ou dois barramentos respectivamente. A tensão diferencial utilizada em cada par de cabos reduz os efeitos de ruído externo na rede sem a necessidade de utilizar blindagem (National Instruments, 2011).

A configuração de canal duplo (*dual-channel*) oferece melhor tolerância a falhas e/ou aumento na largura de banda de transmissão. A maioria das redes FlexRay de primeira geração utilizavam apenas um canal para manter os custos dos chicotes elétricos reduzido,

porém para aplicações com elevada complexidade e com requisitos de segurança crítica são utilizados ambos os canais. A figura 35 apresenta uma implementação de barramento típica do padrão FlexRay com canal duplo (National Instruments, 2011).

Figura 35– Barramento FlexRay com *dual-channel*



FONTE: National Instruments (2011)

O barramento FlexRay requer resistores terminadores nas extremidades, conectados entre o par de cabos trançados. Apenas as ECUs conectadas no final dos barramentos necessitam terminadores. Excesso ou ausência de terminadores causarão defeitos na rede de comunicação. As redes FlexRay típicas possuem impedância de cabeamento entre  $80\Omega$  e  $110\Omega$  e as resistências de terminação são projetadas para casar com essa impedância (National Instruments, 2011).

Uma das características que distingue FlexRay, CAN e LIN dos demais protocolos de comunicação é a sua topologia. O FlexRay suporta conexões passivas simples do tipo barramento (*multi-drop*), bem como conexões estrela ativa para redes mais complexas ou ainda topologias híbridas. Dependendo do *layout* do veículo e o nível de utilização do FlexRay, a escolha da topologia correta otimiza os custos, desempenho e a confiabilidade do projeto. Abaixo será detalhado os tipos de topologia (National Instruments, 2011).

### 3.11.1 Topologia Barramento (*multi-drop*)

O FlexRay é usualmente utilizado na topologia barramento simples, que possui apenas um barramento que conecta diversas ECUs, sendo a mesma topologia utilizada pelo CAN. Cada ECU possui uma ramificação com uma pequena distância até o tronco principal do barramento. As extremidades da rede possuem resistores de terminação instalados que eliminam os problemas com reflexões de sinais. Devido ao FlexRay operar com altas frequências de até 10 Mbit/s, o *layout* da rede e os terminadores devem ser bem projetados

para evitar problemas de integridade do sinal. O formato de barramento deve também se encaixar perfeitamente no chicote elétrico do veículo, simplificando a instalação na manufatura e reduzindo o número de cabos elétricos. A figura 36 apresenta a topologia barramento (National Instruments, 2011).

Figura 36 – **Topologia barramento (multi-drop)**



FONTE: National Instruments (2011)

### 3.11.2 Topologia Estrela

O padrão FlexRay suporta a configuração estrela, que consiste em ramificações individuais conectadas a um módulo eletrônico central ativo. Este ponto central funciona similar a um HUB utilizado em redes de computadores (National Instruments, 2011).

A configuração estrela faz com que seja possível implementar redes FlexRay a longas distâncias e também a segmentação da rede em porções menores a fim de aumentar a confiabilidade caso ocorra falha em alguma porção da rede. Se uma das ramificações da estrela é colapsada, as demais ramificações continuam funcionando normalmente.

Outra vantagem dessa configuração é a redução na exposição da rede de comunicação a ruídos eletromagnéticos, uma vez que o barramento é subdividido em ramificações, diminuindo o comprimento individual dos cabos. A figura 37 apresenta o padrão FlexRay implementado na topologia estrela (National Instruments, 2011).

Figura 37 – Topologia estrela

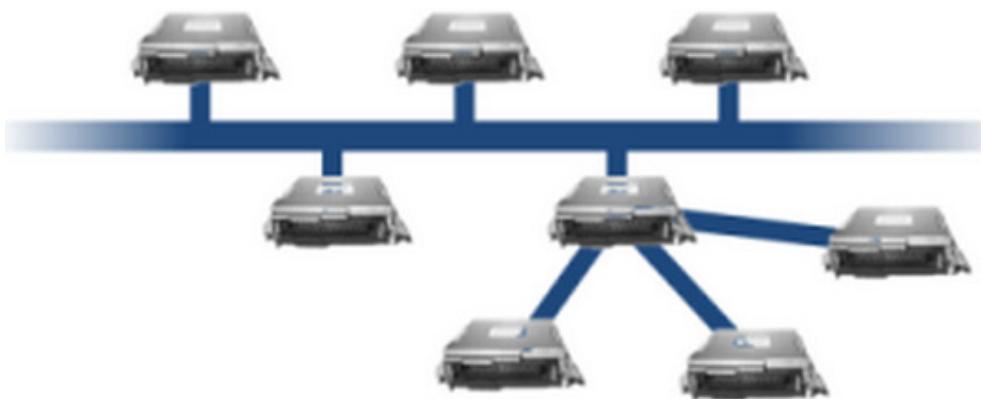


FONTE: National Instruments (2011)

### 3.11.3 Topologia Híbrida

As topologias de barramento e estrela podem ser combinados para formar uma topologia híbrida. As futuras redes FlexRay serão compostas por topologias híbridas para unificar as vantagem da facilidade de utilização e de custo da topologia de barramento ao com o desempenho e confiabilidade da topologia em estrela. A figura 38 apresenta a topologia híbrida (National Instruments, 2011).

Figura 38 – Topologia híbrida



FONTE: National Instruments (2011)

Opcionalmente podem existir dispositivos que previnem erros no barramento denominados *bus guardians*, cuja função é verificar se não existe alguma ECU bloqueando o barramento por transmitir mensagens continuamente e não permitindo o acesso de outras ECUs a rede.

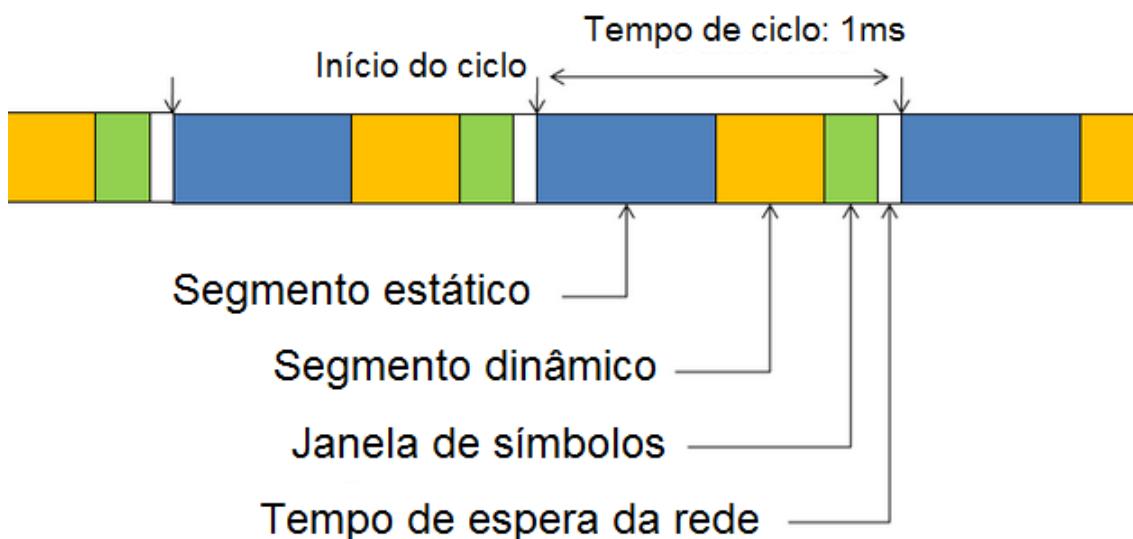
Nesse caso o *bus guardian* desconecta a ECU defeituosa da rede permitindo a liberação do barramento para as demais ECUs (Santos, 2010).

O FlexRay é um protocolo do tipo disparado por tempo (*time-triggered*), que oferece opções para dados do tipo determinista, que chega em um prazo previsível (até o micro segundo), bem como dados do tipo dinâmico para manipular uma grande variedade de mensagens. O FlexRay implementa essa mistura de *frames* estáticos e *frames* dinâmicos com um ciclo de comunicação predefinido que proporciona um espaço determinado para dados estáticos e dinâmicos. Este espaço é configurado de acordo com cada montadora (National Instruments, 2011).

Enquanto no protocolo CAN os módulos eletrônicos somente necessitam conhecer a taxa de transmissão correta para se comunicarem entre si, no FlexRay a ECU deve conhecer como todos os dispositivos conectados a rede estão configurados para efetuar a comunicação (National Instruments, 2011).

O ciclo de comunicação FlexRay é o elemento fundamental do regime de acesso à mídia. A duração de um ciclo é fixado durante o projeto da rede, sendo tipicamente em torno de um a cinco milisegundos. Conforme demonstra a figura 39, existem quatro partes principais em um ciclo de comunicação padrão FlexRay, a seguir serão descritos cada um dos referidos campos. (National Instruments, 2011).

Figura 39 – Ciclo de comunicação FlexRay

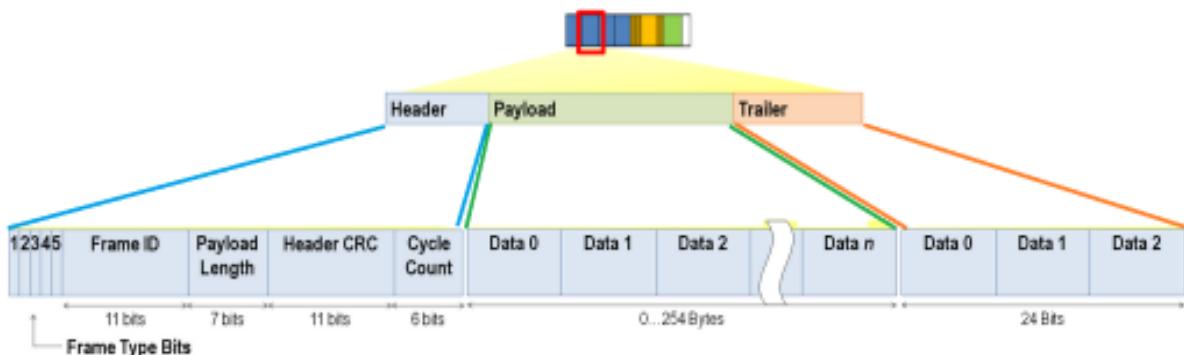


FONTE: National Instruments (2011)

- Segmento Estático: Espaço reservado para os dados determinísticos que são transmitidos em um período de tempo fixo.
- Segmento Dinâmico: O segmento dinâmico é utilizado para uma variedade mais ampla de dados baseados em eventos que não requerem determinismo.
- Janela de Símbolos: Normalmente utilizado para manutenção da rede e para sinalizar a inicialização da rede.
- Tempo da Rede em Espera: É o tempo de "silêncio" (*idle*) conhecido da rede utilizado para manter a sincronização entre os *clocks* dos módulos eletrônicos.

Cada espaço (*slot*) no ciclo de comunicação FlexRay tanto estático quanto dinâmico possuem um *frame* de informação. O *frame* é dividido em três segmentos sendo *header*, *payload* e *trailer*, conforme indicado na figura 40 (National Instruments, 2011).

Figura 40 – Estrutura do *frame* FlexRay



FONTE: National Instruments (2011)

- *Header*: O cabeçalho possui 5 bytes (40 bits) de comprimento e inclui os campos *Status Bit* (5 bits), *Frame ID* (11 bits), *Payload Length* (7 bits), *Header CRC* (11 bits) e *Cycle Count* (6 bits). O *Frame ID* define o espaço em que o *frame* deve ser transmitida e é utilizado para priorizar os dados acionados por evento. O *Payload Length* contém o número de palavras que são transmitidas pela mensagem. O *Header CRC* é utilizado para detectar erros durante a transmissão. O *Cycle Count* contém o valor de um contador que avança progressivamente cada vez que inicia um ciclo de comunicação.
- *Payload*: O *Payload* contém os dados efetivos transferidas pelo *frame*. O comprimento dos dados da mensagem é de até 127 palavras (254 bytes), ou seja 30 vezes maior que o CAN.
- *Trailer*: O *trailer* contém três CRCs de 8 bits para detectar erros.

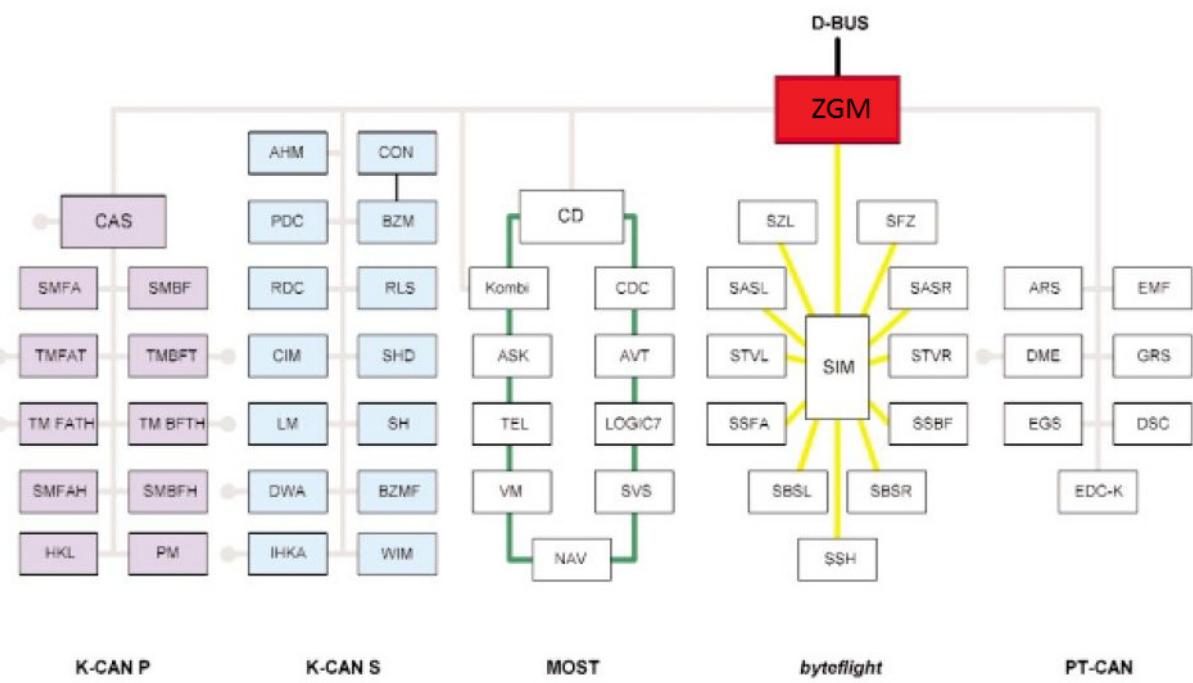
### 3.12 PROTOCOLO BYTEFLIGHT

O protocolo ByteFlight foi desenvolvido em 1996 pela BMW em conjunto com as empresas Motorola, ELMOS, Infineon e IXXAT para atender a necessidade de comunicação tolerante a falha de componentes relativos a segurança crítica dos subsistemas de chassis e airbags dos veículos BMW séries 5, 6 e 7. É um protocolo de mensagem orientada e utiliza tecnologia híbrida de síncrono/assíncrono baseadas em TDMA (*Time Division Multiple Access*) para a transmissão dos dados. Em 2008, os veículos BMW série 7 passaram a utilizar o protocolo FlexRay (Santos, 2010).

O ByteFlight possui uma taxa de transmissão dos dados de 10 Mbit/s, com barramento construído em polímero de fibras ópticas. Tipicamente é utilizado a topologia de rede em estrela com um acoplador central ativo e inteligente (Santos, 2010).

O veículo BMW série 7 possui uma arquitetura elétrica composta por 65 ECUs, divididos por quatro grupos distintos sendo *powertrain*, entretenimento, carroçaria e segurança passiva. Conforme pode ser observado na figura 41, são utilizadas diferentes topologias, como anel, estrela e barramento, bem como diferentes protocolos de comunicação tais como CAN, MOST e ByteFlight integrados por um *gateway* denominado ZGM (Santos, 2010).

Figura 41 – Arquitetura elétrica do veículo BMW série 7

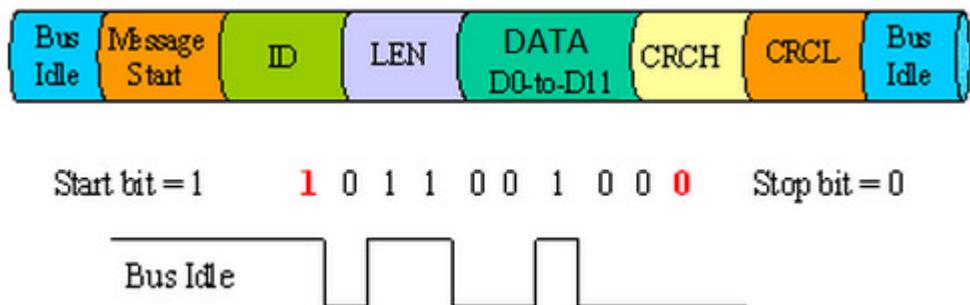


FONTE: Santos (2010)

O ByteFlight utiliza o mecanismo de acesso ao barramento FTDMA (*Flexible Time Division Medium Access*), podendo garantir um atraso previsível para uma quantidade limitada de mensagens em tempo real de alta prioridade. Além disso, é possível enviar mensagens que não tenham requisito de tempo real com baixa prioridade de forma priorizada. O sincronismo de *clock* é fornecido por uma ECU mestre, realizando pulsos de disparo cíclicos na ordem de 100µs (Santos, 2010).

No padrão Byteflight a mensagem de dados é denominada *telegraph*, sendo equivalente ao *frame* no protocolo CAN. A mensagem começa com um campo denominado *Message Start* contendo 6 bits de comprimento, seguido por um campo de 8 bits do *Message Identifier* (ID), o campo *Length Byte* (LEN) possui um byte e informa tamanho do campo da mensagem, o campo de dados suporta mensagens de até 12 bytes de comprimento, finalizando com o campo de CRC com comprimento de 16 bits codificados em 2 bytes (CRC High e CRC Low). Todos os bytes são amortecidos com um bit de início recessivo e um bit de parada dominante. A figura 42 apresenta a estrutura da mensagem do ByteFlight (Santos, 2010).

Figura 42 – Estrutura do *frame* (*telegraph*) ByteFlight



FONTE: Davis (2012)

### 3.13 PROTOCOLO MOST

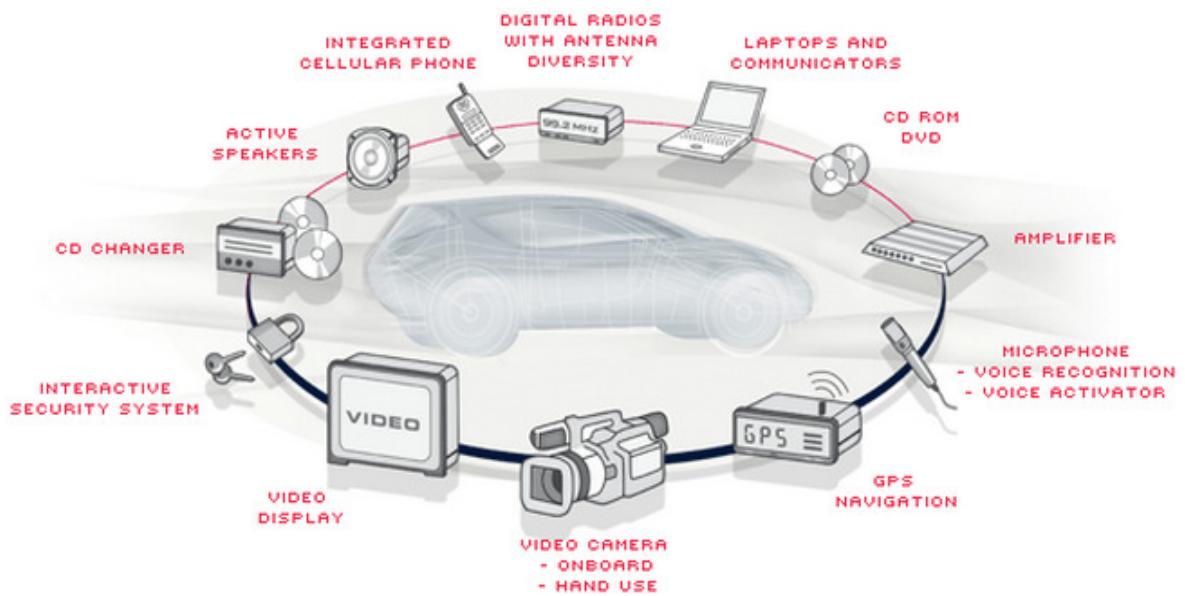
O MOST (*Media Oriented System Transport*) é uma tecnologia de rede multimídia de alta velocidade otimizada para a indústria automotiva, podendo ser utilizado em aplicações dentro ou fora do automóvel. A rede serial MOST utiliza tipicamente a topologia em anel e comunicação de dados síncronos para o transporte de áudio, vídeo, voz e dados via barramento físico construído em fibra óptica (MOST25 e MOST150) ou via condutores elétricos (MOST50 e MOST150). É baseada no padrão D2B (*Domestic Digital Bus*) (Santos, 2010).

A *MOST Cooperation*, associação entre as empresas Audi, BMW, Daimler, Harman e Microchip Technology e detentora dos direitos do protocolo MOST, foi fundada em 1998 com o objetivo tornar o MOST um padrão global para redes multimídia (MOST Cooperation, 2005).

É uma rede altamente confiável podendo ser composta por até 64 ECUs conectadas ao barramento. A tecnologia garante a integridade dos dados e oferece suporte a áudio em tempo real e vídeo comprimido, eventos *time-triggered* e *event-triggered* também são suportados (Santos, 2010).

Os automóveis modernos possuem diversos dispositivos de entretenimento embarcados que necessitam uma rede com suporte a transmissão em tempo real com largura de banda grande e confiabilidade para transporte de informações entre os sistemas de navegação por GPS, telemetria, telefone celulares, reprodutores de CDs e DVDs, telas de alta resolução, internet e TV digital. A figura 43 ilustra os dispositivos de entretenimento que são conectados via rede MOST (MOST Cooperation, 2005).

Figura 43 – Dispositivos interconectados via rede MOST



FONTE: MOST Cooperation (2005)

A rede MOST é síncrona onde um mestre fornece o sinal de *clock* para a rede e todos os outros dispositivos conectados ao barramento seguem esse pulso. Essa tecnologia elimina a necessidade de um *buffer* e de uma taxa de conversão de amostra, viabilizando a conexão de

dispositivos simples e de baixo custo. É similar a uma rede pública de telefone, uma vez que existem canais de dados e de controle bem definidos (MOST Cooperation, 2005).

Os canais de controle definem quais são os canais de envio e recepção dos dados que serão utilizados durante a transmissão. Após estabelecer a conexão, os dados trafegam pela rede continuamente sem ser necessário processar informações adicionais do pacote, sendo esse o mecanismo utilizado para a entrega de dados contínuo em tempo real (Santos, 2010).

A funcionalidade de comunicação é fornecida pelos serviços do sistema MOST, são eles: sistema de baixo nível, sistema de nível básico e soquete da aplicação. Os serviços de baixo nível (camada com dois serviços) são implementados nos *transceivers* e baseados na camada física.

Entre o *transceiver* e o API (camada 7) estão o *network services*, que consistem nos serviços de nível básico (camadas 3, 4 e 5) e no *socket* da aplicação (camada 6) do protocolo MOST. A tabela 09 apresenta as camadas do modelo MOST comparado ao modelo OSI (STI Innsbruck, 2009).

Tabela 09 – Camadas do modelo MOST

Nº da Camada	Referência no Modelo OSI	Especificação do Protocolo MOST			Fluxo dos Serviços	
		Bloco Funcional	Bloco Funcional	Bloco Funcional		
7	Aplicação	Serviço de Rede Camada 2 (Aplicação do soquete)				
6	Apresentação	Serviço de Rede Camada 1 (Nível Básico)				
5	Sessão					
4	Transporte					
3	Rede					
2	Enlace de Dados	Serviços de Baixo Nível				
1	Física	Camada Física				

FONTE: STI Innsbruck (2009)

A seguir serão apresentadas as três especificações principais do padrão MOST:

### 3.13.1 MOST25

Possui três canais: assíncrono (dados), síncrono (*streaming*) e controle de informação. A Transferência de dados máxima é limitada em 25Mbit/s a uma frequência de 48kHz, com largura de banda de aproximadamente 23MBaud. A transmissão é realizada via barramento de fibra óptica (POF) com 1,0 mm<sup>2</sup> de núcleo. Suporta até 15 canais de áudio estéreo sem compressão de som com qualidade de CD ou até 15 canais MPEG1 para a transferência de áudio/vídeo, cada um dos quais utiliza quatro bytes (quatro canais físicos). Algumas limitações podem restringir a taxa de transferência efetiva de dados para cerca de 10 kbyte/s devido à sobrecarga do protocolo, a aplicação pode utilizar apenas 11 dos 32 bytes para transferência segmentada e a ECU pode usar apenas um terço da largura da banda do canal de controle (STI Innsbruck, 2009).

### 3.13.2 MOST50

Também possui três canais porém apresenta maior flexibilidade no comprimento do canal controle de informação e na divisão entre os canais síncronos e assíncronos. A transferência de dados máxima é limitada a 50Mbit/s a uma frequência de 48kHz com comprimento do *frame* de 1.024 bits e apresenta o dobro da largura de banda especificada no MOST25. Apesar de também suportar sinais ópticos, a transmissão elétrica é efetuada via barramento composto por par de cabos elétricos trançado sem blindagem (STI Innsbruck, 2009).

### 3.13.3 MOST150

Foi apresentado em outubro de 2007 e tem como diferencial a implementação de novidade na camada física. Além dos três canais padrão, possui também transmissão isócrona (vide ANEXO B - Transmissão Isócrona) no canal síncrono para HDTV (*High Definition Television*); Transferência de dados máxima de 150Mbit/s a uma frequência de 48kHz com comprimento do *frame* de 3.072 bits e apresenta largura de banda seis vezes maior que a especificada no MOST25. Aperfeiçoado para operação utilizando o barramento padrão *Ethernet 100 base-T* com largura de banda ajustável (STI Innsbruck, 2009).

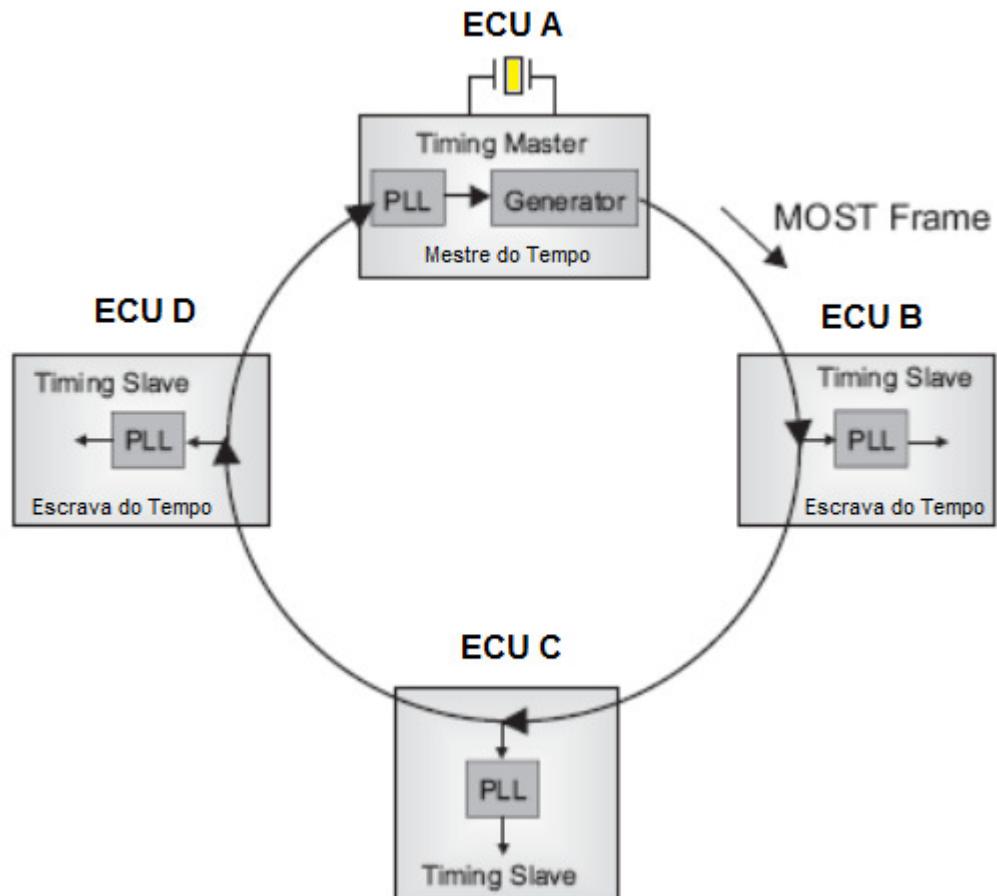
A rede MOST é implementada tipicamente com a topologia anel e pode interconectar até 64 dispositivos. Dependendo da aplicação, é possível selecionar também as topologias estrela ou ainda o anel duplo para aplicações críticas de segurança (STI Innsbruck, 2009).

Uma rede MOST possui um módulo eletrônico mestre denominado *timing master* que gera periodicamente os *frames* no barramento para sincronização do *clock*. Após esse evento, as demais ECUs escravas denominadas *timing slave* conectadas ao anel lógico executam as seguintes ações:

1. Recebe o sinal
2. Sincroniza-se com o preâmbulo
3. Analisa o Frame
4. Processa a informação desejada (de controle ou de dados)
5. Acrescenta informações nos *slots* livres no *frame*
6. Transmite o *frame* para o seu sucessor

Quando o *frame* regressa para o mestre, ele se autosincroniza e subsequentemente gera o próximo *frame*, de acordo com a taxa de transmissão de dados. A figura 44 ilustra a sincronização do *clock* em uma rede anel (STI Innsbruck, 2009).

Figura 44 – Sincronização realizada pela ECU mestre



FONTE: STI Innsbruck (2009)

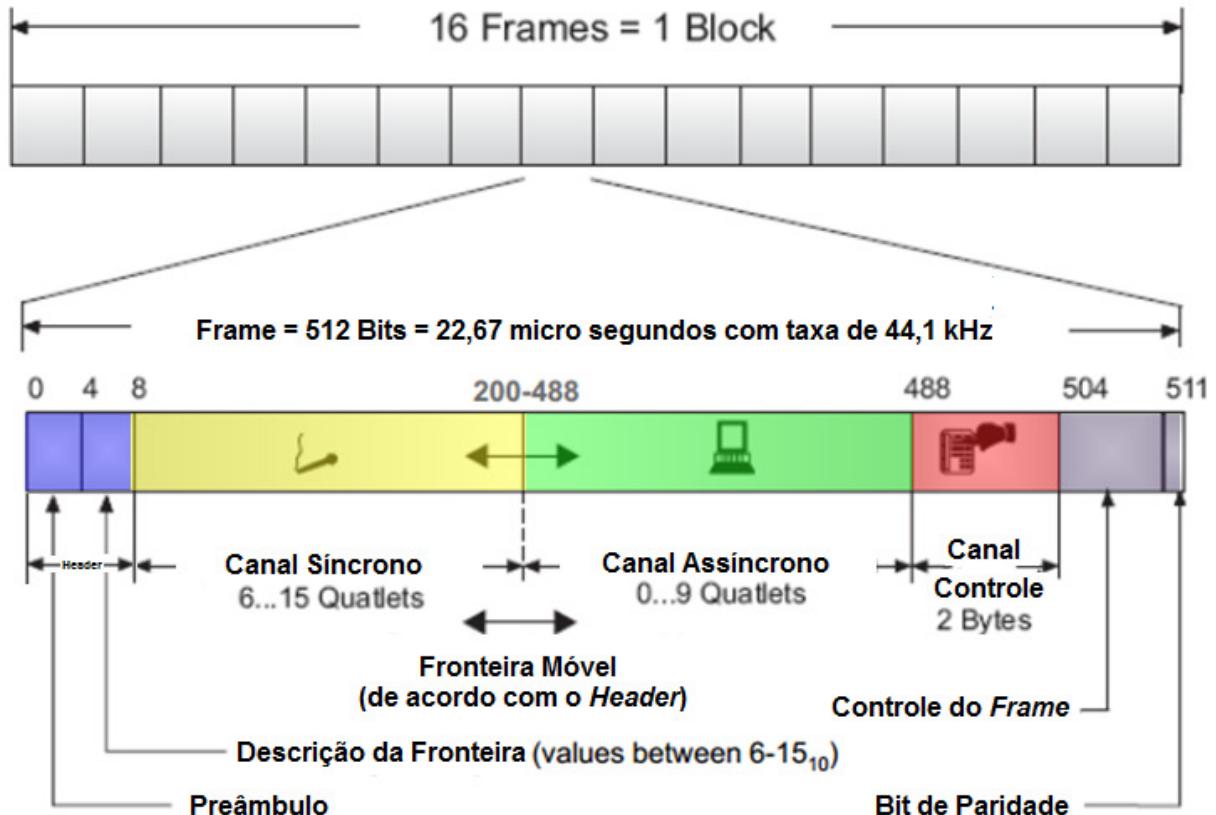
A ECU mestre (*timing master*) é geralmente integrada ao módulo HMI (*Human Machine Interface*) do sistema de *infotainment*, é o responsável por enviar os *frames* para o seu sucessor no anel lógico com uma taxa de dados consistente em toda a rede, com a periodicidade típica de 44.1 kHz para arquivos de áudio em CD e de até 48 kHz para arquivos de imagem em DVD (STI Innsbruck, 2009).

Caso um módulo eletrônico escravo opere com uma taxa de amostragem diferente, como por exemplo o reproduutor de DVD, a mesma tem que converter os dados de acordo com a taxa de *frames* do sistema. Cada unidade escrava sincroniza com o preâmbulo do *frame* de acordo com o PLL (*phase-locked loop*) (STI Innsbruck, 2009).

Em uma rede MOST, as funções são agrupadas em interfaces padronizadas denominadas blocos funcionais (*Function Block*), que são responsáveis por fornecer as propriedades (especifica as características de um dispositivo como, por exemplo, a frequência atual sintonizada pelo rádio) e o método (desencadear uma ação como, por exemplo, escanear as estações de rádio). Todas os módulos eletrônicos conectados ao barramento devem implementar pelo menos um *Function Block*. Abaixo estão descritos alguns exemplos de *Function Blocks* (Santos, 2010):

- *Netblock*: Gerencia todos os blocos de funções e os endereços dos dispositivo.
- *Power Master*: Inicia e finaliza a rede.
- *Network Master*: Inicializa o sistema, monitora o status da rede e administra o registro central (lista de todos os *function blocks* da rede).
- *Connection Master*: Responsável por configurar e desconectar o canal síncrono.
- *Application-specific Block*: Bloco proprietário do fabricante do dispositivo para funções específicas da aplicação (início de jogo, atualização de *software*, mudo, pausa, etc).

A estrutura de *frame* MOST possui frequência fixa podendo ser de 44,1 kHz ou 48kHz, sendo dividido em três partes: canal síncrono, canal assíncrono e canal de controle, conforme pode ser observado na figura 45. A seguir serão detalhados cada um dos campos do *frame* MOST (STI Innsbruck, 2009).

Figura 45 – Estrutura do *frame* MOST25

FONTE: STI Innsbruck (2009)

- Canal Síncrono: Utilizado para o transporte de dados de audio e vídeo (*streaming*); Possui alta taxa de transmissão contínua; Múltiplas conexões estáticas (até 16 canais estéreos de 16 bits ou 60 canais com 8 bits); Não possui endereçamento; Não possui detecção de erro; *Setup* e *shutdown* da conexão realizada pelo Canal de Controle.
- Canal Assíncrono: Utilizado para o transporte de pacote de dados; Possui taxa de transmissão de dados temporária e em rajadas; Controle de erros efetuado via CRC (ACK/NAK); Priorização por arbitragem.
- Canal de Controle: Utilizado para o transporte de comandos, *status* e informações de diagnóstico; Define o *setup* de utilização dos canais de streaming entre o emissor e receptor; Uma vez que a conexão é estabelecida, os dados fluem continuamente sem a necessidade de endereçamento, processamento ou rótulo de pacote de informações. Controle de erros efetuado via CRC (ACK/NAK); Priorização por arbitragem.

## 4 PRINCIPAIS SISTEMAS EMBARCADOS NOS MERCADOS EMERGENTES

Um sistema é denominado embarcado quando executa uma tarefa exclusiva e interage continuamente com o ambiente para o qual foi projetado, ou seja, é um sistema microprocessado onde o módulo eletrônico realiza um conjunto de tarefas predefinidas com requisitos específicos sendo completamente dedicado ao dispositivo ou sistema a que controla, sendo essa a principal diferença em relação ao computador pessoal. No caso do segmento automotivo, os sistemas embarcados são caracterizados pelas unidades de controle eletrônico genericamente denominadas ECUs (Guimarães, 2007).

A eletrônica embarcada automotiva é dividida em sete grandes grupos (Guimarães, 2007):

- *Body Electronics*: relacionado as funções de conforto do veículo tais como travas elétricas, alarme anti-furto, ar condicionado automático, retrovisores elétricos, sensor de chuva, sensor crepuscular, automatizadores de vidros elétricos, iluminação interna e externa, etc.
- *Active & Passive Safety*: relacionado as funções de segurança ativa e passiva tais como freios ABS, controle de estabilidade, controle de tração, sistema de airbags, pretensionadores, aviso de saída da faixa (*Lane Departure Warning*), aviso de obstáculo nos pontos cego dos espelhos retrovisores, alerta de sonolência, etc.
- *Chassis Electronics*: relacionado as funções dinâmicas tais como suspensão ativa, sensor de ângulo de direção, sensor de estacionamento, direção elétrica, gerenciamento do fluxo e pressão do combustível, monitoramento da pressão dos pneus, etc.
- *Energy & Storage*: relacionado a geração, partida, armazenamento e balanceamento de energia do veículo, etc.
- *Powertrain*: relacionado as funções do trem de força do veículo tais como funcionamento do motor, transmissão automática, caixa de transferência 4x4, eixo diferencial, retarder, embreagem automatizada, tomada de força para implementos, etc.
- *Power Distribution*: relacionado a distribuição de energia do veículo, como chicotes elétricos, interconexão elétrica dos componentes elétricos e eletrônicos, redes e barramentos de comunicações, roteamento dos cabos, dispositivos de proteção como fusíveis e disjuntores, relés, etc.
- *Infotainment*: componentes relacionados a interface entre o homem e o veículo como o painel de instrumentos, rádio multimídia, computador de bordo, sistemas de navegação e rastreamento, telemetria e telemática, diagnóstico *on-board*, etc.

Para conduzir uma análise técnica com precisão, é importante conhecer o funcionamento dos principais sistemas embarcados encontrados nos automóveis que são vendidos nos mercados emergentes, como por exemplo o Brasil. Assim será possível distinguir uma falha elétrica em relação ao correto funcionamento de um componente ou subsistema.

Os seguintes anexos foram incluídos neste documento com o objetivo de apresentar o funcionamento básico dos principais subsistemas e auxiliar o leitor durante a realização das análises técnicas em um veículo protótipo.

- Anexo C: Sistema de Freios Anti-blocantes - ABS
- Anexo D: Sistema de Alarme Anti-furto
- Anexo E: Sistema de Controle de Tração - ASR
- Anexo F: Sistema de Retenção Suplementar - Airbag
- Anexo G: Controle Eletrônico de Estabilidade - ESP
- Anexo H: Sistema de Direção Elétrica - EPS
- Anexo I: Controle Eletrônico de Temperatura - ECC
- Anexo J: Sistema de Telemática
- Anexo K: Sistema de Estacionamento Assistido - UPA

É recomendado a leitura de todos os anexos antes de iniciar a verificação funcional de um veículo protótipo.

## 5 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHAS ELÉTRICAS EM PROTÓTIPOS

A análise de falhas elétricas em veículos protótipos é uma ciência complexa que exige do engenheiro conhecimento multidisciplinar nas áreas de elétrica, eletrônica, computação, *powertrain* (motor, transmissão automática, caixa de transferência 4x4, etc.), chassis, carroceria, manufatura, validação e legislação. Todas as informações contidas nessa seção são fundamentadas na experiência profissional adquirida ao longo de quinze anos trabalhando nos departamentos de engenharia elétrica/eletrônica e engenharia de protótipos em duas grandes montadoras multinacionais, nos ramos de veículos de passeio e comercial.

Em um veículo protótipo podem ser encontradas desde falhas simples, como por exemplo a liberação incorreta de um componente para uma determinada versão do carro, até o caso complexo de uma inoperância total do automóvel ocasionada pela deterioração das informações que estão trafegando no barramento de comunicação serial, devido a influência de interferências eletromagnéticas externas, resultante do roteamento incorreto dos cabos elétricos no interior do veículo ou ainda da escolha incorreta do tipo de blindagem/proteção contra ruídos de EMI (*Electromagnetic Interference*) aplicada aos cabos elétricos.

A seguir serão descritos os passos fundamentais para a realização de uma análise eficaz, rápida e acertiva na solução dos defeitos elétricos em veículos protótipos, inerentes a essa etapa do desenvolvimento do produto.

### 5.1 DEFINIÇÕES SOBRE O CONTEÚDO DO PROJETO

A participação nas reuniões do projeto é importante para o engenheiro especialista conhecer quais serão as novas tecnologias aplicadas no veículo, a versão do dicionário de dados (*data dictionary*) dos protocolos de comunicação serial empregados, interar-se sobre os diferentes conteúdos técnicos que serão proliferados em cada versão (básica, intermediária e completa) e quais mercados (Brasil, Argentina, Mercosul, etc) serão abrangidos pelo veículo.

Como a etapa da montagem dos protótipos ocorre durante o desenvolvimento do produto, alguns componentes ainda não estão totalmente desenvolvidos e poderão ter suas funcionalidades limitadas, garantindo apenas a sua operação básica para não comprometer o funcionamento geral do veículo. Nessas reuniões são discutidos qual o nível de maturidade (geralmente em porcentual) que cada um dos componentes serão liberados para a fase protótipo e são apresentadas as suas limitações em relação ao *design* final. Essa informação é

necessária para não confundir a limitação conhecida de uma determinada peça como sendo um possível defeito, desperdiçando tempo para a realização das análises.

Geralmente as montadoras dividem a etapa da montagem de protótipos em blocos (*batches*), sendo que cada bloco possui um determinado grau de evolução do projeto, o qual vai sendo elevado no decorrer do tempo e de acordo com os tipos dos testes que serão executados.

O primeiro bloco é destinado a realização dos testes de motores e transmissões (*powertrain*), portanto são aceitáveis que os componentes elétricos que não tenham influência direta no funcionamento desse subsistema apresentem baixo grau de maturidade, não podendo entretanto comprometer a dirigibilidade e a segurança durante a condução do veículo.

O segundo bloco, além de continuar suportando os testes de *powertrain*, tem a finalidade de testar e refinar praticamente todos os componentes relacionados aos demais subsistemas do veículo, tais como arrefecimento (*thermal*), suspensão, direção e freios (*chassis*), carroceria e elétrica. Nessa fase, os componentes elétricos devem apresentar um grau de evolução variando de intermediário para elevado, com excessão aos itens de conforto tais como central multimídia, navegador GPS, assistente de estacionamento, aquecimento de bancos, etc. cujo funcionamento não são relevantes para essa fase da validação.

O terceiro bloco possui a finalidade de validar todos os componentes e subsistemas do veículo, tanto elétricos quanto mecânicos, hidráulicos e pneumáticos, através da realização dos testes de durabilidade em campo de provas controlado. Nessa etapa todos os componentes elétricos devem possuir o *design* final para representar um veículo de produção, não sendo esperado nenhum desvio sobre as funcionalidades. Portanto, quaisquer falha ou inconsistência encontrada nesse bloco deve ser analisado minuciosamente para que o defeito não migre para a linha de montagem do produto.

## 5.2 MONTAGEM DOS VEÍCULOS PROTÓTIPOS

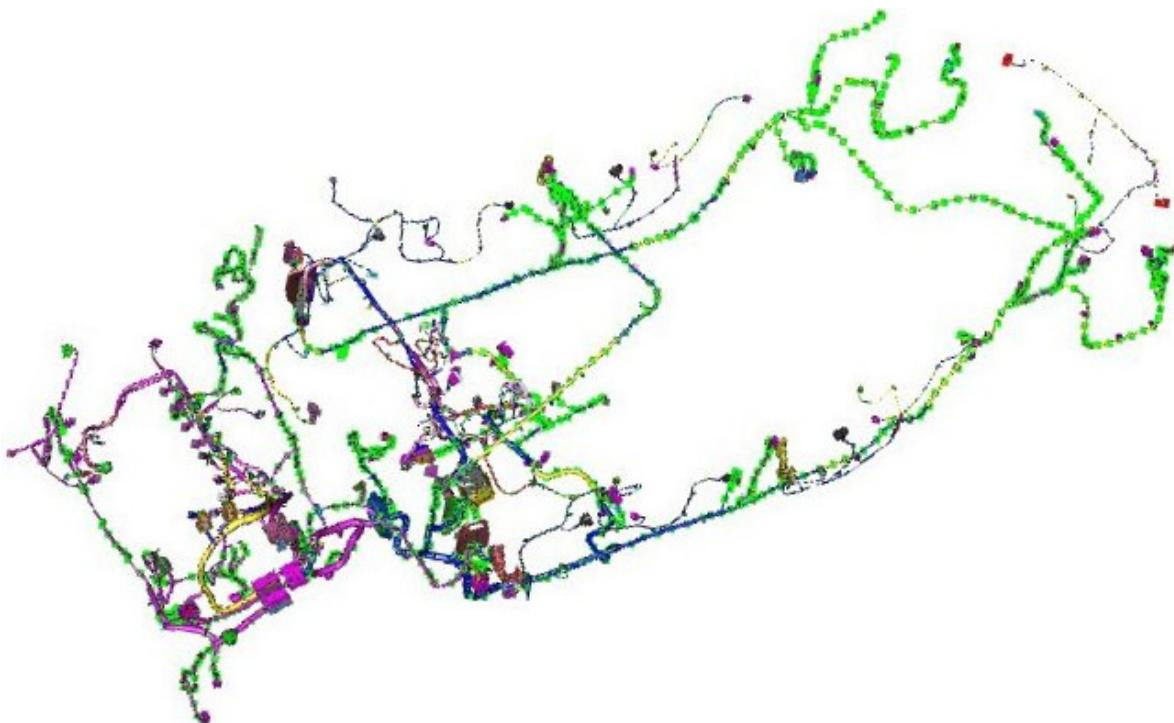
A montagem do primeiro protótipo é o evento mais aguardado durante o desenvolvimento de um novo veículo, pois será a primeira vez que todas as peças e subconjuntos serão integrados confirmando se os projetos dos diversos componentes, até então somente virtuais, apresentarão o resultado esperado.

Um dos primeiros componentes a ser montado no interior da carroceria é o chicote elétrico. Durante a montagem, é importante analisar se os cabos elétricos não estão em contato com

superfícies ou arestas cortantes, verificar se o acabamento externo do *bundle* está adequado ao passar por regiões quentes ou com intempéries, bem como examinar se a rota definida não possui interferência física com outras peças ou ainda se não está próximo aos pontos de fixação de subconjuntos adjacentes que possam causar esmagamento durante a montagem. A ocorrência de erros durante a montagem e o projeto do roteamento mal executado estão entre as maiores causas de falhas por agentes externos nos chicotes elétricos.

Para facilitar a montagem na linha de produção, os chicotes elétricos são fracionados em partes menores e interligados através de conexões denominadas *inlines*. Geralmente, um automóvel de passeio com conteúdo médio possui o chicote elétrico dividido em sete partes, sendo carroçaria, painel de instrumentos, frontal, motor, parachoque, tampa traseira e portas. A figura 46 apresenta um conjunto completo de chicotes elétricos de um veículo de passeio.

**Figura 46 – Conjunto de chicotes elétricos de um veículo de passeio**

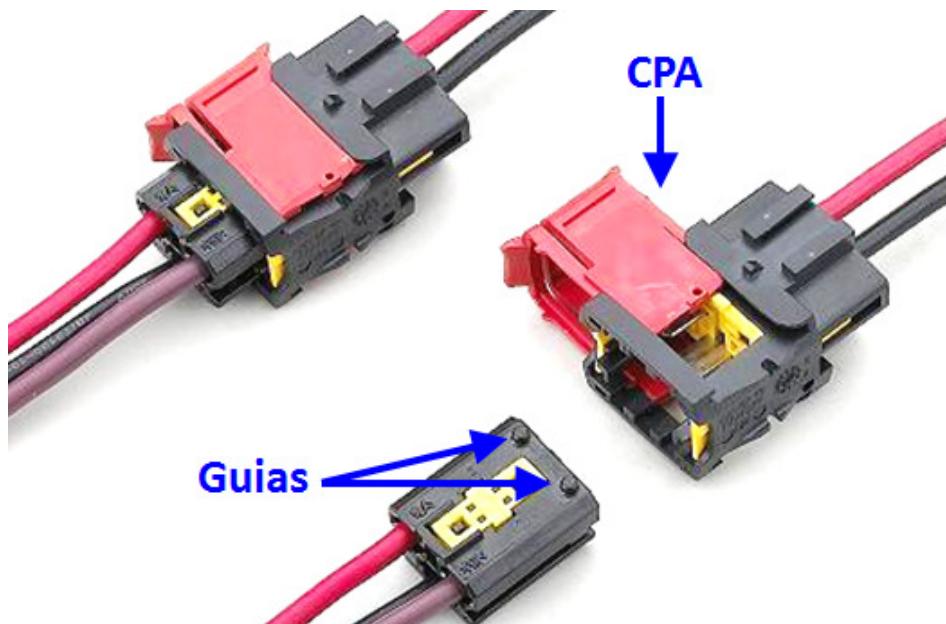


FONTE: O Autor

Devido as inúmeras proliferações que um automóvel apresenta, é importante confirmar que estão sendo instalados os chicotes elétricos com os opcionais corretos, de acordo com o modelo do veículo. Caso as peças sejam misturadas durante a montagem, o veículo não irá funcionar e será necessário despendar um tempo elevado para desmontar o interior do mesmo a fim de substituir o chicote incorreto pelo *part number* correto.

Todos os componentes elétricos e eletrônicos devem ser devidamente conectados em seus respectivos ramais dos chicotes elétricos, cujo encaixe correto é garantido através de dispositivos a prova de erro denominado *poka-yokes*. A perfeita conexão possui um som característico “click” confirmando que o travamento entre o *header* da peça e o conector do chicote elétrico foi realizado com sucesso. Os conectores modernos possuem uma trava denominada CPA<sup>1</sup> cuja função é garantir que a conexão elétrica seja efetuada de forma correta, a figura 47 apresenta uma família de conectores macho e fêmea contendo guias para montagem (*poka-yoke*) e a trava CPA. O erro de conexão está entre as maiores causas de funcionamento intermitente e perda de função.

Figura 47 – Conectores com trava CPA e *Poka-yoke*



FONTE: O Autor

Terminada a montagem do veículo, é necessário programar os *softwares* e as calibrações em todos os módulos eletrônicos e sensores inteligentes, sendo que esses arquivos devem ser selecionados conforme a lista de opcionais que compõem o protótipo. Algumas ECUs mais antigas já são fornecidas com o *software* instalado, necessitando efetuar a parametrização do mesmo baseado também na lista de opcionais. Cada montadora possui seu próprio equipamento e aplicação específica para realizar essa tarefa, tanto durante a etapa de desenvolvimento no departamento de protótipos, quanto nas estações de calibração denominadas EoL (*End of Line*), que são alocadas no final da linha de montagem do veículo

<sup>1</sup> *Connector Position Assurance*

dentro do departamento de manufatura. A figura 48 apresenta um equipamento de parametrização e uma interface para o *download* dos arquivos de calibrações.

Figura 48 – Ferramentas para calibração e parametrização de ECUs



FONTE: O Autor

Finalizada a etapa de programação dos dispositivos eletrônicos, é necessário executar diversos tipos de aprendizados nas ECUs tais como: posição inicial dos sensores e atuadores, chave de ignição codificada, imobilizador eletrônico, gravação dos controles remotos do alarme, referenciar a posição das marchas em transmissões automatizadas, gravação dos códigos de segurança e números de manufatura como o VIN (*vehicle identification number*) e data de fabricação, dentre outros. Cada montadora possui estratégia própria para verificar a conclusão dos aprendizados, normalmente os módulos eletrônicos mantém DTCs ativos e luzes de advertências acesas no painel de instrumentos indicando a ausência de algum aprendizado. A não realização dessa etapa poderá causar mau funcionamento em diversos subsistemas tais como motor falhando, nível de emissões de poluentes acima da legislação, transmissões automatizadas inoperantes, indicações errôneas no painel de instrumentos, alarme sem função e até mesmo inibir a ignição e partida do veículo.

### 5.3 VERIFICAÇÕES FUNCIONAIS NOS VEÍCULOS PROTÓTIPOS

Após as etapas de montagem, calibração e aprendizados, chega o momento de girar a chave de ignição e dar a partida no motor para colocar o veículo em pleno funcionamento.

Para confirmar que o protótipo está funcionando de forma consistente e conforme os requisitos do projeto, é necessário efetuar diversas verificações, tanto estáticas quanto

dinâmicas, a fim de garantir que o veículo está livre de falhas para não influenciar os resultados que serão obtidos durante a realização dos testes de validação.

### 5.3.1 Verificações Estáticas

Baseado nas informações obtidas durante as reuniões do projeto, deve ser elaborado uma lista de verificações (*check list*) contendo todas as funcionalidades do veículo e as respostas esperadas dos diversos os componentes elétricos e eletrônicos, de acordo com o respectivo grau de maturidade liberado para cada um dos *batches* da montagem dos protótipos. A figura 49 apresenta um exemplo de *check list* utilizado em veículos protótipos.

Figura 49 – Exemplo de *check list* para verificação funcional

ELECTRICAL VERIFICATION CHECK LIST			
Vehicle:		Technician:	
Options:		Date:	
OK	N/A	FAIL	Function
			Seta direita
			Seta esquerda
			Pisca-alerta
			Lanterna / Luz de posição dianteira
			Luz da placa de licença
			Luz de ré
			Luz de freio
			Brake light
			Luz de neblina traseira
			Luz da caçamba
			Farol baixo
			Farol alto
			Farol auxiliar/ neblina
			Luzes de cortesia interna
			Iluminação do cluster
			Painel de instrumentos (Cluster)
			Medidor de combustível

OK	N/A	FAIL	Function
			Vidros elétricos dianteiros
			Vidros elétricos traseiros
			Espelhos retrovisores elétricos
			Travas elétricas
			Atuador da tampa combustível
			Atuador elétrico do porta-malas
			Funcionamento Cruise Control
			Computador de Bordo / Relógio
			Acendedor cigarros / Tomada força
			Rádio / CD Player / MP3 Player
			Auto-falantes
			Antena
			Alarme anti-furto
			Buzina
			Ventilador caixa de ar (HVAC)
			Recirculador caixa de ar (HVAC)
			Acionamento Ar Condicionado

FONTE: O Autor

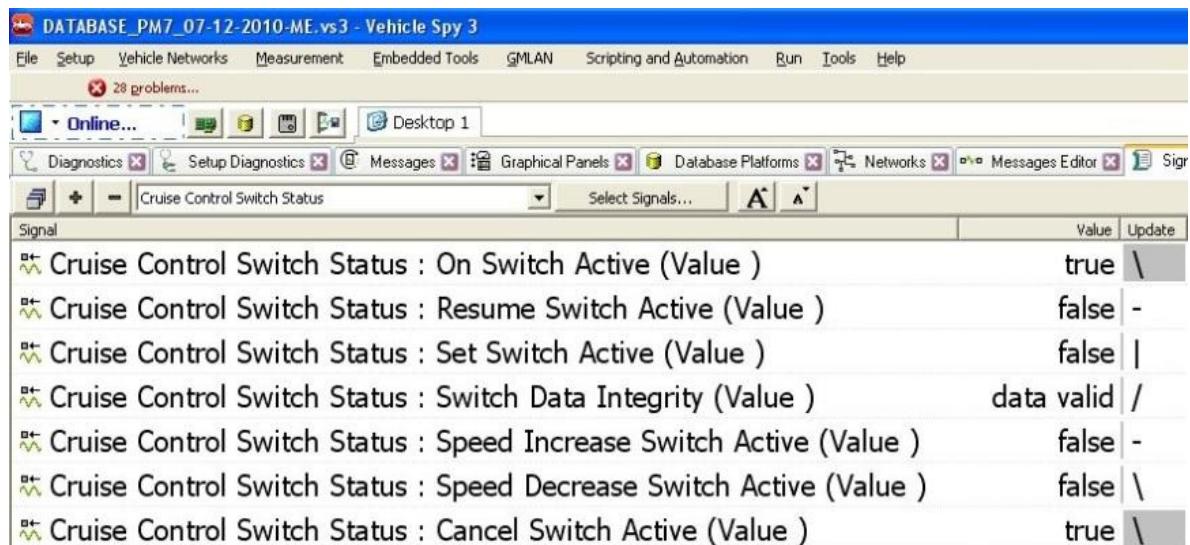
O objetivo do *check list* é verificar se todas as funções elétricas e eletrônicas estão operando conforme o especificado. Caso alguma não conformidade seja detectada, a mesma deverá ser reparada antes da liberação do veículo para a execução das verificações dinâmicas.

Além do método de *check list* convencional, existem equipamentos e *softwares* dedicados que auxiliam o técnico durante a verificação funcional estática do veículo. Esses dispositivos

são conectados a tomada de diagnóstico DLC (*diagnostic link connector*) e orientam o técnico durante a realização das inspeções de modo similar ao *check list*. O equipamento pode ainda efetuar uma rotina de testes funcionais automáticos utilizando os comandos de diagnóstico SID, PID e CPID, através da comunicação com os módulos eletrônicos via rede de comunicação serial.

O equipamento de diagnóstico também efetua a leitura das informações que estão trafegando no barramento e as compara com um banco de dados, com o objetivo de confirmar se os valores de determinadas variáveis estão dentro do intervalo (*range*) esperado, bem como escaneia os módulos eletrônicos em busca de códigos de falhas (DTCs). A figura 50 apresenta o resultado de uma verificação estática referente ao funcionamento dos botões de acionamento do *cruise control*, com a utilização de uma interface de diagnóstico.

Figura 50 – Verificação funcional utilizando *software de diagnóstico*



FONTE: O Autor

Sem o auxílio do equipamento de diagnóstico não seria possível verificar de forma estática o funcionamento dos botões de comando do controle de velocidade de cruzeiro (*cruise control*), uma vez que somente é possível acionar essa função com o veículo trafegando em velocidades superiores a 40km/h.

Portanto, o ideal é unir o *check list* convencional com a utilização do equipamento de testes automatizados conectado na tomada DLC, a fim de efetuar uma verificação estática completa e eficaz no veículo e garantir que o mesmo está livre de falhas e avarias.

### 5.3.2 Verificações Dinâmicas

Com a finalidade de complementar as verificações funcionais e suprimir as limitações inerentes ao método estático, é necessário a realização dos testes dinâmicos utilizando um dinamômetro de rolos. Esse método tem o objetivo de analisar a correta operação das diversas funções dinâmicas do veículo tais como: freios ABS, velocímetro, tacômetro, torque e potência do motor, alternador sob carga, transmissão automática, caixa de transferência 4x4, etc. A figura 51 apresenta um dinamômetro de rolos padrão para automóveis de passeio.

Figura 51 – Verificação funcional utilizando dinamômetro de rolo



FONTE: Dominion Technologies Inc (2014)

O dinamômetro de rolos é um equipamento computadorizado composto por quadro conjunto de rolos, sendo um conjunto por roda, cujo propósito é simular a condução do veículo por uma via pavimentada. Um computador dedicado e conectado a tomada de diagnóstico DLC gerencia os testes de aceleração e frenagem e emite um relatório final indicando se o veículo foi aprovado ou, caso reprovado, a descrição detalhada das avarias encontradas.

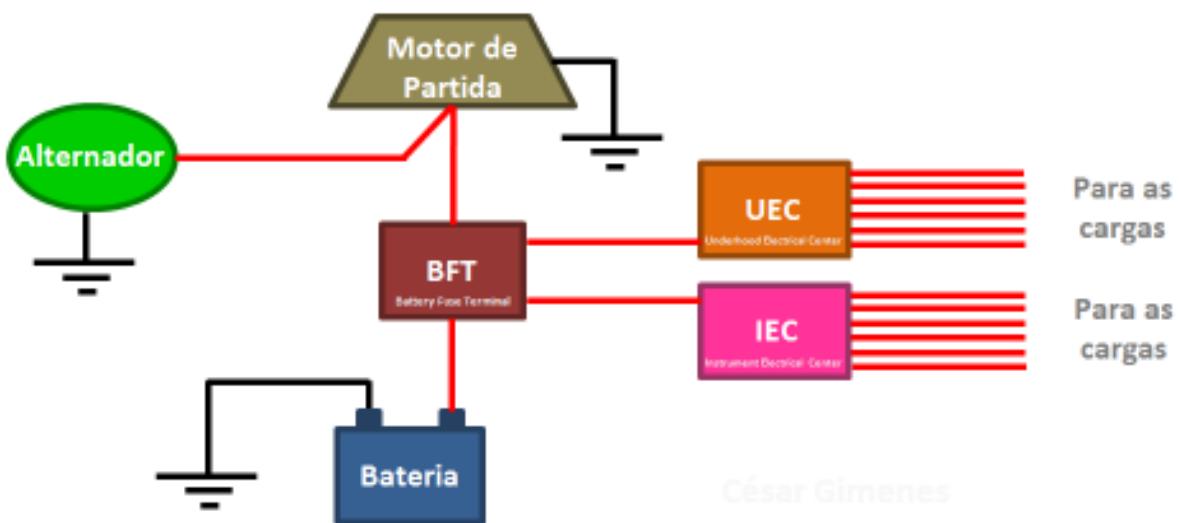
Opcionalmente, podem ser efetuadas medições de consumo de combustível e de emissões de poluentes no dinamômetro de rolos, porém esse tipo de análise não é o foco das verificações e não faz parte do escopo da etapa de montagem dos protótipos.

## 5.4 INTERPRETAÇÃO DO ESQUEMA ELÉTRICO

Para a execução de uma análise com precisão e agilidade, é importante saber interpretar todas as informações apresentadas pelo esquema elétrico, tais como o sistema de distribuição de energia, os elementos de proteção dos circuitos elétricos, as pinagens dos conectores e *headers* de todos os componentes que possuem interface elétrica, as cores, bitolas e classe de temperatura dos cabos elétricos, a topologia dos barramentos de comunicação seriais, as divisões dos chicotes elétricos e a localização física dos aterramentos na carroceria.

O sistema de partida, geração, armazenamento e distribuição de energia de um veículo é composto basicamente por alternador; motor de partida; bateria; central de proteção primária denominada BFT (*Battery Fuse Terminal*), localizada sobre a bateria; centrais elétricas de proteção e distribuição secundárias denominadas UEC (*Underhood Electrical Center*), localizada no compartimento do motor e IEC (*Instrument panel Electrical Center*), localizada no painel de instrumentos, e pelos diversos cabos elétricos e fibras ópticas. A figura 52 apresenta o diagrama em blocos de um sistema de distribuição de energia automotivo.

Figura 52 – Sistema de distribuição de energia automotivo

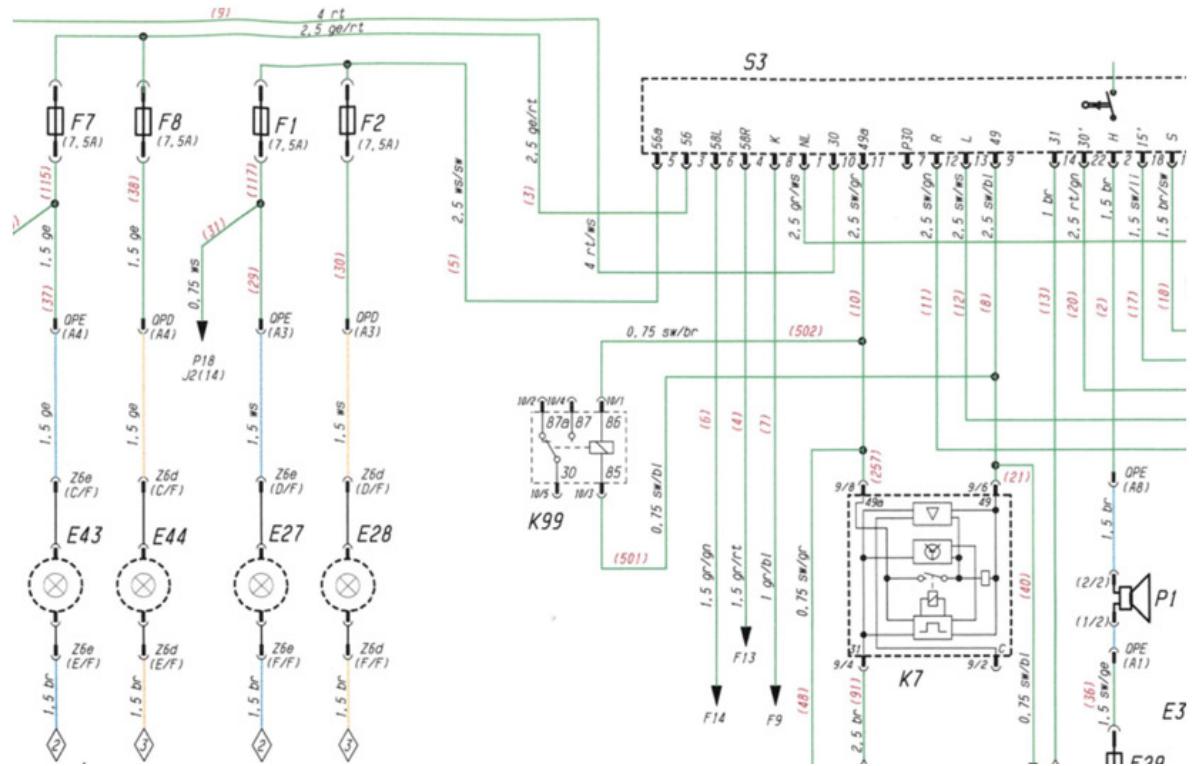


FONTE: O Autor

Nas centrais elétricas de proteção e distribuição estão alocados os diversos fusíveis de proteção (*mini*, *ATO*, *J-CASE*, etc), os relés comutadores e os disjuntores re-armáveis (*circuit breakers*). Nelas, a alimentação positiva proveniente da bateria é separada em alimentação positiva direta (kl.30 ou *VBatt*) e alimentação positiva pós-ignição (kl.15 ou *Run/Crank*).

A figura 53 apresenta o trecho do esquema elétrico de um veículo comercial. Note que cada circuito representado possui uma sequência de letras e números [por exemplo (10) 2,5 sw/gn] bem como uma cor diferente no traço, cada componente elétrico possui uma simbologia distinta e um código alfanumérico que identifica a sua funcionalidade (S3, E43, K7, P1, etc.).

Figura 53 – Esquema elétrico de um veículo comercial



**FONTE:** O Autor

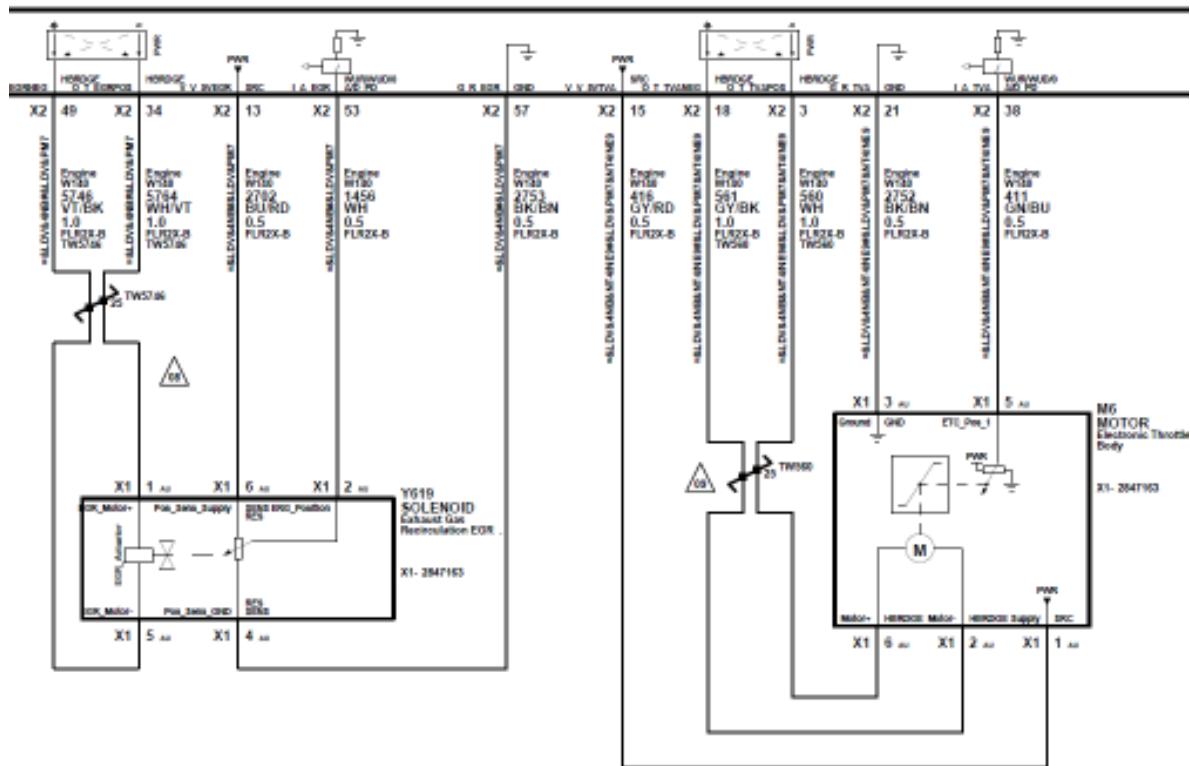
Abaixo a legenda detalhada de um determinado circuito do esquema elétrico da figura acima.

- (10) --- Número do circuito  
2,5 --- Bitola do cabo em mm<sup>2</sup>  
sw/gr --- Cor do isolante do cabo (preto/cinza)  
Traço verde --- Cor de identificação do chicote da cabine  
S3 --- Interruptor da coluna de direção  
K7 --- Relé das luzes indicadoras de direção

A figura 54 apresenta o trecho do esquema elétrico de um automóvel de passeio. Note que cada circuito representado possui do lado esquerdo uma lógica, identificando a aplicação do circuito, e do lado direito uma sequência de letras e números (por exemplo ENGINE; W140; 416; GY/RD; 0.5; FLR2X-B) que identificam as características técnicas do cabo elétrico e a

qual chicote elétrico o mesmo pertence. Cada componente elétrico possui um código alfanumérico e um breve descritivo da sua funcionalidade (por exemplo Y619, M6, etc), bem como a numeração dos pinos e do conector de interface.

Figura 54 – Esquema elétrico de um veículo de passeio



não representar fielmente a construção do chicote elétrico instalado no veículo protótipo. Portanto, é necessário que o técnico apresente ao menos conhecimento básico sobre o funcionamento de todos os componentes que possuem interface elétrica para conseguir identificar um possível erro no esquema elétrico.

Para confirmar a existência de uma não conformidade no esquema elétrico, deve-se confrontar o diagrama com os documentos de especificação técnica dos componentes afetados pela avaria, com o objetivo de verificar se as ligações, pinagem dos conectores, bitolas, proteções, etc. estão dimensionados corretamente.

## 5.5 ANÁLISE DE FALHAS ELÉTRICAS

Ao encontrar uma não conformidade durante as etapas de verificações estáticas e dinâmicas, deve-se coletar todas as informações disponíveis sobre a divergência, com o objetivo de isolar as variáveis em busca da causa raiz do defeito no menor tempo possível.

A análise deve sempre ser iniciada pelas verificações mais rápidas e triviais de serem executadas do que pelas verificações mais complexas e morosas. Com isso, evita-se o desperdício de tempo ocasionado por um diagnóstico incorreto, como por exemplo desmontar o veículo para realizar uma inspeção detalhada no chicote elétrico do painel de instrumentos e, posteriormente, descobrir que a causa da anomalia era um simples fusível queimado na central elétrica do painel de instrumentos (IEC).

A seguir, serão descritos os passos básicos para iniciar a análise de uma falha elétrica, visando confirmar que o defeito encontrado é inerente ao desenvolvimento do veículo e não devido a um erro de montagem ou problema de qualidade de uma determinada peça.

- O primeiro passo é inspecionar se foram montados os componentes corretos no veículo, conforme a lista de peças (*Bill of Material*) liberada pela engenharia. Esse procedimento é importante para excluir a possibilidade de um erro relativo a montagem do protótipo e assegurar que o conteúdo do protótipo está conforme o projeto.
- O segundo passo é confirmar que a divergência encontrada não está declarada na lista de exceções apresentada durante as reuniões do projeto, pois uma peça que possui o funcionamento limitado devido ao baixo grau de maturidade, pode ser confundida com um mau funcionamento. Nesse caso, a não conformidade já é esperada pela engenharia e deve ser ignorada e relatada no livro de ocorrências da construção do protótipo (*log book*).

- O terceiro passo é localizar os dispositivos de proteção referentes ao sistema afetado, em busca de fusíveis queimados tanto na central de proteção primária (BFT) como nas centrais elétricas de proteção secundárias (IEC e UEC). Caso seja encontrado um fusível queimado, antes de substituir o mesmo, deve-se com o auxílio de um multímetro medir a impedância dos circuitos a fim de verificar se não existe um curto-círcito entre os cabos elétricos que são protegidos pelo respectivo fusível.
- O quarto passo é checar se todas as conexões elétricas do componente sob investigação estão corretamente encaixadas nos seus respectivos ramais do chicote elétrico, sem a existência de falso travamento dos conectores, conexão efetuada no ramal incorreto devido a não utilização de dispositivos *poka-yoke* no projeto, a ausência de conexão com algum ramal do chicote ou ainda terminais afastados no interior do conector gerando mau contato.
- O quinto passo é verificar se todos os *inlines* de interligação dos chicotes elétricos estão devidamente conectados entre si e no seu respectivo par, livre de inversões ou desconexões.

Se após concluir os passos acima a não conformidade do veículo ainda persistir, significa que a probabilidade da causa raiz da falha ser oriunda ao projeto é elevada, uma vez que foram descartadas as possibilidades de erros durante a montagem do protótipo e de qualidade. A partir desse ponto, será necessário efetuar a análise nos subsistemas de forma minuciosa e isoladamente, com o auxílio dos equipamentos de diagnóstico para efetuar a leituras dos códigos de falhas (DTCs) armazenados na memória dos módulos eletrônicos, ou ainda analisar todas as informações que estão trafegando no barramento de comunicação serial em busca de inconsistências.

Um método confiável para identificar e isolar a falha visando facilitar a localização de sua origem é utilizar o equipamento de diagnóstico conectado na tomada DLC do veículo. Com isso, é possível efetuar a leitura dos códigos de falhas (ativos e históricos) armazenados em todos os módulos eletrônicos e sensores inteligentes conectados ao barramento de comunicação serial. Para as ECUs que funcionam de forma autônoma (*stand alone*) em uma arquitetura elétrica mista, é necessário remover a peça do veículo e efetuar a leitura dos códigos de falhas com o auxílio de uma jiga de testes específica.

No mercado estão disponíveis diversos equipamentos, *softwares* e interfaces de diagnóstico para a aplicação automotiva, a figura 55 apresenta a leitura dos códigos de erro de um veículo utilizando duas ferramentas distintas: o equipamento “A” e o equipamento “B”.

Figura 55 – Leitura dos DTCs utilizando as ferramentas de diagnóstico “A” e “B”

**CAN2000 - Diagnose**

File KW2000 | GMLAN - communication Read ECU data Write ECU data DeviceControl Security Immobiliser User defined

15:02:27 Errors in Control-Unit: 11

Errorcode C0246 Simultaneous Dropout of Both Front Wheel Speed Sensors  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp disabled DTC present & history

Errorcode P0383 Glow Plug Control Module Control Circuit Low  
Failure Type: 02 - General electric: short to ground, Warning lamp disabled DTC present & history

Errorcode P0103 Mass or Volume Air Flow "A" Circuit High  
Failure Type: 11 - Additional electrical: above maximum threshold, Warning lamp disabled DTC present & history

Errorcode P161F Security Access Not Active  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

Errorcode U0405 Invalid Data Received From Cruise Control Module  
Failure Type: 51 - Algorithm based: calculation failure, Warning lamp disabled DTC present

Errorcode U18B9 Primary High Speed CAN Subnet Configuration List Not Programmed  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

Errorcode P160E Engine Upgrade Prevention Identifier Not Programmed  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

Errorcode P161C Tire Size in EEPROM not programmed  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

Errorcode P160A Control Module Programming Error - Max vehicle speed not programmed  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

Errorcode P0630 VIN Not Programmed or Incompatible - ECM/PCM  
Failure Type: 00 - General electric: no additional information, Warning lamp enabled DTC present & history

End of DTC report

Errorcode Database: 17.6.2008

Show Course of Events Save Course of Events Delete Course of Events ECM Global Epsilon Ready NUM

**Global A 2012.v3 - Vehicle Spy**

File Setup Spy Networks Measurement Embedded Tools GMLAN Scripting and Automation Run Tools Help

12 problems...

Online... Desktop 1

-LS Read Codes : Success DTC Count = 9

Results

All ECUs : -LS Read Codes

SDM\_LS : B0015 : Left Front/Driver Pretensioner Deployment Loop

RADIO : B2455 : Cellular Phone Microphone Circuit

IPC\_LS : No Codes

Onstar\_LS : No Codes

SDM\_LS : B0052 : Deployment Commanded

SDM\_LS : B1001 : Option Configuration Error

UPA\_LS : U0423 : Invalid Data Received From Instrument Panel Cluster

SDM\_LS : B1325 : Device Power {single or 1} (low current 1) Circuit

SDM\_LS : B1325 : Device Power {single or 1} (low current 1) Circuit

SDM\_LS : U0140 : Lost Communication With Body Control Module

SDM\_LS : U0155 : Lost Communication With Instrument Panel Cluster

Message History

Line	Time	Tx	Er	Description	ArbId/Header	Len	DataBytes	Network	Node	ChangeCnt	RTC Time
11	22.239 ms				559	8	81 00 00 00 93 00 00 00	SW CAN	APA_LS	02:55:04:521 P...	
12	89.154 ms				547	8	81 93 25 07 11 00 00 00	SW CAN	SDM_LS	02:55:04:530 P...	
13	130.621 ms				547	8	81 C1 00 08 11 00 00 00	SW CAN	SDM_LS	02:55:04:721 P...	
14	109.506 ms				547	8	81 C1 00 00 11 00 00 00	SW CAN	SDM_LS	02:55:04:831 P...	
15	111.802 ms				547	8	81 00 00 00 88 00 00 00	SW CAN	SDM_LS	02:55:04:942 P...	

FONTE: O Autor

Note que, independente do tipo da ferramenta de diagnóstico utilizada, o nível de detalhamento das informações referentes aos DTCs apresentados por ambos é o mesmo. Uma vez que o método para decodificação dos *frames* é padronizado pelo protocolo de comunicação estabelecido para a rede serial do veículo (CAN, MOST, FlexRay, etc.) e as descrições dos DTCs são padronizados pela biblioteca do dicionário de dados (*data dictionary*) referente ao nível da versão do *plateau*<sup>1</sup> definida para todos os módulos eletrônicos que estão conectados ao barramento de comunicação, como por exemplo 6.x.x.

O código de falha é composto por quatro informações fundamentais cujo objetivo principal é diagnosticar a origem, a descrição da anomalia e o seu estado. A figura 56 apresenta o exemplo da leitura detalhada de um código de falha e abaixo a explicação sobre cada um dos respectivos campos do DTC.

Figura 56 – Detalhamento das informações de um DTC

TCM_HS : No Codes
BCM_HS : B1380 : Device Ignition ACCESSORY Circuit
Response From HS Side Global Architecture Gateway and Body Control Module (\$541)
<b>Mode \$A9 Sub Function:</b> Read Status Of DTC By Status Mask <b>Positive Response</b>
DTC : B1380 : Device Ignition ACCESSORY Circuit
Failure Byte (\$04) : General Electric Failure: open circuit
Status Byte (\$59) : Current DTC Since Power Up

FONTE: O Autor

- [BCM\_HS] Indica qual módulo eletrônico está sinalizando a falha;
- [B1380] Indica o código alfanumérico padronizado referente a falha;
- [Device ignition accessory circuit] Apresenta a descrição detalhada da função afetada pela falha. A nomenclatura é padronizada pela biblioteca do dicionário de dados;
- [Open circuit] O campo *Failure Byte* indica a possível causa que originou a falha;
- [Current] O campo *Status Byte* indica o estado da falha, se presente ou histórico.

A descrição apresentada pelo DTC servirá de norte para a condução das próximas etapas da análise, uma vez que as verificações ficarão restritas ao sistema o qual apresentou a avaria. No exemplo da figura 56, a análise deve ser focada nos componentes BCM, cilindro de ignição e aos circuitos do chicote elétrico responsáveis por interligar as duas peças.

<sup>1</sup> *Plateau*: Nível do *software* (calibração). Deve ser o mesmo e/ou compatível entre todas as ECUs do veículo.

### 5.5.1 Análise dos Chicotes Elétricos

O chicote elétrico é um dos componentes mais complexos do veículo, possuindo inúmeras variantes devido as diversas combinações de opcionais ofertada em um automóvel e também por ser composto por mais de 2.000 circuitos elétricos, construídos utilizando um comprimento superior a 1.000 metros de cabos elétricos de diversas bitolas, distribuídos ao longo de todos os compartimentos da carroçaria.

A primeira análise a ser efetuada é identificar no relatório de leitura dos DTCs quais são os circuitos do chicote elétrico que estão relacionados com a falha encontrada. Essa informação é necessária para localizar no esquema elétrico a origem, o destino, os *inlines* afetados, a pinagem e os componentes interligados por esses circuitos.

Posteriormente, verificar se os circuitos estão alocados nas cavidades corretas dos conectores e *inlines*, conforme especificado pelo esquema elétrico. Confirmado que estão com a pinagem correta, deve-se desconectar os componentes e com o auxílio de um multímetro analisar a continuidade dos cabos em busca de uma possível interrupção no interior do chicote elétrico, como por exemplo proveniente de um esmagamento durante a montagem.

Ainda com os componentes desconectados, checar se os circuitos não estão apresentando curto-circuito para o aterramento ou para a alimentação, tanto proveniente da bateria (kl.30) quanto da ignição (kl.15), e também em relação aos demais circuitos do entorno.

No caso dos ramais que interligam sensores e cargas indutivas, como exemplo o motor de partida, deve-se ainda avaliar se a resistividade dos cabos e a queda de tensão máxima ao longo dos circuitos estão dentro dos valores especificados pelo projeto.

Para os circuitos que compõem as redes de comunicação seriais, deve-se analisar se a quantidade de ECUs conectadas e a impedância do barramento estão conforme o especificado pelo protocolo de comunicação, caso contrário poderão ocorrer reflexões do sinal elétrico no interior dos cabos, gerando mal funcionamento na comunicação entre os módulos eletrônicos.

Para os ramais dos chicotes elétricos que estão localizados na parte externa do veículo, deve-se averiguar se foram aplicados conectores selados e resistentes a intempéries/humidade, a fim de evitar mau contato dos terminais ocasionados por oxidação e/ou infiltração de impurezas no interior dos conectores.

Concluída as verificações acima, é possível afirmar que a causa do defeito não está associada aos chicotes elétricos. Caso a falha ainda persista no veículo, deverão ser analisado os demais componentes elétricos relacionados ao sistema que foi reportado pelo equipamento de diagnóstico, através da leitura dos DTCs.

### 5.5.2 Análise dos Sensores, Transdutores e Atuadores

Existem diversos sensores, transdutores e atuadores embarcados em um veículo, principalmente nos itens de *powertrain* como motor e transmissão. A figura 57 ilustra alguns exemplos de sensores, transdutores e atuadores automotivos.

Figura 57 – Exemplos de sensores, transdutores e atuadores automotivos



FONTE: O Autor

Devido a diversidade dos tipos e modelos de componentes existentes, é uma tarefa complexa obter acesso rápido a todas as especificações técnicas das peças no exato momento em que a análise está sendo realizada. Portanto, a seguir serão descritos os passos para a execução de uma análise com agilidade, focada na solução do defeito de funcionamento do veículo e não em diagnosticar o motivo pelo qual um sensor ou atuador falhou.

O método mais rápido para diagnosticar o defeito em sensores, transdutores e atuadores é substituir o componente do veículo sob investigação por uma peça idêntica cujo o correto funcionamento já foi certificado anteriormente via bancada de testes ou por outro veículo. Esse método de análise é conhecido por verificação cruzada. Se ao substituir o componente a falha for solucionada, indica que a peça removida é a causa raiz do defeito no veículo.

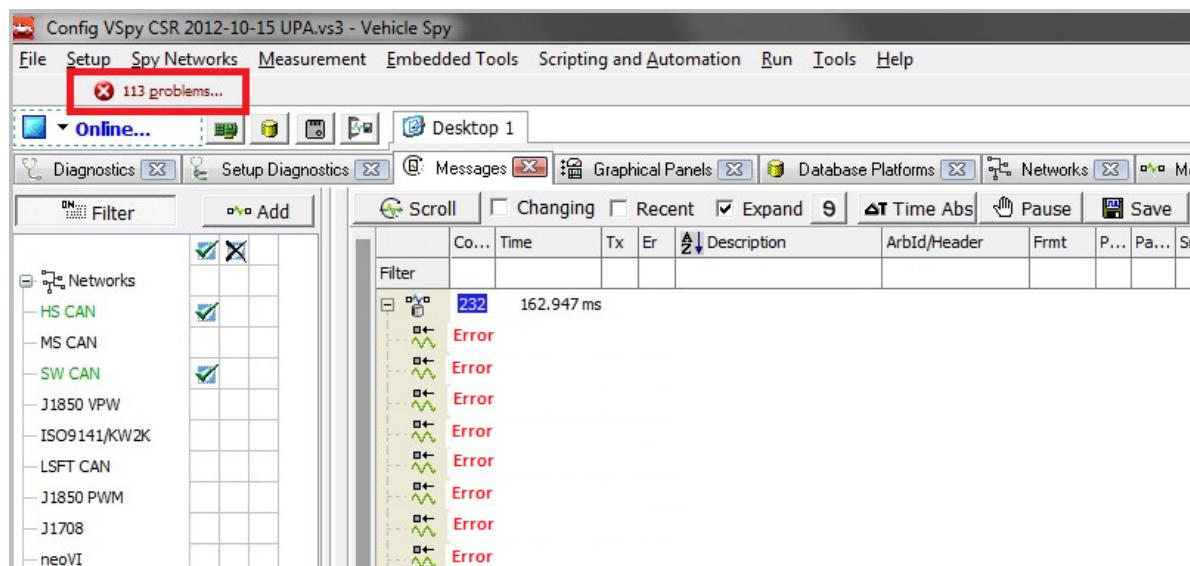
Caso não exista uma peça idêntica disponível para efetuar a verificação cruzada, deverá ser obtido o mínimo de informações técnicas sobre o funcionamento do componente, com o propósito de simular os sinais gerados pelo sensor com o auxílio de equipamentos externos tais como gerador de funções, caixa de década resistiva, fonte de tensão variável, etc. Com esse método também é possível diagnosticar caso o defeito esteja no componente sob estudo.

### 5.5.3 Análise dos Barramentos de Comunicações Seriais

A integridade das redes de comunicações seriais é muito importante para garantir a perfeita comunicação entre os diversos módulos eletrônicos e sensores inteligentes conectados ao barramento e, consequentemente, ao correto funcionamento do veículo.

Com o auxílio do equipamento de diagnóstico, deve-se verificar a ausência de erros sistêmicos por sobrecarga de informações na rede, como por exemplo, ocasionado por uma ECU fora de especificação, que está transmitindo mensagens continuamente, ou devido ao projeto incorreto do barramento, contendo comprimento total ou quantidade de *nodes*<sup>1</sup> superiores ao especificado pelo protocolo de comunicação. A figura 58 apresenta a leitura da ocorrência de erros sistêmicos no barramento de comunicação, danificando as mensagens durante a transmissão.

Figura 58 – Exemplo de erro sistêmico no barramento de comunicação



FONTE: O Autor

<sup>1</sup> *Nodes*: É a nomenclatura genérica utilizada para quaisquer dispositivo eletrônico conectado ao barramento.

Nesse caso, o primeiro passo é checar a quantidade de ECUs e o comprimento total do barramento, de acordo com o especificado pelo protocolo de comunicação, levando em consideração o tipo da topologia (anel, estrela, etc) empregada no veículo.

O segundo passo é, com o equipamento de diagnóstico conectado na tomada DLC e monitorando a rede em tempo real, ir desconectando e reconectando do barramento cada um dos *nodes* até o momento em que os *frames* comecem a trafegar normalmente pela rede. Assim, é possível identificar qual a ECU que está ocupando todo o tráfego da rede.

Outra forma é tentar enviar o comando de “*shut-up*” difundido para todos os *nodes* da rede, com o objetivo que os módulos eletrônicos parem de transmitir as mensagens no barramento. O ponto negativo dessa tentativa é que a ECU defeituosa pode não responder ao comando e continuar efetuando a transmissão na rede de forma irrestrita.

A próxima análise é confirmar que todos os módulos eletrônicos conectados a rede estão utilizando o dicionário de dados compatíveis com o *mainstream* do veículo, caso contrário alguns *frames* poderão ser interpretados incorretamente ou até mesmo ser ignorado pelas unidades receptoras. Essa verificação é realizada com o auxílio do equipamento de diagnóstico, através do comando para leitura da versão do *software* de cada uma das ECUs.

As verificações referentes a impedância, curto-circuitos, conexões mal efetuadas e inversões de pinagem entre os sinais *High* e *Low* do barramento já foram abordados anteriormente na seção de análise dos chicotes elétricos.

#### 5.5.4 Análise dos Módulos Eletrônicos

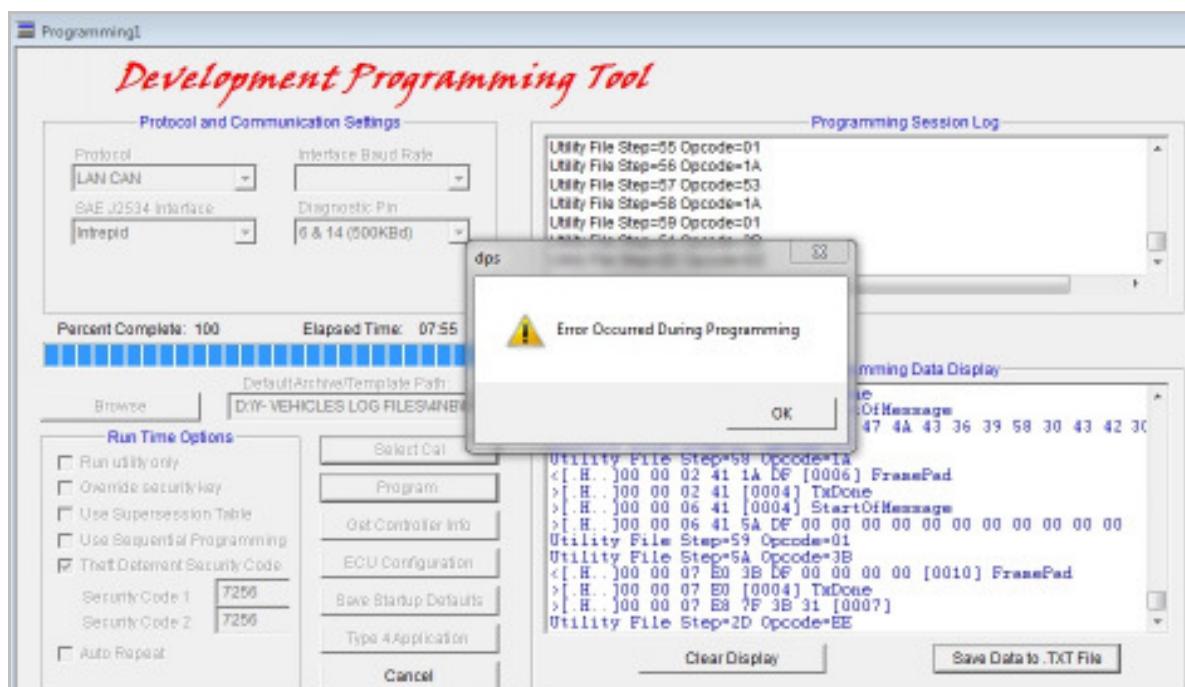
Se após a conclusão das análises dos chicotes elétricos, sensores e transdutores, esquema elétrico e barramentos de comunicações seriais o defeito elétrico do veículo ainda não estiver solucionado, por exclusão é possível afirmar que a causa raiz da falha está em algum dos módulos eletrônicos conectado ao barramento.

Os módulos eletrônicos possuem elevada complexidade, uma vez que são compostos por *hardware*, *firmware*, *software* e calibrações e a ocorrência de erro no projeto de quaisquer uma dessas porções levará a uma falha na operação do componente.

A primeira análise a ser efetuada é assegurar que a versão do *hardware* da peça montada é a correta para o nível do *batch* do protótipo, e também se é compatível com a versão do *software* programado no final da montagem do veículo.

Normalmente, os defeitos relativos a placa eletrônica ou referentes a incompatibilidade entre o *hardware* e o *software* são detectados no momento da programação da ECU, uma vez que a própria ferramenta de calibração apresenta a divergência. A figura 59 ilustra a ocorrência de um erro durante a programação da ECU.

Figura 59 – Exemplo de erro durante a programação da ECU



FONTE: O Autor

Um veículo apresenta diversas configurações de opcionais, motores e carrocerias e, cada uma dessas combinações, possuem um conjunto de arquivos de calibrações e *softwares* dedicados para viabilizar a utilização de um *hardware* único para todas as proliferações possíveis.

Uma calibração incorreta poderá apresentar inconsistências no funcionamento do veículo, como por exemplo a BCM indicar uma falha no módulo ABS em um veículo que não possui tal equipamento instalado, ou ainda habilitar uma função no veículo que não seja permitida pela legislação local do país o qual o produto será comercializado.

Assim, o próximo passo é certificar que as calibrações programadas no final da montagem são as corretas para a lista de opcionais que compõem o veículo. Uma calibração inexata pode ser resultado de uma liberação incorreta pela engenharia ou ainda um erro no manuseio dos arquivos durante a programação no final da montagem do protótipo.

Com o auxílio da ferramenta de diagnóstico, é enviado o comando de leitura dos *softwares* e arquivos de calibrações instalados em todos os módulos eletrônicos do veículo. Com essas informações, é possível confirmar se as programações foram efetuadas corretamente. A figura 60 apresenta o relatório de leitura dos arquivos de calibrações de um veículo.

**Figura 60 – Leitura dos arquivos de calibrações das ECUs**

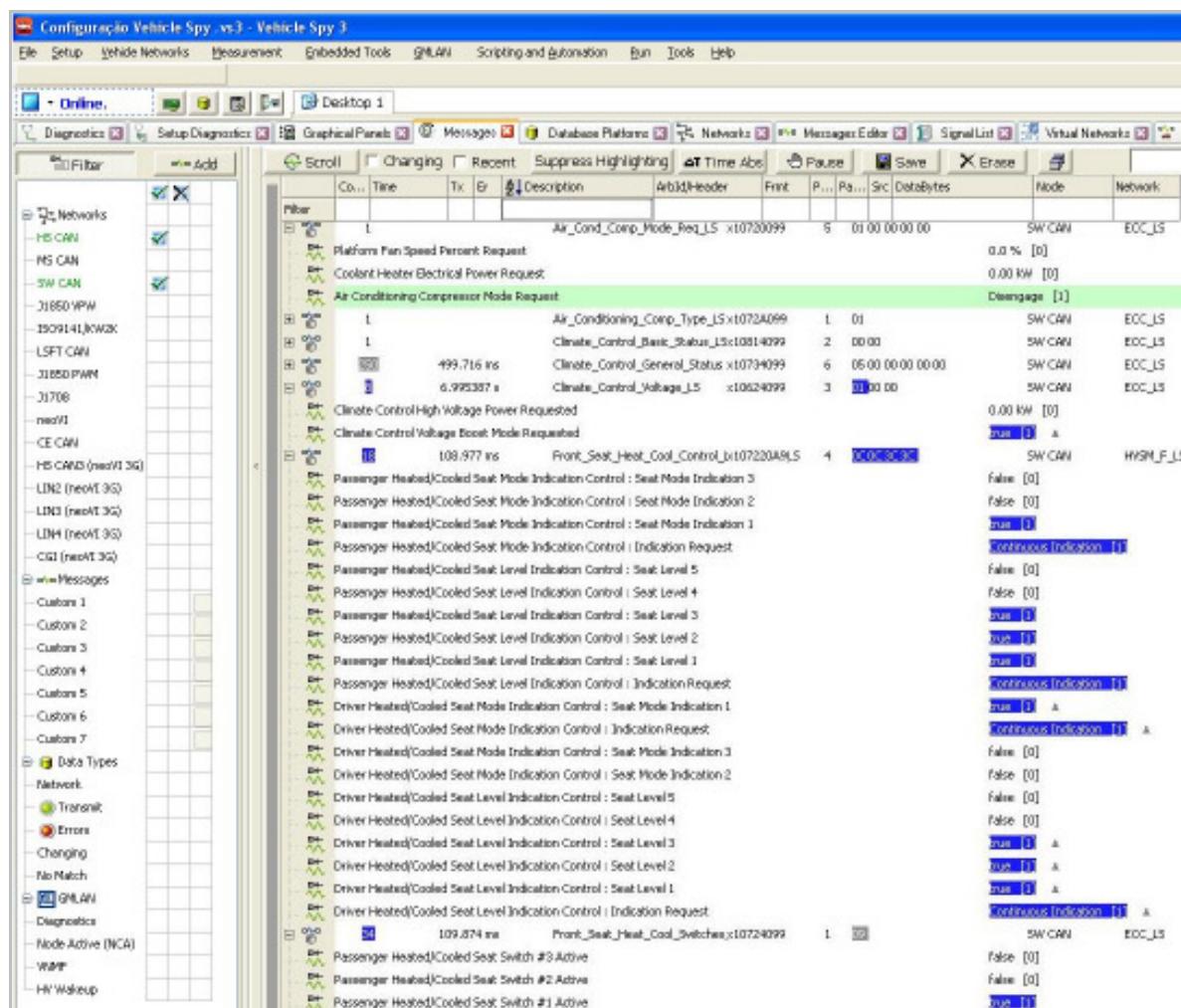
Description	Value	Description	Value	Description	Value
BCM Base Model PN	13586290.BM	IPC Base Model PN	50008127.AA	ECM Base Model PN	12642924.
BCM End Model PN	13586284.BM	IPC End Model PN	50008127.AA	ECM End Model PN	12645748.
BCM Software PN 1	13589552.TE	IPC Software PN 1	95102830.AA	ECM Software PN	12654173.AA
BCM Cal File PN 2	62002004.AG	IPC Cal File PN 2	52021090.ZA	ECM Vehicle System Cal	24581440.AC
BCM Cal File PN 3	62003002.AG	IPC Cal File PN 3	94776943.ZA	ECM Fuel System Cal	24581437.AB
BCM Cal File PN 4	62004002.AD	IPC Cal File PN 4	94776944.ZA	ECM Speed Sensor Cal	24581446.AB
BCM Cal File PN 5	62005002.AF	IPC Cal File PN 5	52018350.ZA	ECM Engine Diag Cal	24581430.AB
BCM Cal File PN 6	62006001.AF	IPC Cal File PN 6	52030947.ZA	ECM Engine Cal	24581422.AB
BCM Cal File PN 7	62007002.AF	IPC Cal File PN 7	94776954.ZA	ECM MPU Software	12629371.CA
BCM Cal File PN 8	62008002.AE	IPC Cal File PN 8	52036253.AA	ECM MPU Cal	24581427.AB
BCM Cal File PN 9	62009004.AJ	IPC Cal File PN 9	95101835.AA	ECM Database Level	6.4.0
BCM Cal File PN 10	62010004.AE	IPC Cal File PN 10	95101834.AA		
BCM Cal File PN 11	62011002.AE	IPC Boot PN	96961683.AG		
BCM Cal File PN 12	62012001.AE	IPC Database Level	5.4.3		
BCM Cal File PN 13	13338869.AD				
BCM Cal File PN 14	13505712.AA				
BCM Cal File PN 15	13505711.AA				
BCM Cal File PN 16	13505709.AA				
BCM Cal File PN 17	13505710.AA				
BCM Cal File PN 18	13505707.AB				
BCM Cal File PN 19	13505708.AB				
BCM Cal File PN 20	62020002.AF				
BCM Boot PN	0.0				
BCM Database Level	6.4.9				
Description	Value	Description	Value	Description	Value
IRC Base Model PN	52049354.AA	UPA Base Model PN	13286928.AA	EBCM Base Model PN	94772656.AA
IRC End Model PN	52049354.AA	UPA End Model PN	20925650.AA	EBCM End Model PN	94772346.AA
IRC Software PN 1	52055714.AA	UPA Software PN 01	20925649.AA	EBCM Cal File PN 1	52058501.AA
IRC Cal File PN 2	0.	UPA Cal File PN 02	52048442.AA	EBCM Cal File PN 2	52061234.AA
IRC Cal File PN 3	52055717.AA	UPA Cal File PN 03	0.	EBCM Cal File PN 3	94772658.AA
IRC Cal File PN 4	52055729.AA	UPA Cal File PN 04	0.	EBCM Cal File PN 4	94772657.AA
IRC Cal File PN 5	52055730.AA	UPA Boot PN	13299923.AA	EBCM Cal File PN 5	0.
IRC Cal File PN 6	52055737.AA	UPA Database Level	1.6.3	EBCM Boot PN	96961285.AF
IRC Cal File PN 7	52055739.AA			EBCM Database Level	6.4
IRC Cal File PN 8	52055741.AA				
IRC Boot PN	586478663.AA				
IRC Database Level	6.4.1				

Revisão: CSR 2012-03-20 "UPA Module"

FONTE: O Autor

Confirmado que as calibrações estão corretas, de acordo com a lista de opcionais do veículo, o próximo passo é analisar os *frames* transmitidos e recebidos pelos módulos eletrônicos associados a função que não está operando corretamente. Baseado nas respostas relacionadas a função sob análise, é possível identificar se o módulo eletrônico está processando corretamente os sinais das entradas, oriundos de outras ECUs ou de sinais discretos do veículo. A figura 61 apresenta a análise dos *frames* referentes a comunicação entre os módulos HVSM e ECC, relativo a função de aquecimento dos bancos dianteiros.

Figura 61 – Análise dos *frames* de comunicação entre ECUs



FONTE: O Autor

Na figura acima, os *frames* destacados em azul indicam uma mudança de estado. Neste exemplo, o comando discreto de um botão para acionar o aquecimento dos bancos dianteiros foi recebido pelo módulo ECC, que transmitiu essa mensagem via rede de comunicação serial

para o módulo HVSM, o qual respondeu que o aquecimento dos bancos foi acionado com sucesso e informou ainda o nível de aquecimento selecionado pelo usuário.

Em caso de falha na função aquecimento dos bancos, um dos módulos ECC ou HVSM não teriam respondido ao comando de acionamento do botão, sendo então possível identificar a causa raiz do defeito através da análise das mensagens trafegando na rede de comunicação.

É possível enviar comandos para os módulos eletrônicos via rede de comunicação serial, com o propósito de obter as respostas de uma determinada função, transmitir mensagens simulando uma ECU, efetuar a leitura de variáveis em tempo real e até mesmo obter o controle dos I/Os de uma ECU para acionar as suas saídas individualmente. Esses recursos são úteis para checar incosistências no *software* da peça. A tabela 10 apresenta alguns comandos disponíveis no protocolo de comunicação GMLAN.

**Tabela 10 – Exemplos de comandos para diagnóstico**

Diagnostic Service Table Overview			
Diagnostic Service Name	SID	Diagnostic Service Name	SID
(Test Mode)	(hex)	(Test Mode)	(hex)
Clear Diagnostic Information	04	Define PID By Address	2D
Initiate Diagnostic Operation	10	Request Download	34
Read Failure Record Data	12	Transfer Data	36
Read Data By Identifier	1A	Write Data By Identifier	3B
Return To Normal Operation	20	Tester Present	3E
Read Data By Parameter Identifier	22	Report Programming State	A2
Read Memory By Address	23	Programming Mode	A5
Security Access	27	Read Diagnostic Information	A9
Disable Normal Communication	28	Read Data By Packet Identifier	AA
Dynamically Define Message	2C	Device Control	AE

FONTE: O Autor

No exemplo da figura 61, supondo uma avaria no módulo HVSM, através da utilização dos comandos de diagnóstico, é possível acessar suas entradas e saídas (I/Os) visando forçar o acionamento do aquecimento dos bancos independentemente do funcionamento da calibração da peça. Caso a função seja acionada com sucesso, fica confirmada uma incosistência nas rotinas dos arquivos de calibração.

Similar as demais peças do veículo, o *software* também apresenta diferentes graus de maturidade durante o desenvolvimento. Uma versão com baixo grau de maturidade pode não

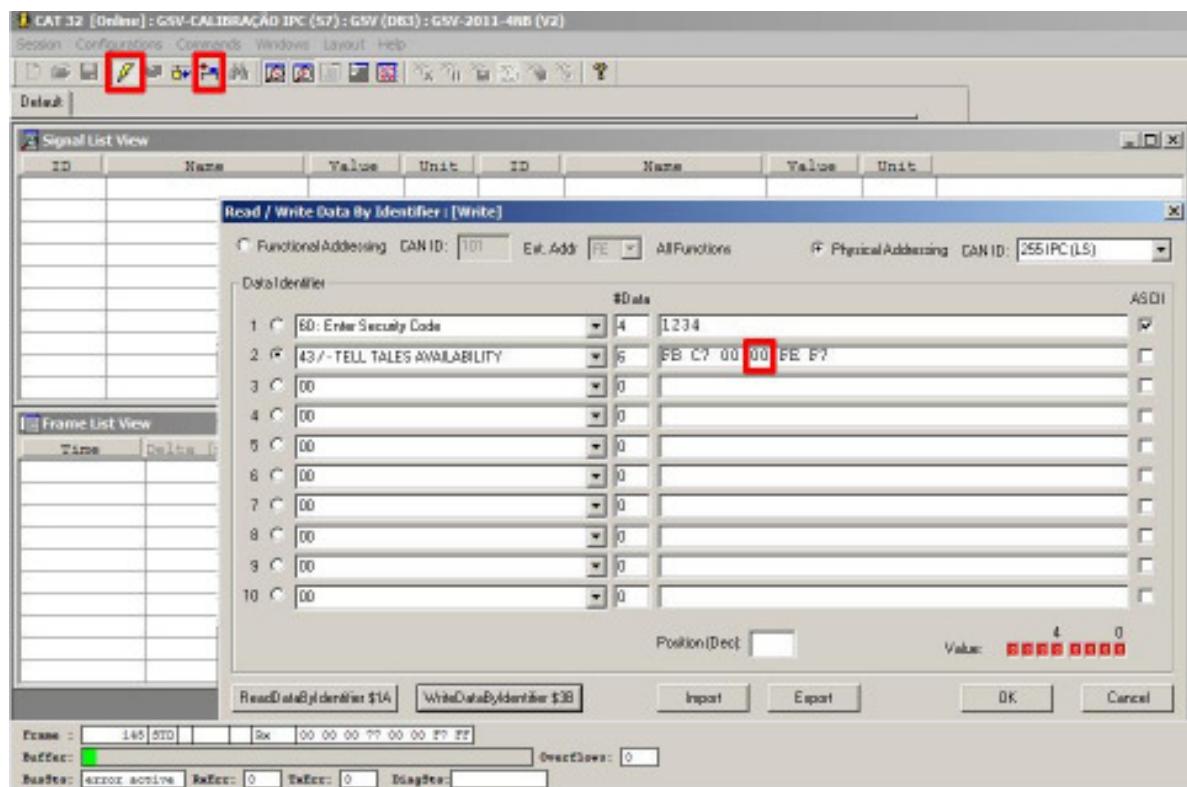
conter as rotinas de diagnóstico implementadas, como consequência o módulo eletrônico não irá apresentar o respectivo DTC na ocorrência de uma falha.

Na ausência de indicação do DTC para orientar a condução das análises, devem ser verificados todos os *frames* transmitidos e recebidos pelo módulo eletrônico sob análise, somente assim será possível identificar a ocorrência de uma incosistência no barramento.

Caso o equipamento de diagnóstico não possua biblioteca contendo o dicionário de dados para decodificar os bytes das mensagens que trafegam no barramento, é altamente recomendado possuir as especificações técnicas das ECUs com o objetivo de decodificar e identificar a finalidade dos *frames* no contexto funcional do veículo.

É possível ainda a realização de aprendizados utilizando os comandos e o equipamento de diagnóstico, caso seja detectado um *learning* incorreto durante realização das análises. A figura 62 apresenta a gravação de um *byte* na memória do painel de instrumentos para habilitar uma determinada luz de advertência (*telltale*) no mostrador impresso.

Figura 62 – Realização de aprendizado utilizando ferramenta de diagnóstico



FONTE: O Autor

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesse trabalho foram apresentados os tipos de arquiteturas elétricas automotivas existentes, os diversos protocolos de comunicação seriais empregados pelas montadoras OEM e os principais subsistemas embarcados aplicados nos mercados emergentes. Essa introdução teórica é a base para compreender o funcionamento dos sistemas elétricos e eletrônicos de um automóvel moderno, com o objetivo de servir como subsídio para a utilização da metodologia apresentada durante a condução das análises das falhas elétricas encontradas nos veículos protótipos.

Ainda com relação aos tipos de arquiteturas elétricas, foi demonstrado que atualmente a melhor escolha para aplicação no desenvolvimento de um novo veículo destinado ao mercado brasileiro são as arquiteturas Distribuída ou Mista.

Foi explicado que uma análise morosa e imprecisa ou ainda a entrega de um veículo protótipo com defeito para execução dos testes no campo de provas, acarretará em um atraso considerável no desenvolvimento do projeto e, consequentemente, a data de lançamento do novo automóvel e a estratégia da empresa serão impactadas.

Visando o embasamento da metodologia, foi dissertado desde a conceituação do projeto, passando pelas diferentes etapas da montagem do protótipo e finalizando pelas verificações funcionais do veículo. Foi indicado a sequência cronológica a ser seguida durante a execução das análises, partindo sempre do mais fácil para o mais difícil, buscando a otimização do tempo despendido para a realização da operação.

A metodologia apresentada engloba, além dos módulos eletrônicos, a análise técnica dos chicotes elétricos, conectores, sensores, atuadores e transdutores. Foi demonstrado que a utilização do equipamento de diagnóstico para monitorar as mensagens que trafegam na rede de comunicação serial em tempo real e a leitura dos códigos de falhas (DTC), são fundamentais para direcionar a análise e orientar o engenheiro a solucionar o defeito com precisão e agilidade.

Como forma de comprovar a eficácia na utilização dessa metodologia, pode-se mencionar o fato de que, em um período de seis anos, não ocorreram quaisquer atrasos durante a montagem e entrega de aproximadamente 400 veículos protótipos (incluindo *retrofits* e

mulas<sup>1</sup>), pertencentes ao projeto de uma nova família de veículos global dos segmentos B (sedan) e C (minivan). Como resultado, o lançamento dos novos produtos nos diversos mercados mundo afora, aconteceram dentro dos prazos previstos pela matriz da montadora OEM.

A recomendação para prosseguir com essa obra é incluir as próximas gerações de protocolos de comunicação que ainda serão lançados pelas indústrias automotivas, tais como a evolução do AUTOSAR ou ainda a implementação de redes *ethernet* e *wireless* para comunicação e diagnóstico entre as ECUs dos automóveis.

---

<sup>1</sup> Termo utilizado para designar um automóvel atual de produção, cujo conteúdo é modificado para instalar e testar em avançado componentes protótipos tais como motor, transmissão, suspensão, pneus, etc.

## REFERÊNCIAS

AA1CAR AUTO DIAGNOSIS REPAIR. **Electronic Stability Control.** Disponível em: <[http://www.aa1car.com/library/stability\\_control.htm](http://www.aa1car.com/library/stability_control.htm)>. 2010. Acesso em: 01 fev. 2014.

AA1CAR AUTO DIAGNOSIS REPAIR. **Electric Power Steering.** Disponível em: <[http://www.aa1car.com/library/steering\\_power\\_electric.htm](http://www.aa1car.com/library/steering_power_electric.htm)>. 2010. Acesso em: 01 fev. 2014.

ALLDATA LLC. **Safety Systems and Safety Check.** Disponível em: <[http://www.procarcare.com/icarumba/resourcecenter/encyclopedia/icar\\_resourcecenter\\_encyclopedia\\_safety1.asp#airbags](http://www.procarcare.com/icarumba/resourcecenter/encyclopedia/icar_resourcecenter_encyclopedia_safety1.asp#airbags)>. 2009. Acesso em: 01 fev. 2014.

ANFAVEA (Ed.). **Empresas Associadas à ANFAVEA.** Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/associadas.html>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

BMW. **Flex Ray.** 2014. Disponível em: <[http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/flex\\_ray.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/flex_ray.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

BOSCH AUTOMOTIVE ELECTRONICS. **CAN with Flexible Data-Rate.** 2012. Disponível em: <[http://www.bosch-semiconductors.de/media/pdf\\_1/canliteratur/can\\_fd\\_spec.pdf](http://www.bosch-semiconductors.de/media/pdf_1/canliteratur/can_fd_spec.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

CHEVROLET AUTO MANUALS. **Ultrasonic Parking Assist.** Disponível em: <<http://www.cheviguide.com/cinfo-1032.html>>. 2014. Acesso em: 01 fev. 2014.

CYTRON TECHNOLOGIES SDN BHD. **UART – Universal Asynchronous Receiver and Transmitter.** 2010. Disponível em: <<http://tutorial.cytron.com.my/2012/02/16/uart-universal-asynchronous-receiver-and-transmitter/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DAFULAI ELECTRONICS. **OBDII J1708/J1587 Simulator.** 2012. Disponível em: <<http://www.dafulaielectronics.com/Documents/DFLSOBD2.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DAVIS, Leroy. **Automotive Byteflight Bus.** 2012. Disponível em: <[http://www.interfacebus.com/bytewhite\\_Byteflight\\_Interface.html](http://www.interfacebus.com/bytewhite_Byteflight_Interface.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DAVIS, Leroy. **SAE J1850 Description.** 2012. Disponível em: <[http://www.interfacebus.com/Automotive\\_SAE\\_J1850\\_Bus.html](http://www.interfacebus.com/Automotive_SAE_J1850_Bus.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DENATRAN. **Resolução 311:** Obrigatoriedade do uso do equipamento Airbag. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CONTRAN\\_311\\_09.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_311_09.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DENATRAN. **Resolução 312:** Obrigatoriedade do uso do equipamento ABS. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CONTRAN\\_312\\_09.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_312_09.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

DOMINION TECHNOLOGIES INC. **Roll Test.** Disponível em:  
 <<http://www.dominiontec.com/template.php?pid=38>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

EBERSPÄCHER ELECTRONICS GMBH & CO. **FlexRay Introduction.** Disponível em:  
 <<http://www.eberspaecher-electronics.com/en/company/flexray-introduction.html#c62713>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

EMOTIVE GMBH & CO. KG. **K-Line.** 2011. Disponível em:  
 <<http://www.emotive.de/en/index.php/de/doc/car-diagnostic-systems/bus-systems/k-line>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

EMOTIVE GMBH & CO. KG. **SAE J1850.** 2011. Disponível em:  
 <<http://www.emotive.de/en/de/doc/car-diagnostic-systems/bus-systems/sae-j1850>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

GOULD, Larry. **A Manager's Guide to FlexRay.** Disponível em:  
 <<http://66.192.79.249/articles/090205.html>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

GRABIANOWSKI, Ed. **How the Hughes Telematics Device Works.** Disponível em:  
 <<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/automotive/hughes-telematics-device.htm>>. 2009. Acesso em: 01 fev. 2014.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Arquiteturas Eletro-Eletrônicas: Conceituação.** Disponível em: <[http://www.alexag.com.br/CAN\\_Bus\\_Parte\\_1.html](http://www.alexag.com.br/CAN_Bus_Parte_1.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Barramento Controller Area Network.** Disponível em: <[http://www.alexag.com.br/CAN\\_Bus\\_Parte\\_2.html](http://www.alexag.com.br/CAN_Bus_Parte_2.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Eletrônica Embarcada Automotiva.** 1a. Edição São Paulo: Editora Érica Ltda, 2007.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida; SARAIVA, Antonio Mauro. **O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no barramento CAN.** In: CONGRESSO SAE 2002, São Paulo. **Paper.** SAE, 2002. p. 1 - 10.

HONDAOLDIES.DE. **TCS - Traction Control System.** 2013. Disponível em:  
 <<http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Technik/tcs.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

IBAMA. **PROGRAMAS DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

INTREPID CONTROL SYSTEMS INC. **J1939.** Disponível em:  
 <<http://www.intrepidcs.com/technologies/j1939.html>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

IXXAT AUTOMATION GMBH. **SAE J1939 Introduction.** 2014. Disponível em:  
 <[http://www.ixxat.com/introduction\\_sae\\_j1939\\_en.html](http://www.ixxat.com/introduction_sae_j1939_en.html)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

KVASER. **CAN Protocol Tutorial.** Disponível em: <<http://www.kvaser.com/can-protocol-tutorial>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

LEHOLD, J. **Communication Requirements for Automotive Systems**. Key notes presentation Wien: IEEE International Workshop, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PROCONVE: PROGRAMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES**. 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_arquivos/proconve\\_163.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

MOST COOPERATION. **MOST Specification Rev. 2.4**. 2005. Disponível em: <<http://www.mostcooperation.com/en/publications/specifications-organizational-procedures/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **Introduction to the Local Interconnect Network (LIN) Bus**. 2011. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/9733/en/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **FlexRay Automotive Communication Bus Overview**. 2009. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/3352/en/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

NHTSA. **AIR BAG TECHNOLOGY IN LIGHT PASSENGER VEHICLES**. 2001. Disponível em: <[http://www.nhtsa.gov.edgesuite-staging.net/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crashworthiness/Air%20Bags/rev\\_report.pdf](http://www.nhtsa.gov.edgesuite-staging.net/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crashworthiness/Air%20Bags/rev_report.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

NOVERO AUTOMOTIVE. **Telematics connecting the car**. Disponível em: <<http://novero-automotive.com/en/solutions/telematics/>>. 2014. Acesso em: 01 fev. 2014.

OLIVER, D. John. **Implementing the J1850 Protocol**. 2007. Disponível em: <<http://www.systemconnection.com/downloads/PDFs/OBD-IIJ1850Whitepaper.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

REMARKMEDIA INC. **Como funcionam os alarmes de carros**. 2001. Disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/alarmes-dos-carros.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

REPAIRPAL INC. **Anti-Lock Brake System**. 2014. Disponível em: <<http://repairpal.com/anti-lock-brake-system>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

ROBERT BOSCH GMBH. **Diagnostic Communication of Vehicles**. 2008. Disponível em: <[http://automotivetechis.files.wordpress.com/2012/06/presentation\\_debrecen\\_en\\_2008\\_03\\_27.pdf](http://automotivetechis.files.wordpress.com/2012/06/presentation_debrecen_en_2008_03_27.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

ROBERT BOSCH GMBH. **Parking Assistance Systems from Bosch**. Disponível em: <[http://www.bosch-automotivetechology.us/media/db\\_application/downloads/pdf/comfort\\_1/en\\_5/einparkenleichtgemachtparkassistentzsystemevonbosch.pdf](http://www.bosch-automotivetechology.us/media/db_application/downloads/pdf/comfort_1/en_5/einparkenleichtgemachtparkassistentzsystemevonbosch.pdf)>. 2014. Acesso em: 01 fev. 2014.

SAE INTERNATIONAL. **The SAE J1939 Communications Network**. 2014. Disponível em: <[http://standards.sae.org/j1939\\_201308/](http://standards.sae.org/j1939_201308/)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

SAE INTERNATIONAL. **Class B Data Communications Network Interface**. 2014. Disponível em: <<http://standards.sae.org/wip/j1850/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**SALÃODOCARRO. Como funciona o Controle de Estabilidade (ESP).** Disponível em: <<http://salaodocarro.com.br/como-funciona/controle-de-estabilidade-esp.html>>. 2012. Acesso em: 01 fev. 2014.

**SANTOS, Max Mauro Dias. Redes de Comunicação Automotiva.** 1ª Edição São Paulo: Editora Érica Ltda, 2010.

**SIMMA SOFTWARE INC. Understanding SAE J1939.** 2009. Disponível em: <<http://www.simmasoftware.com/j1939-presentation.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**STI INNSBRUCK. Vehicle Networks: Multimedia Protocols.** 2009. Disponível em: <<http://www.sti-innsbruck.at/sites/default/files/courses/fileadmin/documents/vn-ws0809/06-VN-MultimediaNetworks.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**STONE, Marvin. Introduction to SAE J1850.** Oklahoma State: Oklahoma State University, 2008. 13 slides, color.

**TELECOMPK.NET. Telematics In Pakistan.** 2009. Disponível em: <<http://telecompk.net/2009/06/30/telematics-in-pakistan/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**TTTECH COMPUTERTECHNIK. CAN - Byteflight – Flexray – TTP/C Comparison.** 2002. Disponível em: <[http://www.softwareresearch.net/fileadmin/src/docs/teaching/SS07/VS/TTTech-Protocol\\_Comparison.pdf](http://www.softwareresearch.net/fileadmin/src/docs/teaching/SS07/VS/TTTech-Protocol_Comparison.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. Airbag.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Airbag>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. CAN bus.** 2014. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](http://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. J1587.** 2013. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/J1587>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. J1939.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/J1939>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. Telematics.** Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Telematics>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WIKIPEDIA. Universal asynchronous receiver/transmitter.** 2014. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_asynchronous\\_receiver/transmitter](http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WORKSHOP-MANUALS. Component layout Electronic Climate Control (ECC).** Disponível em: <[http://workshop-manuals.com/vauxhall/corsa-d/d\\_heating\\_ventilation\\_air\\_conditioning\\_\(hvac\)/ecc\\_electronic\\_climate\\_control/component\\_locator/component\\_layout\\_electronic\\_climate\\_control\\_\(ecc\)/](http://workshop-manuals.com/vauxhall/corsa-d/d_heating_ventilation_air_conditioning_(hvac)/ecc_electronic_climate_control/component_locator/component_layout_electronic_climate_control_(ecc)/)>. 2008. Acesso em: 01 fev. 2014.

**WRIGHT, Lance. ELECTRONIC CLIMATE CONTROL.** Disponível em: <[http://www.auto-repair-help.com/automotive\\_maintenance/climate\\_control.php](http://www.auto-repair-help.com/automotive_maintenance/climate_control.php)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

## ANEXO A – Modelo OSI

O Modelo OSI divide as redes de computadores em sete camadas, identificando claramente os níveis envolvidos em um processo de comunicação, apontando os tipos de trabalhos que devem ser realizados por cada uma das camadas no processo de transmissão e recepção da informação. A figura 63 apresenta a estruturas de camadas do Modelo OSI e a seguir um breve descritivo da função de cada uma das respectivas camadas.

Figura 63 – Estrutura de camadas do modelo OSI



FONTE: Santos (2010)

- Camada de Aplicação: É a camada superior do modelo de OSI que corresponde aos *softwares* que serão utilizados para promover uma interação entre a máquina destinatária e o usuário da aplicação. Esta camada também disponibiliza os recursos (protocolo) para que tal comunicação aconteça.
- Camada de Apresentação: Também denominada camada de Tradução, converte o formato original da mensagem recebida pela camada de Aplicação em um formato comum a ser usado na transmissão da mesma, ou seja, um formato entendido pelo protocolo utilizado. Um exemplo comum é a conversão do padrão de caracteres quando o dispositivo transmissor usa um padrão diferente do ASCII. Pode ter outras funções como compressão de dados e criptografia.

- Camada de Sessão: Administra e sincroniza o diálogo entre dois processos de aplicação. Nessa camada ocorre a quebra de um pacote com a inclusão de uma marca lógica ao longo da mensagem. Essa marca tem a finalidade identificar os blocos recebidos para que não ocorra uma recarga, quando houver erro na transmissão.

- Camada de Transporte: É responsável pela aquisição dos dados enviados pela camada de Sessão e dividí-los em pacotes que serão transmitidos pela rede, ou seja repassados a camada de rede.

- Camada de Rede: Torna transparente para a camada de transporte a forma como os recursos dos níveis inferiores são utilizados para implementar conexões de rede. Controla a operação da rede de um modo geral, com mecanismos de endereçamento de computadores e roteamento.

- Camada de Enlace de Dados: É responsável por detectar e corrigir erros que possam ocorrer no nível físico. Controla o fluxo, recepção, delimitação e taxa de transmissão de dados, evitando que o sistema envie informações a uma taxa maior que o receptor possa processar e também estabelece um protocolo de comunicação entre os equipamentos diretamente conectados.

- Camada Física: É a camada mais baixa do modelo OSI, define as especificações elétricas e físicas dos meios que serão transmitidos e recebidos as mensagens no formato de bits de baixo nível não-estruturados em um meio físico. Em especial, define a relação entre um dispositivo e um meio de transmissão, tal como um cabo de cobre ou um cabo de fibra óptica. Isso inclui o layout de pinos, tensões, impedância da linha, especificações do cabo, temporização, hubs, repetidores, adaptadores de rede, adaptadores de barramento de host, etc.

Existem diversas tecnologias e padrões de redes de comunicação serial automotiva, as quais são selecionadas e aplicadas conforme os requisitos funcionais, velocidade de tráfego necessário, tolerância a falhas e custo do sistema. Alguns exemplos de redes são LIN, CAN, VAN, TTP/C, ByteFlight, FlexRay, MOST, etc.

## **ANEXO B – Transmissão Isócrona**

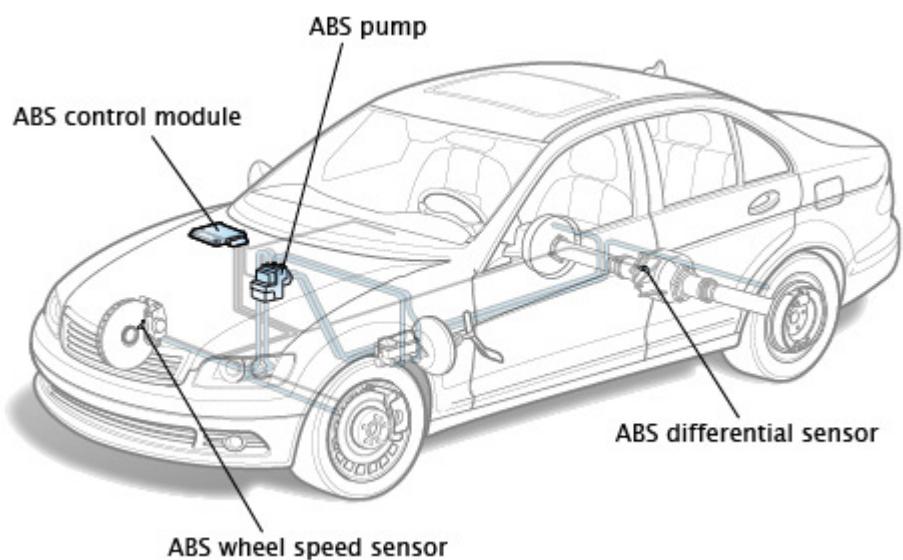
É um tipo de transmissão onde a taxa de transferência dos dados é predefinida entre os dispositivos emissor e receptor, sendo definida uma taxa contínua para entrega da informação. Foi concebido originalmente para permitir a entrega constante e completa de informações de vídeo por um meio de transmissão. Ao estabelecer uma sessão de transmissão, necessita uma largura de banda específica e uma taxa de bits bem definida para permitir que o fluxo contínuo e ininterrupto dos dados seja estabelecido durante a comunicação.

## ANEXO C – Sistema de Freios Anti-blocantes - ABS

O sistema de freios antiblocantes (*Anti-lock Braking System*) é um sistema de segurança que evita o travamento das rodas durante uma frenagem de emergência, quando o pedal de freio é pressionado com esforço elevado, com o objetivo de não derrapar o veículo e manter o contato contínuo entre a superfície do pneu e o solo. Outra vantagem desse sistema é manter a dirigibilidade e a possibilidade de desviar dos obstáculos durante a frenagem.

O sistema de freios ABS é composto por uma unidade central de controle eletrônico (ECU), quatro sensores de velocidade instalado nas rodas (*speed sensors*), uma bomba hidráulica para pressurizar o fluido de freio (*pump*) e de duas a oito válvulas hidráulicas (*valves*) instaladas na linha de freios. A ECU monitora constantemente a velocidade de rotação de cada uma das rodas, caso seja detectado a velocidade de rotação de uma determinada roda significativamente mais lenta do que as demais, é então verificada uma condição de bloqueio iminente da roda, sendo atuado as válvulas hidráulicas para diminuir a pressão hidráulica na linha de freios da roda afetada, reduzindo assim a força de frenagem sobre a roda. Por outro lado, se a ECU detecta uma roda girando significativamente mais rápido do que as outras, a pressão hidráulica de frenagem para a roda é aumentada fazendo com que a força de frenagem seja elevada. Este processo é repetido continuamente por até quinze vezes por segundo e pode ser notado pelo motorista através de uma leve pulsação no pedal do freio. A figura 64 apresenta os principais componentes do sistema de freios ABS.

Figura 64 – Componentes do sistema de freios ABS



FONTE: RepairPal Inc (2014)

A ECU está programado para ignorar diferenças de velocidade entre as rodas abaixo de um limite crítico pois, quando o carro está em uma curva, as duas rodas localizadas na direção ao centro da curva giram mais lento do que as duas rodas localizadas ao lado externo da curva. Por essa mesmo motivo, um eixo diferencial é utilizado em praticamente todos os veículos.

Caso ocorra uma falha em quaisquer componente do ABS, a ECU desativa o funcionamento do sistema e uma luz de advertência é acendida no painel de instrumentos do veículo bem como é registrado um código de falhas na rede de comunicação serial do veículo.

## ANEXO D – Sistema de Alarme Anti-furto

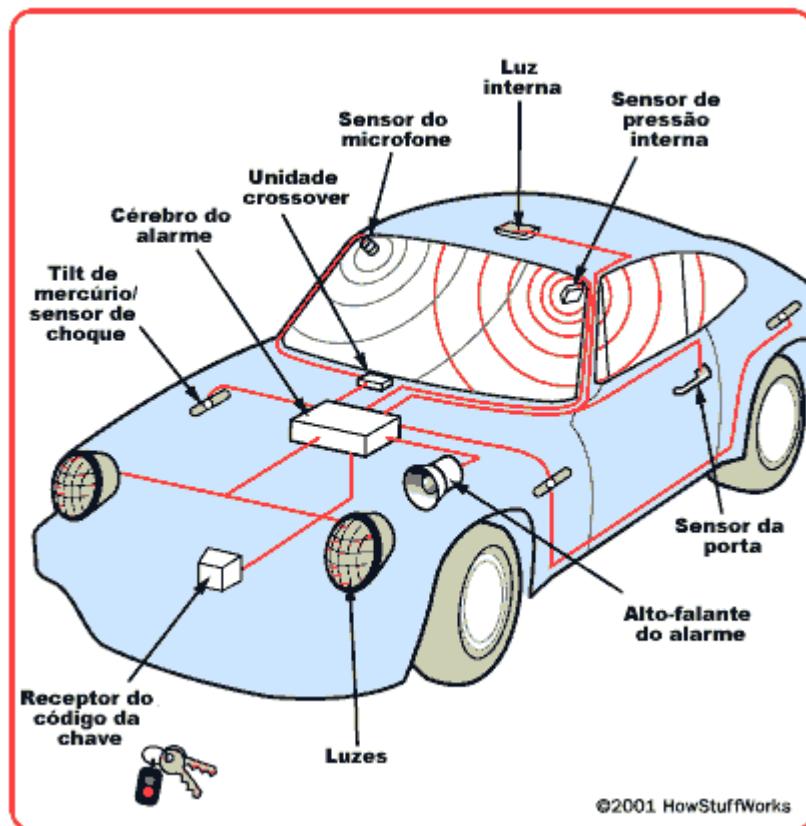
Um sistema anti-furto é qualquer dispositivo ou método utilizado para prevenir ou impedir a apropriação não autorizada de itens considerados valiosos. O furto/roubo é um dos crimes mais comuns e antigo da humanidade. Desde a invenção da primeira chave e fechadura com segredo até a identificação biométrica de partes do corpo, os sistemas anti-furto evoluíram com o automóvel para dificultar a ação de criminosos.

Nos automóveis, o sistema de alarme anti-furto pode funcionar de forma autônoma (*stand-alone*) ou nos veículos mais recentes integrado a arquitetura elétrica. O sistema de alarme é composto basicamente pelos seguintes componentes:

- Unidade de processamento central, que pode ser um módulo eletrônico separado ou integrado a outras ECUs como por exemplo a BCM;
- Sirene ou buzina com nível de pressão sonora em torno de 100dB;
- Interruptores (*ajar*) para monitoramento das portas, tampa traseira e capô do motor;
- Sensores ultrassônicos para monitoramento de intrusão na cabine via violação dos vidros ou teto solar;
- Antena receptora de rádio frequência (RF) para habilitar e desabilitar o sistema via controle remoto;
- Sensores de inclinação e acelerômetro para monitorar o deslocamento do veículo em caso de reboque não autorizado;
- Fonte de energia alternativa para alimentar o sistema em caso de desconexão da bateria principal do veículo.

Em veículos mais complexos, o sistema de alarme possui comunicação serial e está conectado no barramento de dados para funcionamento integrado aos demais sistemas do veículo tais como o módulo imobilização eletrônica do motor por chave codificada (*immobilizer*), que inibe o funcionamento do motor e demais periféricos de *powertrain* em caso de utilização de chave incorreta ou por solicitação do módulo de alarme; com o módulo de telemática, que envia um aviso via rede de dados de telefonia móvel GSM (*Global System for Mobile Communications*) para uma central de monitoramento informando a violação do veículo, bem como as coordenadas latitude e longitude do GPS (*Global Positioning System*) para a localização do automóvel; com o módulo eletrônico da carroceria para efetuar o acionamento das luzes externas e confirmar o acionamento do sistema. A figura 65 apresenta os principais componentes de um sistema de alarme anti-furto básico.

Figura 65 – Componentes do sistema de alarme antifurto



FONTE: RemarkMedia Inc (2001)

O funcionamento do alarme consiste em, após a ativação via o controle RF, monitorar continuamente e com baixo nível de consumo de energia todos os interruptores e sensores do veículo em busca de intrusões não autorizadas. No caso da detecção de uma violação, o sistema passa imediatamente para o estado disparado, acionando a sirene e as luzes externas bem como bloqueando o funcionamento do veículo com o corte da ignição e da bomba de combustível ou ainda bloqueando o motor via comunicação serial com a ECM.

Caso ocorra uma falha no sistema de alarme, o mesmo ficará inoperante e, dependendo do tipo de implementação se *stand-alone* ou integrado a arquitetura elétrica, o veículo poderá ficar impossibilitado de ter a partida do motor a combustão liberada. Nesse caso, o módulo do alarme pode indicar a falha através de uma luz de advertência alocada no painel de instrumentos ou através de um *blink code* apresentado por uma luz de sinalização instalada em um dos sensores ultrasônicos localizados na coluna “A” da carroceria.

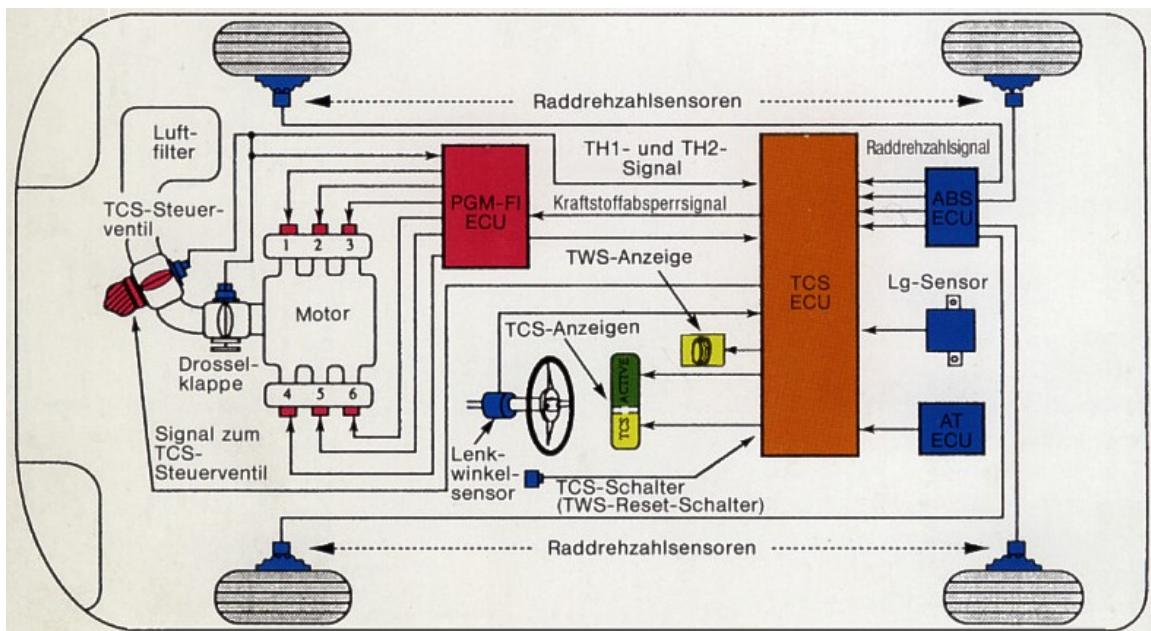
## ANEXO E – Sistema de Controle de Tração - ASR

O sistema de controle de tração, em alemão denominado *Antriebsschlupfregelung* (ASR) ou em inglês denominado *Traction Control System* (TCS), é normalmente uma função secundária implementada no sistema de freios ABS em conjunto com o módulo de controle do motor, cujo objetivo é evitar a perda de tração das rodas motrizes ao solo. Quando ativo, limita a aplicação do torque do motor sobre as rodas, aumentando o controle do motorista em situações onde a pressão aplicada no pedal do acelerador é incompatível com as condições encontradas na superfície do solo.

A intervenção do controle de tração no veículo consiste em: reduzir ou suprimir a ignição dos cilindros; limitar o fornecimento de combustível para o motor; aplicar força de frenagem em duas ou mais rodas; fechar o corpo de borboleta em veículos equipados com acelerador eletrônico; abertura da válvula *wastegate* em veículos equipados com turbo compressor.

O sistema de controle de tração é composto por uma central eletrônica de controle, sensores de velocidade nas rodas, válvulas hidráulicas instaladas na linha de freios – sendo esses componentes compartilhados com os freios ABS – luz de indicação de atuação e de falha no painel de instrumentos e comunicação serial com os módulos eletrônicos do motor e da transmissão automática. A figura 66 apresenta os componentes do sistema de tração.

Figura 66 – Componentes do sistema ASR



FONTE: Hondaoldies.de (2013)

Quando a unidade de gerenciamento do controle de tração (muitas vezes incorporadas em outra ECU) detecta uma ou mais rodas motrizes girando com uma velocidade significativamente maior que a outra, ele aciona o módulo eletrônico do ABS para aplicar a pressão de freio na roda com maior velocidade a fim de reduzir a sua tração e transferir o torque excedente para a outra roda através do eixo diferencial. Essa ação ocorre em conjunto com o módulo eletrônico do motor (ECM), que reduz o torque do motor limitando eletronicamente a aplicação do acelerador e o fornecimento de combustível. Existem casos em que o controle de tração é indesejável, como na situação de desatolar o veículo da neve ou lama, por esse motivo existe um interruptor para desligar o controle de tração temporariamente até que o veículo atinja uma determinada velocidade de cruzeiro.

Caso ocorra uma falha no sistema de tração, a ECU desativa o funcionamento do sistema e uma luz de advertência é acendida no painel de instrumentos do veículo, bem como é registrado um código de falhas (DTC) na rede de comunicação serial, sem maiores prejuízos ao funcionamento do veículo.

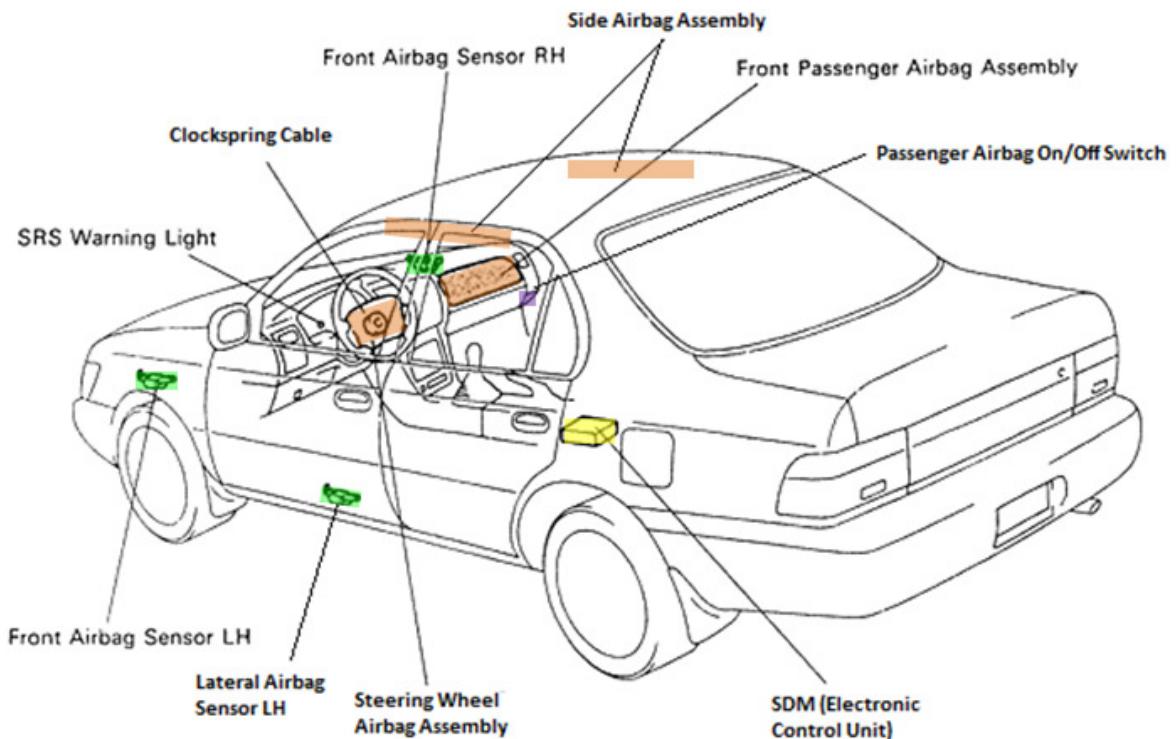
## ANEXO F – Sistema de Retenção Suplementar - Airbag

O sistema de Airbag (bolsa de ar) é um dispositivo de segurança passiva do veículo que deve trabalhar em conjunto com o cinto de segurança. É um sistema de retenção suplementar do ocupante consistindo de uma bolsa de tecido flexível projetada para inflar rapidamente durante um acidente. Sua finalidade é amortecer os ocupantes durante uma colisão e fornecer proteção adicional para seus corpos ao serem projetados em direção ao painel de instrumentos ou as portas durante a desaceleração do veículo.

Os automóveis modernos podem conter múltiplas bolsas de ar instaladas de forma estratégica nas posições frontal, lateral e central do veículo. Uma ou mais bolsas podem ser infladas durante uma colisão dependendo da velocidade do veículo, ângulo, gravidade e zona de impacto afetada, sendo projetado para ser acionada em colisões do tipo moderada a severa.

O sistema de airbag é composto por uma unidade de gerenciamento eletrônico denominada SDM (*Sensing and Diagnostic Module*), sensores de colisão frontais, laterais e central, diversos conjuntos de bolsa/inflator e opcionalmente um interruptor para desabilitar a bolsa de ar do passageiro. A figura 67 apresenta os principais componentes do sistema de Airbag.

Figura 67 – Componentes do sistema AirBag



FONTE: AllData LLC (2009)

Para que o sistema de airbag seja eficaz, é necessário que as bolsas sejam infladas em um tempo muito curto, em torno de 25 milésimos de segundo, cinco vezes mais rápido que o piscar de olhos. A reação química escolhida para encher o airbag tão rapidamente foi a decomposição de azida de sódio, que é um composto químico muito instável e tóxico, constituído por átomos de sódio e de nitrogênio (NaN<sub>3</sub>).

A azida de sódio é acondicionada em um recipiente interno ao inflator, juntamente com nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e óxido de silício (SiO<sub>2</sub>). Quando ocorre uma colisão, o módulo eletrônico SDM envia um pulso elétrico aos inflatores, gerando uma reação química que aquece a azida de sódio a mais de 300°C, resultando na decomposição da azida de sódio em sódio metálico (Na) e em nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>). O nitrogênio molecular é o gás responsável por inflar a bolsa do airbag.

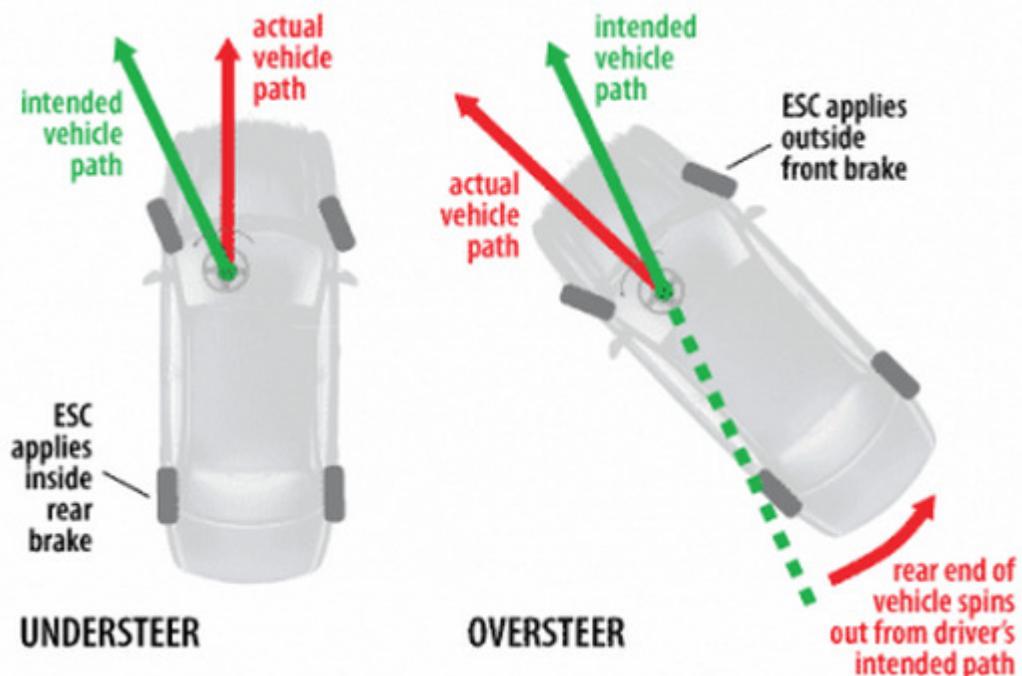
A SDM é ativada todas vez que a ignição do veículo é ligada. Ao detectar alguma falha, uma luz de advertência pisca no painel de instrumentos avisando ao motorista para examinar o sistema de airbag. A maioria das unidades de diagnóstico contém um dispositivo que armazena uma quantidade suficiente de energia elétrica para ativar o airbag, no caso da bateria do veículo ser destruída durante o início da colisão.

## ANEXO G – Controle Eletrônico de Estabilidade - ESP

O programa eletrônico de estabilidade (ESP), também referido como controle eletrônico de estabilidade (ESC) é uma tecnologia computadorizada que melhora a segurança dinâmica e a estabilidade do veículo, detectando e reduzindo a perda de tração (derrapamento) e desvio de rota. Quando o ESP detecta a perda do controle da direção, ele automaticamente aplica os freios para ajudar o condutor a manter o veículo na trajetória pretendida.

Quando o ESP detecta, a partir de seus sensores, algum desvio na trajetória do veículo, aplica os freios individualmente em cada uma das rodas através do modulador hidráulico, sendo na roda dianteira externa para combater o sobresteer (*oversteer*) ou na roda traseira interna para combater o subesteer (*understeer*) conforme pode ser observado na figura 68. Alguns sistemas ESC também reduzem a potência do motor e inibem o pedal do acelerador até que o controle do veículo seja recuperado. É importante salientar que o ESC não amplia a aderência dos pneus ao solo bem como não melhora o desempenho em curvas, em vez disso ajuda a minimizar a perda de controle. Caso o limite de aderência seja atingido, não há como evitar um acidente.

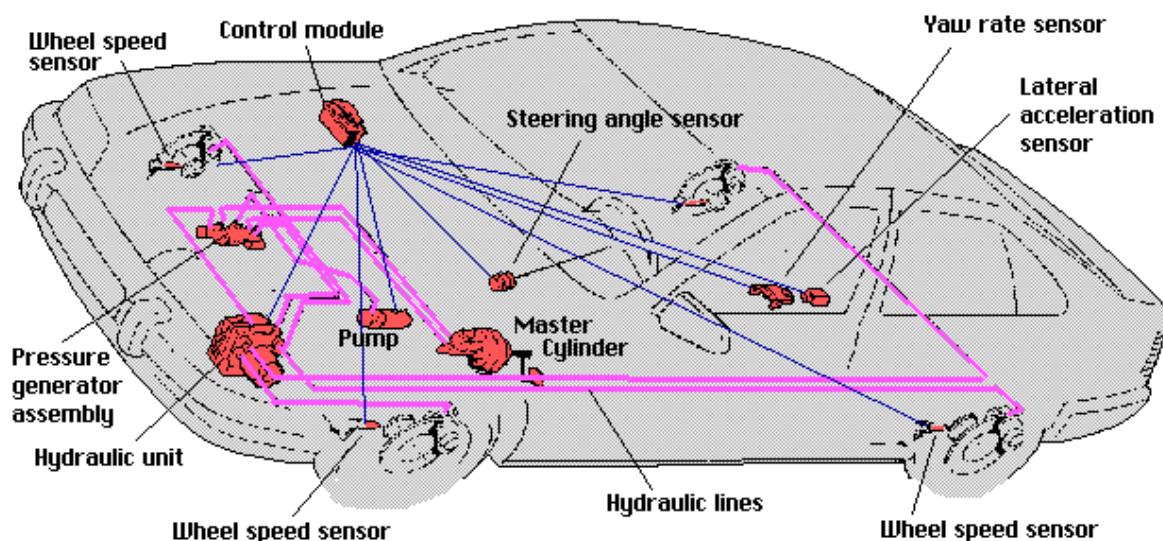
Figura 68 – Funcionamento do sistema ESP



FONTE: AA1Car (2010)

O ESP compartilha a central eletrônica de controle, os sensores de velocidade nas rodas e as válvulas hidráulicas instaladas na linha de freios com o sistema ABS, adicionando os componentes sensor de ângulo de direção (SAS), sensor de rotação (yaw), sensor de aceleração lateral e o sensor de capotamento (*rollover*), bem como a luz de indicação de atuação e de falha no painel de instrumentos e comunicação serial com os demais módulos módulos eletrônicos do veículo. A figura 69 apresenta os componentes do ESP.

Figura 69 – Componentes do sistema ESP



FONTE: AA1Car (2010)

Durante a condução normal, o ESC funciona em segundo plano e monitora continuamente a posição do volante e a trajetória percorrida pelo veículo. Ele compara a direção pretendida pelo motorista (através da medição do ângulo do volante) em relação a direção real da trajetória do veículo (através da medição dos sensores de aceleração lateral, *Yaw* e velocidade individual das rodas).

O ESC intervém apenas quando detecta uma provável perda do controle da direção, ou seja, quando o veículo não está indo na direção a qual o motorista está esterçando o volante. Essa situação pode ocorrer, por exemplo, ao derrapar durante uma manobra brusca de emergência para desviar de um obstáculo, ao contornar uma curva com velocidade incompatível ou em situações de aquaplanagem. A central de processamento calcula a direção da derrapagem e, em seguida, aplica os freios nas rodas de forma assimétrica, a fim de criar um momento torçor sobre o eixo vertical do veículo, opondo-se a direção da derrapagem e trazer o veículo de volta a trajetória comandada pelo motorista.

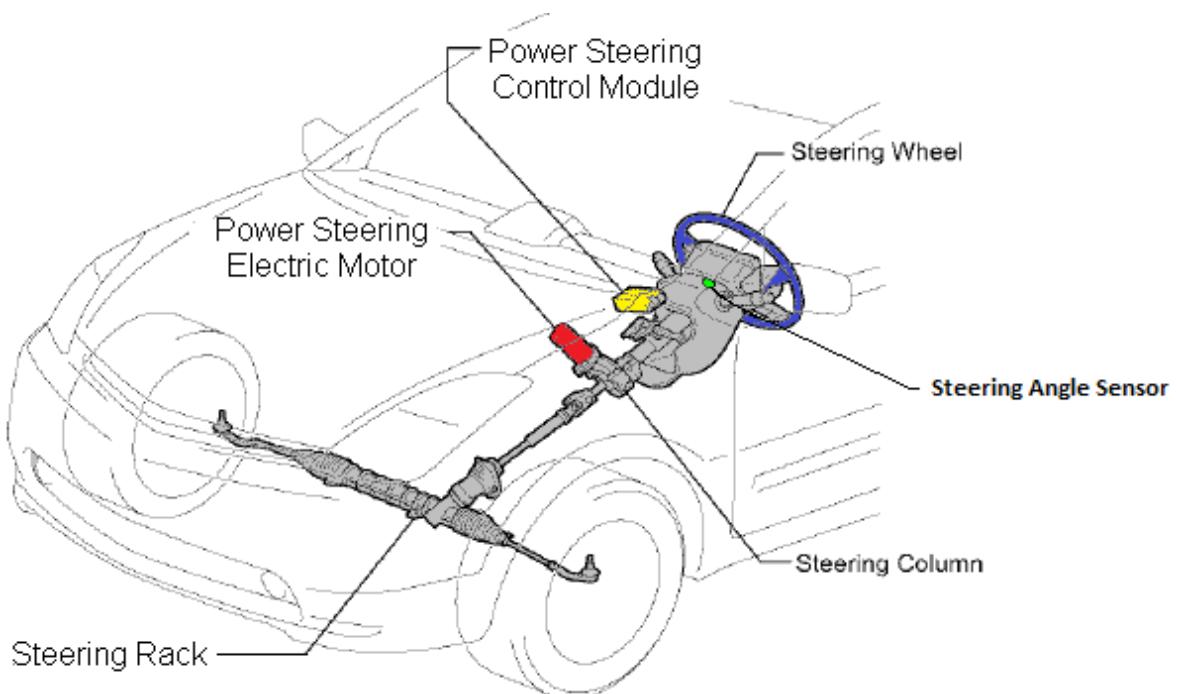
Caso ocorra uma falha no controle de estabilidade, uma luz de advertência é acendida no painel de instrumentos do veículo e registrado um código de falha (DTC) na rede de comunicação serial, sem maiores prejuízos ao funcionamento do veículo.

## ANEXO H – Sistema de Direção Elétrica - EPS

Em automóveis, a direção assistida auxilia os motoristas a dirigir reduzindo o esforço para manusear o volante de direção. Atuadores hidráulicos ou elétricos adicionam uma quantidade de energia controlada para o mecanismo de direção, com o objetivo de reduzir o esforço de operação do motorista, independentemente das condições da via ou velocidade do automóvel. Essa compensação de esforço era realizada tradicionalmente por sistemas hidráulicos sendo sumariamente substituído por sistemas elétricos.

O sistema de direção elétrica (*Electric Power Steering*) é composto por um motor elétrico para adicionar energia ao mecanismo da direção, pelo sensor de ângulo de direção (SAS) que detecta a posição do volante e por um módulo eletrônico de controle (ECU) que com base na leitura dos sensores calcula a quantidade de torque necessária para a assistência através do motor elétrico, que está localizada na coluna de direção. A figura 70 apresenta os componentes do EPS.

Figura 70 – Componentes do sistema EPS



FONTE: AA1Car (2010)

Uma das vantagens da direção elétrica é a eliminação da bomba de direção hidráulica, que subtrai de oito a dez cavalos de potência do motor sob carga. Isso melhora a economia de combustível e ao mesmo tempo elimina o peso e volume da bomba de direção hidráulica e

mangueiras no compartimento do motor. Substituindo o sistema hidráulico também suprime os eventuais problemas com vazamentos de fluido e a necessidade de verificar constantemente o nível do fluido de direção hidráulica. A direção elétrica também é mais silenciosa do que os sistemas hidráulicos.

O modo de condução do veículo com direção elétrica pode ser ajustado com um grau de precisão que não é possível obter com os controles hidráulicos. Ao monitorar as entradas dos diversos sensores, velocidade de cruzeiro e outras informações dinâmicas, o sistema pode ajustar a quantidade ideal de torque assistido ao sistema de acordo com o estilo de condução do motorista. Por exemplo, o sistema EPS pode entregar uma quantidade de energia extra ao estacionar o veículo e também pode reduzir a quantidade de energia de assistência ao dirigir em altas velocidades.

Em caso de falha de um componente que não fornecer assistência, uma ligação mecânica, tal como uma cremalheira e pinhão serve como uma cópia de segurança de um modo semelhante ao dos sistemas hidráulicos.

Girando o volante totalmente para um lado fará com que o módulo de controle PSCM (*Power Steering Control Module*) comande a quantidade máxima de corrente para o motor do EPS. Se o volante permanecer nessa posição durante um longo período de tempo, o sistema entra em modo de proteção para que o motor elétrico não superaqueça. Nesse modo, o PSCM vai limitar a quantidade de corrente para o motor consequentemente reduzir o nível de assistência.

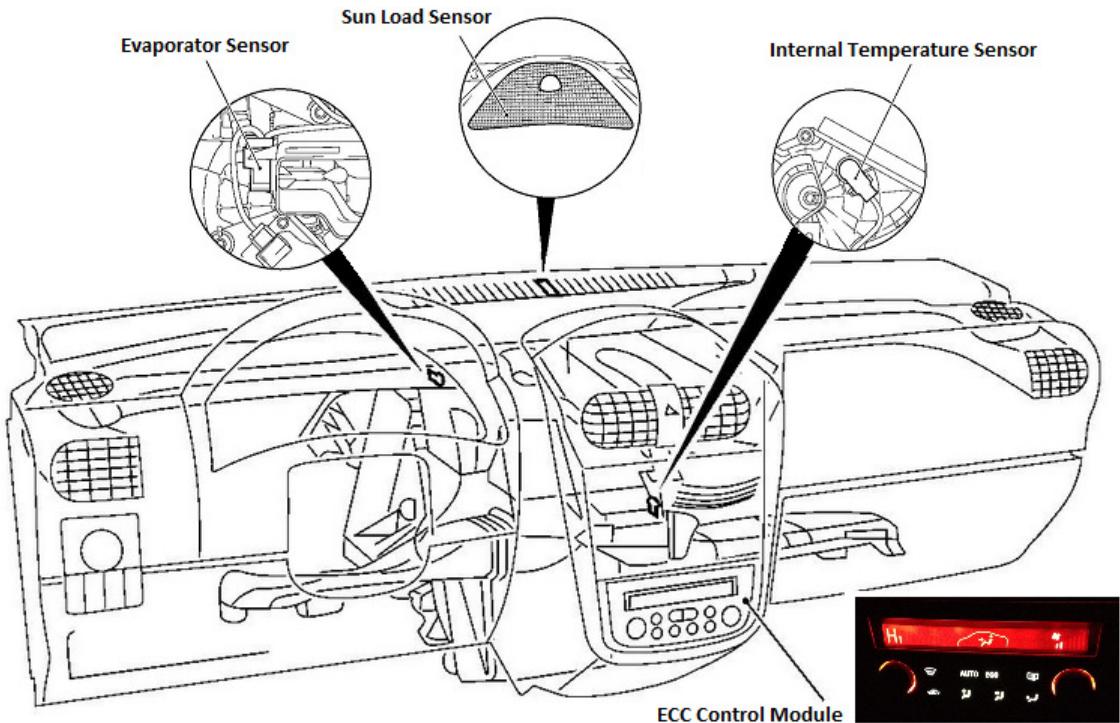
Quando o módulo PSCM detecta alta temperatura do sistema, o modo de proteção de sobrecarga é ativada e o código DTC C0176 “Erro do sistema térmico” ou o código DTC C0476 “Performance do motor elétrico” é exibido. Esses DTCs indicam a operação normal do EPS para evitar danos térmicos aos componentes do sistema de direção.

Se algum sensor ou outro componente do sistema EPS falhar, o auto-diagnóstico irá detectar o problema, definir o código de erro (DTC) correspondente e desativará o sistema. Uma luz de aviso irá acender no painel de instrumentos e a direção do veículo ficará prejudicada uma vez que não terá mais o auxílio assistido no volante.

## ANEXO I – Controle Eletrônico de Temperatura - ECC

O controle eletrônico de temperatura (*Electronic Climate Control*), também conhecido como controle automático de temperatura, é um sistema que utiliza uma unidade de controle eletrônico para monitorar e ajustar a temperatura interior do veículo e opcionalmente dos bancos dianteiros. O sistema tem a capacidade de manter as configurações de conforto interna do veículo mesmo sob condições adversas de clima no ambiente externo. O sistema é composto pelos seguintes componentes: painel de controle com display (HMI), o módulo eletrônico de controle (ECC), sensor de temperatura interna, o sensor de temperatura externa (OAT), sensor de temperatura do evaporador e sensor de carga solar. A figura 71 apresenta os principais componentes do ECC.

Figura 71 – Componentes do sistema ECC



FONTE: Workshop-Manuals (2008)

Quando o condutor define a temperatura interna para o seu nível de conforto, o módulo de controle avalia a configuração selecionada e monitora os diversos sensores com o objetivo de calcular a velocidade do ventilador, a posição de saída do ar pelos difusores do painel e a pressão do compressor do ar condicionado ou do ar quente. O módulo de controle atua diretamente sobre os componentes ou via rede de comunicação serial para manter os ajustes de temperatura desejado.

Em veículos mais complexos, o ECC controla também o aquecimento dos bancos, enviando a mensagem contendo o nível de temperatura selecionado aos bancos dianteiros através da rede de comunicação serial do veículo.

Se algum sensor, motor de passo ou outro componente do sistema ECC apresentar defeito, o módulo eletrônico inibe somente o funcionamento do ar condicionado e um código de falha DTC é registrado na rede. Não existe nenhuma luz de indicação de falha no painel de instrumentos, sendo necessário a utilização de um equipamento de diagnóstico conectado a tomada DLC do veículo para verificar o funcionamento do sistema e identificar a falha apresentada.

## ANEXO J – Sistema de Telemática

Telemática é a convergência interdisciplinar abrangendo os campos da telecomunicações (redes de telefonia celular), engenharia elétrica (sensores, instrumentação, comunicações sem fio, eletrônica embarcada), informática (multimídia, internet, processamento de dados) tecnologias veiculares, transporte rodoviário e segurança automotiva.

A palavra telemática tecnicamente refere-se a qualquer sistema pelo qual um dispositivo mecânico ou eletrônico se comunica com outros dispositivos ou com os usuários (humanos) através de uma rede de comunicação. Ao longo dos anos, o termo passou a significar o uso específico da capacidade de comunicação embarcada nos automóveis. A General Motors possui o seu sistema de telemática denominado OnStar, enquanto o sistema da Ford é denominado Ford SYNC.

O sistema de telemática é composto basicamente pelos seguintes componentes:

- Um módulo eletrônico central denominado *Telematic Control Unit* (TCU) conectado ao barramento de comunicação serial do veículo, com o objetivo de coletar as informações em tempo real sobre todas as ECUs.
- Uma bateria localizada internamente ao módulo TCU, para servir de fonte de energia reserva caso a bateria principal do veículo seja desconectada.
- Uma antena GPS para localização do veículo.
- Uma antena GPRS para a troca de dados/informações entre o veículo e o centro de serviços, via rede de telefonia móvel;
- Uma interface gráfica composta por um display e botões para o usuário acessar o sistema e utilizar os mapas para navegação.
- Uma interface composta por microfone e alto-falantes para a comunicação por voz com a central de atendimento.

A figura 72 apresenta de forma ilustrativa os componentes e o princípio básico de funcionamento do sistema de telemática.

Figura 72 – Componentes básicos do sistema de Telemática



FONTE: Novero Automotive (2014)

O módulo TCU se comunica com os sistemas eletrônicos do automóvel, com os satélites do GPS e com a central de atendimento ao cliente para fornecer os recursos de telemática para o motorista. Os serviços cobertos pela telemática incluem proteção ao patrimônio (alerta de carro roubado, rastreamento do veículo), segurança (envio de alerta automatizado a central, solicitação de auxílio médico ou policial), conveniência (informações sobre tráfego das vias, desbloquear remotamente uma porta), navegação (localização de um endereço, orientação com o sistema de direção do tipo *turn-by-turn*), diagnóstico (assistência técnica, socorro mecânico, diagnóstico remoto de falhas, leitura de informações de telemetria em tempo real), entretenimento (*e-Call*, *MP3 player*), gerenciamento de frotas, dentre outros.

A TCU também se comporta como um *modem* de dados para todos os módulos eletrônicos do veículo conectados ao barramento de comunicação serial. Em caso de acidente ou situações de emergência, o módulo TCU envia automaticamente a localização do carro e faz uma chamada de voz com a central de operação. Possui ainda sistemas de *back-up* integrados para o sistema continuar funcionando mesmo que alguns componentes, tais como o sistema de áudio ou antena estejam danificados.

A telemática também está sendo utilizado pelas seguradoras de automóveis para, com base nas informações em tempo real do veículo como localização, velocidade e comportamento do motorista, diferenciar suas ofertas de tarifas para os proprietários de veículos. Esse modelo tarifário é denominado "*pay as you drive*".

No futuro, a telemática incorporará as funções de comunicação *Car-to-Car* e *Car-to-Infrastructure* com o objetivo de aprimorar a assistência ao motorista visando melhorar a segurança do próprio automóvel, dos veículos ao redor e dos pedestres. Funções como otimização do tempo dos semáforos (*traffic light optimization*) e prevenção de colisões (*collision avoidance*) também estarão incluídas.

## ANEXO K – Sistema de Estacionamento Assistido - UPA

O assistente de estacionamento ultrasônico (*Ultrasonic Parking Assist*) é um dispositivo cuja função principal é auxiliar o motorista a estacionar o veículo em locais com pouca visibilidade através do aviso da distância de obstáculos via alarme sonoro ou via indicação visual no *display* do sistema multimídia, evitando que ocorram pequena colisões vindo a danificar o pára-choques do automóvel. O sistema tem a capacidade de detectar pequenos objetos com distâncias entre vinte e duzentos e cinquenta centímetros em relação a posição de instalação dos sensores.

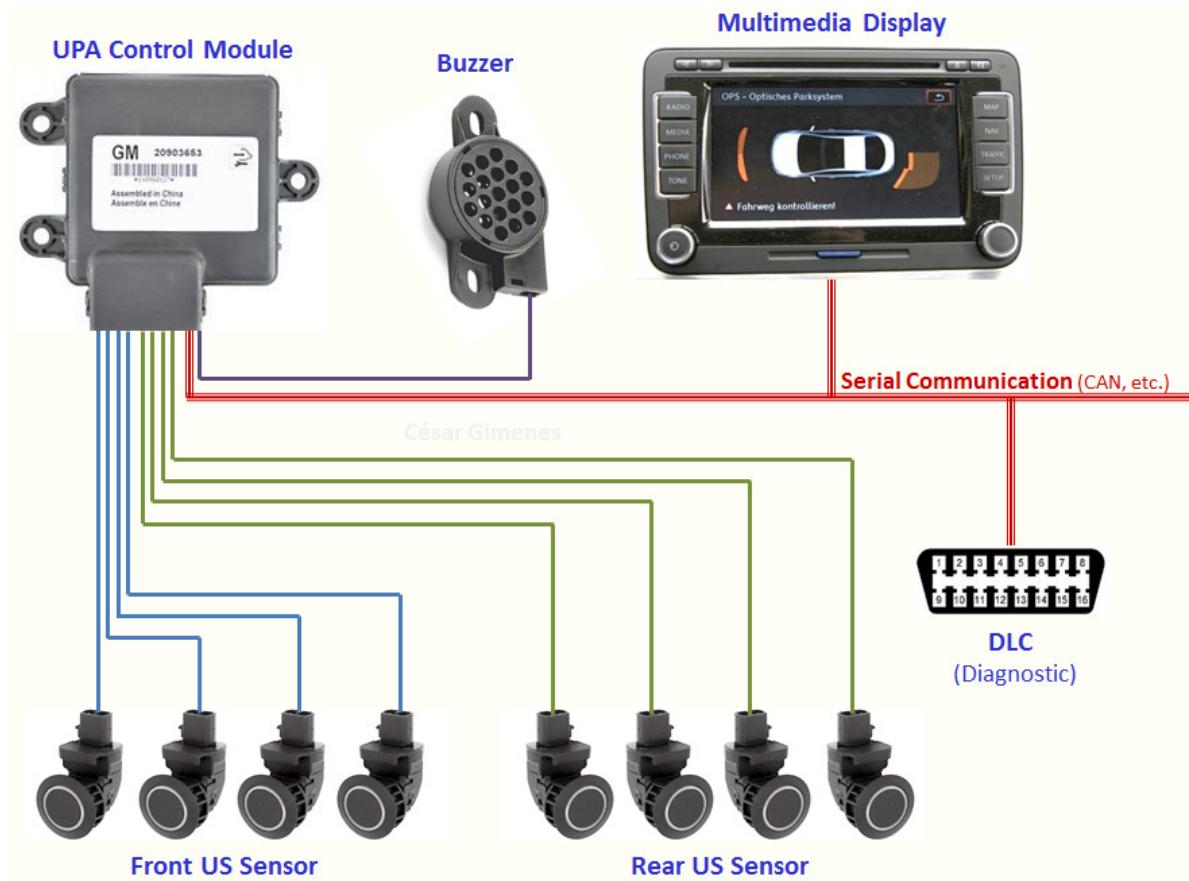
O ultrasom é uma onda acústica inaudível pelos seres humanos, com uma alta frequência (ondas curtas) na ordem de 40 a 68kHz (dependendo do fabricante) e com nível de pressão sonora na ordem de 100dB. A onda de ultrasom viaja no ar com uma velocidade em torno de 340m/s, ou seja, o tempo necessário para uma onda percorrer a distância de aproximadamente dez centímetros é 3ms, isso permite que a medição do sinal seja efetuada utilizando processamento eletrônico com baixa velocidade

O sistema de estacionamento assistido é composto basicamente por:

- Unidade central de controle, responsável por efetuar a leitura dos sensores e transmístir as informações de distância para o barramento de comunicação serial do veículo ou, opcionalmente, enviar os sinais elétricos diretamente a um *buzzer* ou *display*;
- Quatro ou oito sensores de estacionamento ultrasônicos localizados nos parachoque dianteiro e traseiro, responsáveis por detectar os obstáculos através de ondas sonoras e enviar o sinal elétrica a unidade de controle;
- Sirene (*buzzer*) ou alto-falante para indicação sonora da distância, sendo o intervalo entre os bips ficando cada vez mais curto conforme vai aumentando a aproximação do veículo em relação a um objeto ou obstáculo;
- Tela de cristal líquido informando graficamente a distância entre o veículo e o obstáculo, essa indicação pode ser apresentada de forma subjetiva através de blocos ou medida em unidade métricas, como por exemplo o centímetro.

A figura 73 apresenta os componentes básicos do sistema assistente de estacionamento ultrasônico (UPA).

Figura 73 – Componentes do sistema UPA



FONTE: O Autor

Os sensores de estacionamento ultrasônicos são do tipo de sonar, que processam tanto a emissão quanto a recepção das ondas sonoras. As principais características dos sensores de ultrasom tipo sonar são a direitividade, o tempo e frequência de vibração, sensibilidade e pressão sonora, tamanho e forma física da superfície de vibração. Sonar é um acrônimo para propagação de som e radar, utilizado para calcular a distância e/ou a direção de um objeto a partir do tempo que uma onda sonora leva para o alvo e retornar ao emissor.

O Sensores ultrasônicos são movidos por ondas intermitentes chamadas de *burst waves*, que possuem normalmente ondas com vinte ciclos de repetição com a mesma freqüência que a freqüência natural do sensor. Além disso, o intervalo entre as “rajadas” devem ser suficientemente maior do que o tempo que leva para a onda refletida pelo alvo retornar.

O UPA é acionado automaticamente todas as vezes que a alavanca de transmissão é movida para a posição marcha-a-ré, nesse momento um único bip é emitido para indicar que o sistema está em operação. O módulo somente funciona em velocidades inferiores a 10 km/h.

Para ser detectado, os objetos devem ter pelo menos vinte centímetros de altura em relação ao solo e devem estar a distâncias de até 2,5 m em relação aos pára-choques, podendo ocorrer variações devido a fatores climáticos tais como temperatura e umidade.

Caso o sistema não esteja funcionando e a luz de aviso de falha não estiver acesa no painel de instrumentos, deve-se verificar se o UPA não foi desabilitado através da central multimídia, verificar se os sensores ultrasônicos não estão cobertos por lama ou gelo, verificar se os sensores não estão danificados devido a colisão ou então verificar se não existe uma fonte de ruído sonoro potente próxima ao local em que o veículo se encontra e pode estar interferindo no funcionamento dos sensores. Se a luz de advertência estiver acesa no painel de instrumentos, será necessário conectar o equipamento de diagnóstico para ler o código de erro (DTC) a fim de solucionar a falha.

A próxima geração do assistente de estacionamento, denominado IPAS (*Intelligent Parking Assist System*), além de auxiliar o motorista de modo similar ao UPA, é capaz também de identificar se o tamanho da vaga disponível é compatível com o comprimento do veículo e estacionar o carro de forma totalmente autônoma.

O estacionamento automático é possível devido a unidade de controle do IPAS possuir além dos tradicionais sensores ultrasônicos (nesse caso doze sensores), câmeras com software de processamento de imagem inteligente, radares e comunicação via rede serial com os módulos eletrônicos EPS (para o esterçamento automático do volante), ECM (para acelerar o veículo durante a manobra) e com o ABS (para controlar os freios automaticamente). Por se tratar de uma tecnologia nova, ainda levará alguns anos até que esteja disponível nos veículos produzidos pelos países emergentes.