



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

---

# **Desenvolvimento e Teste de Soluções de Comunicação para Diagnóstico Eletrónico – Estágio na empresa Stratio**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais

**Autor**

**Layon Bruno Dantas Viana**

**Orientador**

**Doutor Victor Daniel Neto dos Santos**

**Supervisor**

Eng. Humberto Rodrigues

Head of Engineering – Stratio Automotive

Coimbra, abril de 2019



“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez.”

Jean Cocteau

“Lembre-se: seu foco determina a sua realidade.”

Qui-Gon Jinn



## **Agradecimentos**

Primeiramente, a Maria da Conceição Lins Dantas. Mãe, companheira, ponte e base da minha estrutura, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me incentivando em tudo que fiz até hoje e todos os dias que se seguirão. Agradeço pela força, dedicação e trabalho duro para guiar a mim e meus irmãos pelo caminho do bem. Nunca nessa vida ou em vidas futuras existirá uma pessoa tão cheia de amor e dedicação como você.

Ao meu orientador, Professor Doutor Victor Daniel Neto dos Santos, pelo apoio e motivação na execução deste trabalho. Agradeço por todos os conselhos e dedicação, concedidos durante os últimos, e árduos, três anos. Esta foi uma longa caminhada e tenho certeza de que eu não teria chegado onde estou hoje se não fosse pela sua sinceridade e compreensão das minhas dificuldades.

Aos meus amigos e colegas do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, pelo apoio e momentos memoráveis que passamos durante o curso. Agradecimentos especiais a Pedro Farinha Alves, Ana Machado, Mariana Monteiro, Rafael Sardinha e Diamantino Alves pela amizade e apoio, os quais me incentivaram desde o início desta jornada e me deram força para vencer as dificuldades pessoais.

A toda equipa da Stratio, aos seus gestores Rui Sales e Ricardo Margalho, pelo acolhimento e a oportunidade de participar no desenvolvimento de um projeto que me permitiu dedicar todo meu potencial em uma ideia inovadora e fascinante, desde sua fase inicial até os dias atuais, e ajudou a moldar o caminho que pretendo seguir na minha vida profissional. Especialmente, agradeço a João Sousa, João Aleixo, André Delgado, Joaquim Varandas, Ricardo Pires e Humberto Rodrigues, pela parceria, o companheirismo, os ensinamentos e todo apoio e confiança que tiveram em mim e no meu trabalho.

Aos meus amigos, irmãs e irmãos de Coimbra, Roney Malaguti, Bruno Luigi, Bruna Franceschini, Federica Psaila, Mariana Chinellato, Caren de Lima e Marc Portugal. Obrigado pela confiança, apoio e assistência prestada desde o primeiro dia que pisei neste país e decidi chamar de Casa. A luta ainda não acabou.



## Resumo

O constante avanço das tecnologias automotivas, observado nos últimos 30 anos, foi marcado por diversas inovações eletrônicas com vista à implementação de protocolos de comunicação de rede. O desenvolvimento de motorizações de combustão mais eficientes, conduziu a uma redução do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes. O sistema *On Board Diagnostics* (OBD) foi criado com o intuito de unificar as exigências presentes nas normas de controlo de emissões em vigor ao controlo eletrónico dos diferentes sistemas que compõem um veículo.

No seguimento da implementação de tecnologias mais inovadoras nos veículos, o setor da manutenção automotiva e de gestão de frotas teve de se adaptar aos novos sistemas presentes nos veículos atuais. O incremento de complexidade mecânica e eletrónica associada, obrigou à utilização de ferramentas de gestão de oficina e de diagnóstico cada vez mais sofisticadas e a um aumento da qualificação profissional dos técnicos.

A empresa Stratio Automotive, na qual o relator efetuou o presente de estágio, entrou no mercado das soluções de gestão de manutenção de frotas de veículos, com um produto inovador, que cumpre a necessidade de os clientes possuírem uma ferramenta de aquisição e processamento de dados em tempo real para realizar a predição de falhas e avarias, através de uma aplicação de monitorização proprietária dos diferentes sistemas e dispositivos que compõem as referidas viaturas.

A investigação descrita neste trabalho teve como principal objetivo a compreensão do funcionamento das redes automotivas em viaturas pesadas que serviu de base ao presente estágio e relatório. O desenvolvimento da solução de aquisição em tempo real implementada, baseada na rede CAN e o protocolo J1939 contribuíram para a evolução do Stratio Databox e, posteriormente, para o seu sucesso no mercado da gestão de oficinas e gestão de frotas.

**Palavras chave:** Stratio Automotive, manutenção preditiva, Stratio Databox, OBD, CAN, Redes de comunicação Automotiva.



## **Abstract**

The constant improvement of automotive technologies, observed in the last 30 years, was marked by several electronic innovations for the implementation of network communication protocols. The development of more efficient combustion engines has led to a reduction in fuel consumption and emissions of polluting gases. The On Board Diagnostics (OBD) system was created with the aim of merging the requirements of the emission control standards with the electronic control of the different systems that make up a vehicle.

As a result of the implementation of more innovative technologies in vehicles, the automotive maintenance and fleet management sector had to adapt to current systems in nowadays vehicles. The increase of mechanical complexity associated with the electronic enhancements required the usage of increasingly sophisticated workshop and diagnostic management tools and an increase in the professional qualification of technicians.

The company Stratio Automotive, in which the rapporteur made the internship, entered on the fleet maintenance and management solutions market with an innovative product that meets the customer's need to obtain a real-time data acquisition and processing tool for the prediction of faults and malfunctions, through a monitoring tool that owns the different systems and devices that compose the vehicles.

The research described in this report had as main objective the understanding of the operation of the automotive networks in heavy vehicles that served as base to the conducted internship. The development of the real-time acquisition solution implemented based on the CAN network and the J1939 protocol contributed to the evolution of Stratio Databox and later to its success in the workshop management and fleet management market.

**Keywords:** Stratio Automotive Predictive Maintenance, Stratio Databox, OBD, CAN, Automotive Communication Network.



## Índice

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 EMPRESA DE ACOLHIMENTO .....	2
1.2.1 <i>Stratio Automotive</i> .....	2
1.2.2 <i>Enquadramento do problema</i> .....	3
1.2.3 <i>Objetivos</i> .....	3
1.2.4 <i>Projeto Stratio Databox</i> .....	3
1.3 PLANO DE TRABALHO.....	6
1.3.1 <i>Cronograma do Estágio</i> .....	7
1.3.2 <i>Estrutura do documento</i> .....	8
<b>2 REDES DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVAS.....</b>	<b>9</b>
2.1 ESTRUTURA E ARQUITETURA DA REDE DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVA .....	10
2.2 ARQUITETURA DISTRIBUÍDA DE REDE AUTOMOTIVA .....	12
2.3 INFRAESTRUTURA DE REDE CAN AUTOMOTIVA.....	13
2.4 ARQUITETURA DE REDE DISTRIBUÍDA EM VIATURAS PESADAS .....	14
2.4.1 <i>Body Control Module</i> .....	14
2.5 LEIS DE CONTROLO DE EMISSÕES .....	16
2.5.1 <i>Aprovação de tipo</i> .....	16
2.5.2 <i>Teste em série</i> .....	17
2.5.3 <i>Monitorização de campo</i> .....	17
2.6 CLASSIFICAÇÃO .....	17
2.7 LIMITES DE EMISSÕES (UE) .....	18
2.8 DIAGNÓSTICO ELETRÓNICO .....	20
2.8.1 <i>On Board Diagnostic</i> .....	21
2.8.2 <i>Breve histórico</i> .....	21
2.8.3 <i>Sobre o OBD II</i> .....	22
2.8.4 <i>Capacidades do OBD-II</i> .....	22
2.9 PROTOCOLOS OBD-II E NORMAS APLICADAS.....	23
2.9.1 <i>Conector OBD-II</i> .....	24
2.9.2 <i>Protocolos de comunicação</i> .....	25
2.9.3 <i>Outros protocolos OBD-II</i> .....	26
2.10 <i>FLEET MANAGEMENT SYSTEM STANDARD (FMS)</i> .....	27
<b>3 ESTADO DA ARTE: PROTOCOLO J1939 E CAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 PROTOCOLO CAN .....	29
3.1.1 <i>Técnica anticolisão de dados (CSMA/CD)</i> .....	31
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS/ ESTRUTURA DA REDE .....	31
3.3 TIPOS DE CAN ( <i>STANDARD/ EXTENDED</i> ).....	32
3.4 ESTRUTURA DE MENSAGEM.....	34
3.5 TIPOS DE MENSAGENS CAN ( <i>FRAMES</i> ).....	35
3.5.1 <i>Data frame</i> .....	35

3.5.2 Remote frame .....	36
3.5.3 Error frame .....	36
3.5.4 Overload frame .....	37
3.6 PROTOCOLO SAE J1939 .....	37
3.6.1 J1939/11 – Camada física.....	38
3.6.2 J1939/13 – Ficha de diagnóstico off-board.....	38
3.6.3 J1939/21 - Camada de transporte.....	38
3.6.3.1 Protocol Data Unit (PDU).....	39
3.6.3.2 Parameter Group Number (PGN).....	40
3.6.3.3 CAN Data field .....	40
3.6.4 J1939/31 - Camada de rede .....	40
3.6.4.1 Topologia de rede.....	42
3.6.4.2 Tipos de NIECU.....	43
3.6.4.3 Funções de rede do Gateway.....	44
3.6.5 J1939/71 – Camada de aplicação veicular.....	45
3.6.5.1 Formato de mensagem .....	45
<b>4 ATIVIDADES NA EMPRESA .....</b>	<b>47</b>
4.1 ESTUDO E INVESTIGAÇÃO DAS NORMAS .....	47
4.1.1 Estudo da camada física .....	47
4.1.2 Estudo da camada de transporte .....	48
4.1.3 Estudo da camada de rede .....	48
4.2 STRATIO DATABOX .....	49
4.2.1 Características físicas.....	49
4.3 INVESTIGAÇÃO DA REDE AUTOMOTIVA .....	50
4.3.1 Ficha OBD.....	52
4.3.1.1 Localização da ficha OBD .....	52
4.3.1.2 Pinos Populados e tensão da rede CAN .....	53
4.3.2 Captura de sinal do barramento CAN .....	54
4.3.3 Análise do sinal e tráfego no barramento.....	55
4.3.3.1 Identificador ISO 15765:.....	55
4.3.3.2 Identificador SAE J1939 .....	56
4.3.3.3 Identificação do PGN e sistema atribuído .....	57
4.3.3.4 Interpretação dos SPNs correspondentes.....	58
4.4 INSTALAÇÃO DO STRATIO DATABOX.....	59
4.4.1 Tipos de antenas e cabo de comunicação .....	60
4.4.2 Características da instalação .....	61
4.4.3 Verificação de funcionamento e comunicação com servidor.....	63
4.4.4 Amostragem de dados na plataforma .....	64
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
5.1 ESTUDO DE CASO: SMTUC .....	67
5.1.1 Redução de custos de manutenção através da análise da viscosidade do óleo .....	68
5.1.2 Redução do consumo de combustível.....	68
5.1.3 Otimização dos tempos em Ralenti .....	69
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>71</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	71
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>

## Índice de figuras

Figura 1 – Edifício D do Instituto Pedro Nunes, sede da Stratio Automotive (Google Maps)..	2
Figura 2 – Funcionamento do Stratio Databox (Stratio). .....	4
Figura 3 – Stratio Databox e amostragem dos dados em plataforma digital (Stratio).....	4
Figura 4 – Detalhe da interface interativa da plataforma web da Stratio (Stratio). .....	5
Figura 5 – Subdivisão dos sistemas de um veículo (Robert Bosch, 2005).....	9
Figura 6 – Arquitetura eletrónica distribuída (Santos, 2010) .....	12
Figura 7 – Exemplo de rede CAN distribuída (Zavala & Inzunza, 2013). .....	13
Figura 8 – Arquitetura de rede de camiões Volvo. (Santos, 2010) .....	15
Figura 9 – Tipos de conector OBD-II (ASE education foundation, 2018).....	24
Figura 10 – Rede CAN com gateway FMS (HDEI / BCEI Working Group , 2012). .....	28
Figura 11 – Camadas modelo OSI em comparação com o CAN. (Gonçalves, 2015).....	29
Figura 12 – Barramento de alta velocidade CAN. (ISO11828-2) .....	30
Figura 13 – Arbitragem de mensagens CAN (Automotive Basics, 2012) .....	31
Figura 14 – Sinal CAN e tensão diferencial (Voss, 2008) .....	32
Figura 15 – Formato dos diferentes tipos de frames (VIEIRA, et. al., 2002) .....	34
Figura 16 – Remote Frame tipo 2.0A (Kvaser, 2017). .....	36
Figura 17 – Error Frame Overload frame (Kvaser, 2017). .....	37
Figura 18 – Detalhe da ficha J1939 (Ebay). .....	38
Figura 19 – Segmentação do identificador de 29-bit (SAE J1939-21).....	39
Figura 20 – Exemplo de rede J1939 para Autocarros e Camiões (SAE J1939/31).....	43
Figura 21 – Stratio Databox, vista frontal (Stratio). .....	49
Figura 22 – Rede de comunicação interna automotiva (Robert Bosch, 2005). .....	51
Figura 23 – Quadro elétrico de autocarro urbano (Stratio). .....	52
Figura 24 – BCM (A) e fichas de diagnóstico (B) em um autocarro rodoviário (Stratio). .....	52
Figura 25 – Localização e aspeto da ficha OBD16(J1962) em viatura pesada (Stratio). .....	53
Figura 26 – Parte de trás da ficha J1962 (Stratio). .....	53
Figura 27 – Tensão diferencial da linha CAN na ficha OBD (Stratio). .....	54
Figura 28 – Analisador de lógica de oito canais (Amazon). .....	54
Figura 29 – Interface do software analisador de lógica (Stratio). .....	55
Figura 30 – Detalhe de identificador CAN ISO15765 (Stratio). .....	56
Figura 31 – Detalhe de identificador CAN SAE J1939 (Stratio). .....	57
Figura 32 – Características do PGN65263 (SAE J1939, 2004) .....	57
Figura 33 – Descrição do SPN 100 (SAE J1939, 2004).....	58
Figura 34 – Segmento de captura do barramento J1939 (Stratio). .....	58
Figura 35 – Segmento de captura com distinção dos PGNs transmitidos durante a comunicação (Stratio). .....	59
Figura 36 – Antenas GPRS do Stratio Databox (Stratio). .....	60
Figura 37 – Antena GPS do Stratio Databox (Stratio). .....	60
Figura 38 – Cabo de comunicação do Stratio Databox (Stratio). .....	61
Figura 39 – Vista frontal do Stratio Databox (Stratio). .....	62
Figura 40 – Stratio Databox instalado no quadro elétrico de um camião (Stratio). .....	62
Figura 41 – Stratio Databox instalado no quadro elétrico de um autocarro (Stratio).....	63
Figura 42 – Leds de informação do Stratio Databox (Stratio). .....	63
Figura 43 – Página inicial de informações da viatura (Stratio). .....	64
Figura 44 – Página de visualização dos sensores do veículo (Stratio). .....	65



**Índice de tabelas**

Tabela 1 – Planeamento das tarefas a realizar.....	7
Tabela 2 – Protocolos Classe A (Santos, 2010).....	10
Tabela 3 – Protocolos Classe B (Santos, 2010).....	11
Tabela 4 – Protocolos Classe C (Santos, 2010).....	12
Tabela 5 – Evolução dos níveis de emissões permitidos de gases de escape em teste de estado estacionário (DieselNet, 2018). ....	19
Tabela 6 – Evolução dos níveis de emissões permitidos de gases de escape em teste de estado transitório (DieselNet, 2018). ....	20
Tabela 7 – Tipos de controladores CAN ( (Robert Bosch, 2005) .....	33
Tabela 8 – Valores de estado para comandos de controlo (SAE J1939/71).....	45
Tabela 9 – Valores de estado discretos. (SAE J1939/71).....	46
Tabela 10 – Resultado da redução de consumo por otimização do uso da ventoinha (Stratio). .....	69
Tabela 11 – Comparação de custos reais e estimados, após utilização do Stratio Databox (Stratio).....	70



**Acrónimos**

ABS	Anti-lock Braking System
ACK	Acknowledgement
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATOG	Aftertreatment Outlet Gas
BCM	Body Control Module
BCU	Body Control Unit
CAN	Controller Area Network
CARB	California Air Resources Board
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA	Carrier-Sense Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
CSMA/NDA	Carrier Sense Multiple Access with Non-Destructive Arbitration
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DLC	Data Length Code
DP	Data Page
DTC	Data Trouble Code
EAC	Electronic Axle Controller
EBC	Electronic Brake Controller
ECU	Electronic Control Unit
EDP	Extended Data Page
EFL	Engine Fluid Level
EOBD	European On-Board Diagnostics
EOF	End-Of-Frame

ETC	Electronic Transmission Controller
FMS	Fleet Management System Standard
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IA	Inteligência Artificial
IDE	Identifier Extension
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IPC	Instituto Politécnico de Coimbra
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
ISO	International Standards Organization
LIN	Local Interconnect Network
LSB	Least Significant Byte
MEE	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica
MIL	Malfunction Indicator Lamp
MP	Material em Partículas
NIECU	Network Interconnected Electronic Control Unit
NRZ	Non-Return to Zero
OBD	On Board Diagnostics
OSI	Open Systems Interconnection
OTA	Over the Air (update)
PDU	Protocol Data Unit
PF	PDU Format

PGN	Parameter Group Number
PS	PDU Specific
PWM	Pulse Width Modulation
RTR	Remote Transmission Request
SA	Source Address
SAE	Society of Automotive Engineers
SCO	Synchronous Connection Link
SECC	Supply Equipment Communication Controller
SMTUC	Serviços Municipalizados de Transporte Urbano de Coimbra
SOF	Start of Frame
SPN	Suspect Parameter Number
SRR	Substitute Remote Request
VDC	Vehicle Dynamic Control
VIN	Vehicle Identification Number
VPW	Variable Pulse Width



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

No início dos anos 1970, os automóveis comercializados possuíam um conjunto elementar de sensores elétricos capazes de aferir avarias e/ou situações anómalas relativas ao funcionamento do veículo. Os sistemas de computador de bordo, bem como sistemas de injeção eletrónica nos motores a combustão surgiram, posteriormente, com o propósito de monitorizar o desempenho dos veículos e informar o condutor de possíveis problemas relacionados com o funcionamento dos mesmos.

A necessidade de uma estrutura eficiente de recolha das informações presentes nos diversos sensores dos veículos motivou a *General Motors* a implementar, em 1980, um protocolo e uma interface proprietária para o módulo de controlo do motor. Este era capaz de verificar códigos de erro e acender as respetivas lâmpadas de aviso. Anos depois, em 1986, uma versão melhorada do protocolo foi lançada pela marca, designada por GM XDE-5024B.

A *Society of Automotive Engineers* (SAE) iniciou, em 1988, a publicação de guias de prática para a padronização dos conectores de diagnóstico, bem como dos parâmetros dos sinais de dados na rede automotiva. Como consequência dos novos acordos de controlo de emissão definidos pela *California Air Resources Board* (CARB), os quais entraram em vigor a partir de 1991, ficou estabelecido que todas as viaturas fabricadas tivessem capacidade para diagnóstico eletrónico. Contudo, só a partir de 1996, foi acordado um padrão de diagnóstico eletrónico, o qual foi elaborado de acordo com um conjunto de regras e normas para todos os veículos fabricados e vendidos nos Estados Unidos da América, o qual foi seguido pela União Europeia em 2001, quando se tornaram obrigatórios os programas de testes de emissões.

Desde a criação dos primeiros sistemas rudimentares de diagnóstico, em 1960, até aos dias de hoje, foram estabelecidos e aperfeiçoados diversos protocolos e padrões para os mais variados tipos de veículos automóveis. Entre eles encontram-se o protocolo *Control Area Network* (CAN), criado para tráfego de dados em redes industriais e automotivas, e a norma SAE J1939, aplicada a veículos pesados e de passageiros. Ambas as tecnologias foram desenvolvidas com o propósito de promover trocas de mensagens entre os diferentes módulos de um veículo de uma forma eficiente, possibilitando aceder, em tempo real, ao estado dos diferentes sensores, com o objetivo de otimizar ao máximo o desempenho do veículo e reduzir o nível de emissões.

## 1.2 Empresa de acolhimento

### 1.2.1 Stratio Automotive

A empresa de acolhimento do presente estágio designa-se por Stra Lda., tem sede no Instituto Pedro Nunes, Edifício D, Coimbra, Portugal, como se pode observar na Figura 1. A Stratio é uma empresa especializada em Engenharia Automotiva, que tem como missão o desenvolvimento de soluções tecnológicas que permitem a deteção antecipada de falhas e a verificação do estado, condição e desempenho dos sistemas dos veículos.



*Figura 1 – Edifício D do Instituto Pedro Nunes, sede da Stratio Automotive (Google Maps).*

A Stratio, atualmente, está presente no Reino Unido, França, Espanha, Portugal e Estados Unidos. Os produtos e projetos são desenvolvidos de origem desde a ideia de produto até sua fase final de implementação, testes e comercialização.

As equipas de Investigação e Desenvolvimento (I&D) da empresa são compostas por engenheiros das áreas da mecânica, automação, eletrotécnica e informática. A qualidade do trabalho desenvolvido reside exatamente no carácter multidisciplinar das equipas. Nas diversas etapas da conceção até ao design, marketing e suporte ao cliente, todos os colaboradores trabalham com a mesma dedicação e finalidade – o cliente final – sendo exigido que o produto ultrapasse as expectativas do cliente e as da empresa. A cultura da organização está focada na inovação, responsabilidade e dedicação a todos os detalhes. Os colaboradores da empresa trabalham de forma aberta e participativa, sendo a inovação o aspeto chave do trabalho desenvolvido.

### 1.2.2 Enquadramento do problema

O presente estagiário esteve inserido no projeto “*Stratio Databox – Vehicle Predictive Maintenance Through Artificial Intelligence*” o qual consiste no desenvolvimento de uma solução de *Internet of Things* (IoT) para frotas, que permite ao gestor ter indicações e informação em tempo real de como reduzir os seus custos operacionais e melhorar o desempenho de seus ativos.

### 1.2.3 Objetivos

Este estágio teve como objetivo genérico o aprofundamento da formação do estagiário em contexto de trabalho no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica (MEE), nomeadamente no desenvolvimento de dispositivos direcionados ao diagnóstico eletrónico, de veículos pesados, através da investigação e implementação de normas protocolares *International Standard Organization* (ISO) e SAE que definem os aspetos físicos, lógicos e de aplicação do sistema OBDII.

O aluno esteve inserido no setor de desenvolvimento de *hardware* e *software*, onde fazia parte da equipa técnica. Teve como tarefas principais o estudo, investigação e implementação de protocolos de comunicação automotivos e interfaces de diagnóstico OBDII, para os produtos desenvolvidos. As funções atribuídas compreenderam a análise de circuitos elétricos e eletrónicos dos veículos, a instalação de equipamento proprietário, o estabelecimento do equipamento de testes para o diagnóstico de problemas relacionados com o funcionamento e a fiabilidade do *Stratio Databox*, utilizando para o efeito ferramentas proprietárias da empresa.

### 1.2.4 Projeto *Stratio Databox*

O *Stratio Databox* surgiu de forma a suprir as necessidades dos clientes no que respeita ao conhecimento sobre seus ativos (frotas de automóveis) e sua gestão de manutenção. Através da aquisição de dados em tempo real com uma taxa amostragem elevada, o *Stratio Databox* tornou-se uma ferramenta eficiente que possibilita ao gestor de frota a obtenção de indicações de perfis de operação e de desgaste dos seus ativos.

Do trabalho de investigação e pesquisa realizado, concluiu-se que era necessário desenvolver um equipamento eletrónico que permitisse a aquisição dos dados necessários à manutenção e gestão das viaturas em oficina. O referido dispositivo tem como principal função a recolha dos dados dos sensores dos autocarros, essa informação é posteriormente transmitida, em tempo real, para um servidor, como ilustrado na Figura 2.

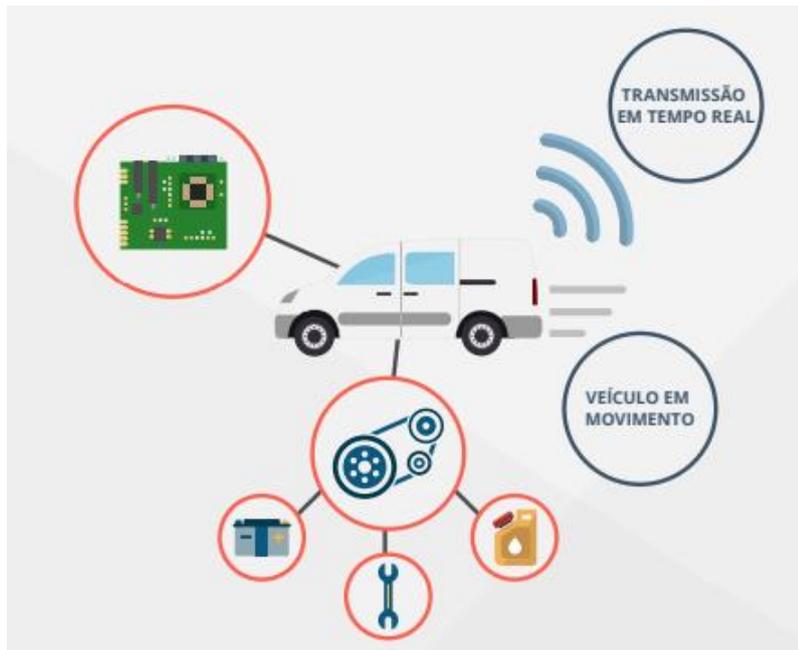


Figura 2 – Funcionamento do Stratio Databox (Stratio).

A concepção do dispositivo foi possível tendo em conta o trabalho de investigação realizado, na empresa, em sistemas de diagnóstico OBD e em redes de comunicação automotivas. A interpretação e implementação das diversas normas ISO e SAE, necessárias à certificação e regulamentação do equipamento como produto final, foram fatores essenciais para que este produto final apresente resultados fiáveis de funcionamento nas viaturas em que for instalado. Através da análise dos dados, auxiliada por ferramentas de Inteligência Artificial (IA) da empresa, é possível visualizar a variação dos valores dos sensores, indicando a necessidade de manutenção preventiva nos veículos, como ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Stratio Databox e amostragem dos dados em plataforma digital (Stratio).

Com foco na gestão da manutenção das frotas de pesados, o produto é responsável pela aquisição e registo da informação de diagnóstico, pela prevenção e predição de falhas, com elevado nível de fiabilidade e baixa necessidade de manutenção do equipamento. O produto desenvolvido tem como característica principal a sua compatibilidade com qualquer tipo de automóvel, ligeiro ou pesado.

Baseado em conceitos e tecnologias já utilizados na indústria de automóveis, a Stratio criou um dispositivo *plug-and-play* compatível com todos os automóveis, independente de marca, modelo e idade (pós OBD), atendendo às normas ISO aplicadas às diferentes regiões do mundo. A aquisição de dados em tempo real utiliza uma ferramenta de *software*, a qual emprega algoritmos de inteligência artificial proprietários, que detetam anomalias no funcionamento da viatura e enviam notificações ao cliente, como ilustrado na Figura 4. As referidas notificações identificam os potenciais problemas que possam ocorrer e na plataforma *web* são apresentadas possíveis soluções, agregando informações como: gráficos de desempenho, tempo de inatividade, custos e guias passo a passo da execução da reparação.

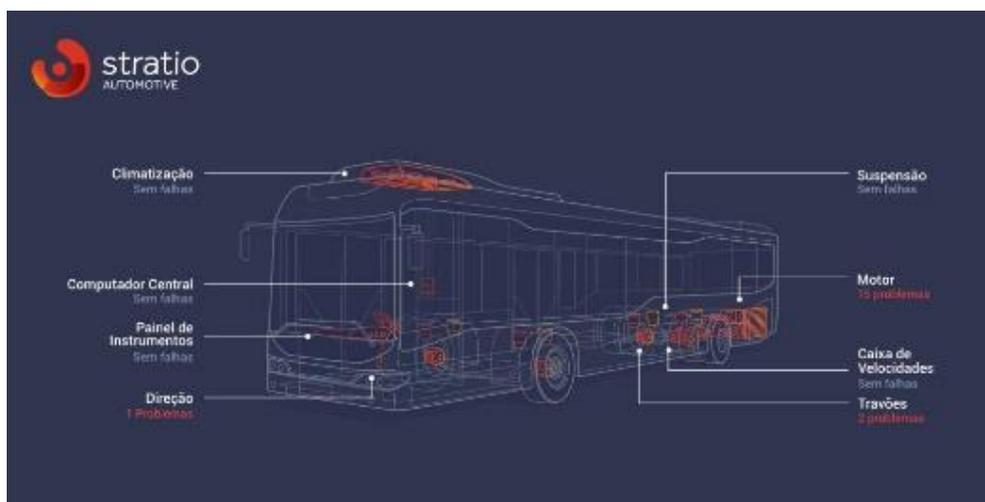


Figura 4 – Detalhe da interface interativa da plataforma web da Stratio (Stratio).

Os algoritmos de IA desenvolvidos pela Stratio analisam milhares de dados extraídos dos sensores em tempo real, auxiliando os engenheiros a detetar variáveis importantes para a elaboração de procedimentos de prognóstico de falhas e problemas de desempenho das viaturas. A tecnologia possibilita a capacitação e aceleração da análise da origem das avarias, com *insight* crítico, economizando tempo e recursos; permite que os fabricantes acrescentem valor a seus automóveis, ao recuperar a inteligência dos dados, evitando falhas recorrentes, reduzindo custos de manutenção e beneficiam da venda dos serviços de manutenção e reparação proactivamente.

A tecnologia Stratio funciona em três etapas principais, Aquisição, Análise e Alertas:

- **Aquisição** – Após a instalação do Stratio *Databox* na viatura, os códigos de avarias e os dados dos sistemas do motor, baterias, transmissão, entre outros, são adquiridos e transmitidos em tempo real para o servidor.

A plataforma Stratio também é compatível com sistemas de aquisição de dados pré-existentes, desde que estes possuam a mesma densidade e granularidade dos parâmetros necessários aos algoritmos de IA, e que a transmissão destes dados seja realizada em tempo real.

- **Análise** – Os dados recebidos são analisados continuamente pelos algoritmos proprietários de *Machine Learning*, de acordo com as regras desenvolvidas pelos engenheiros automotivos. O sistema de informação “aprende”, constantemente, com os novos dados adquiridos, adaptando-se e aperfeiçoando os resultados obtidos para cada nova anomalia detetada. As avarias encontradas durante o diagnóstico em tempo real são processadas, também, no momento em que se tornam ativas.
- **Alertas** – Nesta etapa, as notificações são configuradas como alertas de falhas e anomalias, visualizadas no *website*, sem a necessidade de uma aplicação externa. Adicionalmente, os alertas são configurados para serem enviados, também, por email e SMS, de acordo com as necessidades do cliente. Os alertas são associados aos valores registados nos sensores e sistemas relacionados à avaria apresentada, para uma análise mais precisa da origem do problema.

### 1.3 Plano de trabalho

O presente estágio teve o seguinte plano de trabalhos que englobou os seguintes passos:

1. Pesquisa bibliográfica, preparação do estágio e, posteriormente, do projeto de empresa, relatórios intermédios (estado da arte e tecnologias relevantes);
2. Tarefas efetuadas no âmbito do estágio, designadamente:
  - Estudo dos princípios de funcionamento do Stratio *Databox*;
  - Investigação de redes de comunicação automotivas, com foco na norma SAE J1939;
  - Instalação do Stratio *Databox* em veículos pesados.
3. Resultados experimentais relativo às soluções implementadas;
4. Escrita do relatório de estágio.

O presente estágio decorreu na empresa Stratio, teve início no dia 9 de dezembro de 2016 e terminou no dia 25 de agosto de 2017. Durante esse período o estagiário executou diariamente as tarefas presentes no plano de estágio num horário de trabalho compreendido entre as 9h30m e as 18h00m, durante os dias da semana.

O estagiário deslocou-se ao ISEC, designadamente ao DEE, pelo menos uma vez por mês, na forma de reuniões de acompanhamento dos trabalhos efetuados e de suporte na escrita e correção do relatório de estágio. As referidas reuniões tiveram uma duração média de uma hora e meia. Para além destas, existiram duas reuniões de acompanhamento do estágio nas instalações da Stratio, com o orientador do ISEC e o supervisor da empresa.

### 1.3.1 Cronograma do Estágio

O estágio compreendeu cinco fases distintas, as quais tiveram lugar nas datas presentes no cronograma da Tabela 1.

*Tabela 1 – Planeamento das tarefas a realizar.*

Mês	Dez.16	Jan.17	Fev.17	Mar.17	Abril.17	Mai.17	Jun.17	Julho.17	Ago. 17
Fase 1	X								
Fase 2		X							
Fase 3			X	X	X				
Fase 4						X			
Fase 5							X	X	X

**Fase 1:** Preparação do estágio, estudo do estado da arte e tecnologias relevantes;

**Fase 2:** Adaptação às atividades da empresa, registo e organização de elementos;

**Fase 3:** Execução de ações de investigação, recolha de dados e instalação do dispositivo desenvolvido nas viaturas do cliente;

**Fase 4:** Escrita do relatório de progresso;

**Fase 5:** Elaboração e entrega do relatório final provisório.

### **1.3.2 Estrutura do documento**

O presente relatório apresenta ao longo de seis capítulos os aspetos teóricos associados às tarefas realizadas durante o estágio, designadamente aquelas nas quais o estagiário participou no âmbito do projeto em curso na empresa: *Stratio Databox*. Ao longo dos capítulos estão explicitados todos os pontos relevantes do trabalho desenvolvido.

O enquadramento do estágio e do projeto, bem como a contextualização histórica, a metodologia de funcionamento da empresa e a sua caracterização são temas abordados no primeiro capítulo.

Nos dois capítulos seguintes serão abordados os conteúdos teóricos correspondentes à investigação realizada durante o estágio, que compreende o estudo dos guias de prática e normas de conformidade relativas aos procedimentos e tecnologias utilizadas.

No quarto capítulo serão elencadas e especificadas as características do equipamento desenvolvido, incluindo as ferramentas de apoio, as normas seguidas e os procedimentos efetuados em cada um deles.

As considerações finais, os resultados e a síntese do trabalho efetuado constituem respetivamente o quinto e sexto capítulo deste relatório.

## 2 Redes de comunicação automotivas

Segundo (Robert Bosch, 2005), as crescentes exigências regulamentares e os diferentes avanços tecnológicos determinaram o desenvolvimento contínuo dos sistemas eletrônicos automotivos. As melhorias efetuadas nas áreas da segurança, do conforto, da compatibilidade dos automóveis às leis ambientais e diretrizes legais mais rigorosas, impulsionaram a integração dos sistemas eletrônicos com sensores ligados a unidades de processamento.

Baseados nestas exigências, os sistemas individuais das viaturas tiveram de se agrupar num sistema integrado, que abrangia todo carro, como ilustrado na Figura 5. As informações passaram a ser trocadas através do barramento (CAN, por exemplo) e, desde então, a troca de informação entre os sistemas tornou-se possível. A padronização dos sistemas e subsistemas mostrou ser uma condição essencial para a sintonia entre os módulos. Como consequência desse processo de regulamentação, verificou-se a redução do tempo de desenvolvimento, o aumento da fiabilidade do sistema, bem como a redução de componentes redundantes, que foram sucessivamente integrados para melhorar a aplicabilidade das informações provenientes dos outros sistemas.

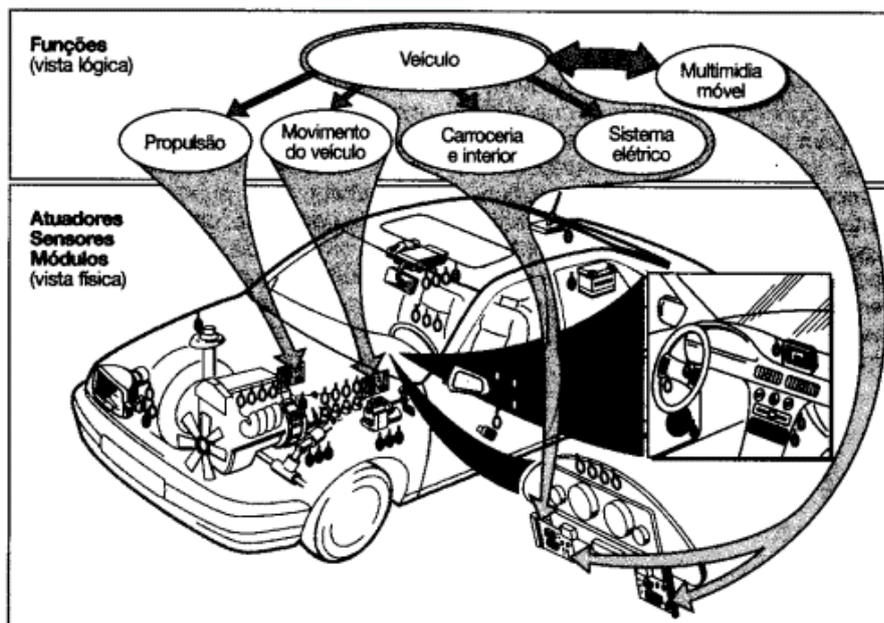


Figura 5 – Subdivisão dos sistemas de um veículo (Robert Bosch, 2005).

A implementação dos sistemas integrados requer que todas as *Electronic Control Units* (ECU) possuam uma interface de comunicação padrão. Dessa forma a interação com os subsistemas será definida de acordo com normas, sendo que todas as variáveis envolvidas serão controladas e analisadas de forma eficiente, independentemente do fabricante. O incremento das funcionalidades evidenciou ser um fator decisivo para o desenvolvimento de uma arquitetura obrigatória de integração entre o *software* e o controlo da interface de comunicação nas centralinas, aplicando-se a ambos quando regulamentado.

## 2.1 Estrutura e arquitetura da rede de comunicação automotiva

De acordo com a SAE, com o objetivo de estruturar e otimizar o desempenho da comunicação de dados entre os sistemas do veículo, foi criada uma hierarquia de comunicação em rede que classifica os módulos por ordem de impacto e determina as suas prioridades. As classes A, B e C foram designadas para agrupar, dentro delas, os diferentes módulos, de forma que a informação crítica tenha sempre prioridade relativamente às restantes, em tempo real, sem restrições ou dependências: [Adaptado de SAE. *Class A Application Definition (J2507-1)*]

- **Classificação A:** É utilizada para aplicações não críticas como controlo de lâmpadas e equipamentos de som de um veículo. A tabela 2 apresenta alguns protocolos com a classificação A.

Tabela 2 – Protocolos Classe A (Santos, 2010).

Protocolo	UART(ALDL)	SINEBUS	PC	SAE J1708	CCD	ACP	BEAN	LIN	TTP/A	A-BUS
Empresa	GM	DELCO	PHILIPS(NXP)	TMC-ATA	CHRYSLER	FORD	TOYOTA	Consórcio	TTTech	VW
Aplicação	Diagnóstico geral	Áudio	Controlo diagnóstico	Controlo diagnóstico	Diagnóstico geral	Controlo de áudio	Controlo diagnóstico Chassi	Controlo diagnóstico Chassi	Controlo diagnóstico Chassi	Diagnóstico Chassi
Meio físico	Fio único	Fio único	Par trançado	Par trançado	Fio único	Par trançado	Fio único	Fio único	Fio único	-
Código bit	NRZ	SAM	AM	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	-	-
Controlo acesso meio	Mestre/escravo	Mestre/escravo	Mestre/escravo	Mestre/escravo	Mestre/escravo	Mestre/escravo	Contenção	Mestre/escravo	Mestre/escravo	-
Controlo erro	8-bit CS	Nenhum	bit ACK	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CS	8-bit CRC	8-bit CS	-	-
Cabeçalho	16 bit	2 bit	-	16 bit	8 bits	12-24 bit	25 bit	2 bit/byte	16 bit	-
Dados	0-85 bytes	10-18 bit	-	-	5 bytes	6-12 bytes	1-11 bytes	8 bytes	16 bytes	-
Overhead	Variável	75%	45%	Variável	16.70%	25%	28%	2 bytes	39%	-
Taxa de transmissão	8192 bps	66.6kHz-200kHz	1-100 kbps	9600 bps	7812.5 bps	9600 bps	10 kbps	20 kbps	50 kbps	-
Comprimento máximo do barramento	Não especificado	10 m	Não especificado	Não especificado	Não especificado	40 m	Não especificado	40 m	-	-
Nº máx. de ECU	10	-	-	-	6	20	20	16	-	-

- **Classificação B:** Rede utilizada em aplicações importantes, mas não essenciais ao bom funcionamento e segurança do veículo. A classificação A e B são aplicadas no corpo eletrónico. De seguida, é apresentada na tabela 3 alguns dos protocolos com a sua classificação anteriormente descrita.

Tabela 3 – Protocolos Classe B (Santos, 2010).

Protocolo	Single-Wire CAN(SWC)	CAN 2.0/ISO 11898	J1850			SAE J1939	VAN
Empresa	SAE/ISO	Bosch/SAE/ISO	GM	FORD	Chrysler	TMC-ATA	PSA/Renault
Aplicação	Diagnóstico	Controlo diagnóstico	Diagnóstico Geral	Diagnóstico Geral	Diagnóstico Geral	Diagnóstico	Controlo diagnóstico
Meio físico	Fio único	Par trançado	Fio único	Par trançado	Fio único	Fio único	Par trançado
Código Bit	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
Controlo acesso ao meio	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	Contenção	-
Controlo erro	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC	CRC	-
Cabeçalho	11 bit	11 ou 29 bit	32 bit	32 bit	8 bit	11 bit	-
Dados	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	0-8 bytes	0-10 bytes	0-8 bytes	-
Overhead	9.9%	9.9%-22%	33.3%	33.3%	8.3%	9.9%	-
Tx. Transmissão	33.3 kbps/ 83.33 kbps	10 kbps - 1 Mbps	10.4 kbps	41.6 kbps	10.4 kbps	33.3 kbps/ 83.33 kbps	-
Compr. Máx. Barramento	30 m	40 m (usual)	35 m	35 m	35 m	30 m	-
N máx. ECU	16	32 (usual)	32	32	32	16	-

- **Classificação C:** Utilizada em aplicações de máxima segurança, para sistemas distribuídos com exibição de informações em tempo real. A tabela seguinte apresenta alguns protocolos com a classificação C.

Tabela 4 – Protocolos Classe C (Santos, 2010).

Protocolo	TTP/C	FlexRay	TT-CAN	ByteFlight	BST	Safe-by-wire	DSI
Empresa	TTTech	Consórcio	CIA	BMW	Siemens/ Bosch/ Temic	Delphi/ Philips/ TRW/ Autoliv/ SDI	Motorola
Aplicação	Airbag	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica	Segurança Crítica
Meio físico	Par trançado	Par trançado/Fibra Óptica	Par trançado	Fibra Óptica	Dois fios	Dois fios	Dois fios
Código bit	-	NRZ	NRZ	-	Manchester bifásico	3 níveis de tensão	3 níveis de tensão
Controlo acesso meio	TDMA	F-TDMA	TDMA	F-TDMA	-	-	-
Controlo erro	CRC 16 bit	CRC 24 bit	CRC 15 bit	CRC 16 bit	Paridade CRC	CRC 8 bit	CRC 4 bit
Dados	16 bytes	0-246 bytes	0-8 bytes	-	1 byte	1 byte	1-2 bytes
Overhead	-	-	32	-	-	64	16
Taxa de transmissão	5-25 Mbps	10 Mbps	1-2 Mbps	10 Mbps	31.25 kbps 125 kbps 250 kbps	150 kbps	5 kbps 150 kbps
Comprimento máximo do barramento	-	25 m	40 m	-	-	25-40 m	-
Nº máx. de ECU	64/256	-	32	-	12 squibs + 62 slaves	64	16

## 2.2 Arquitetura distribuída de rede automotiva

Na arquitetura distribuída da rede automotiva, as funções das ECUs são divididas entre controlo dos sinais de entrada e controlo de atuadores, como ilustrado na Figura 6.

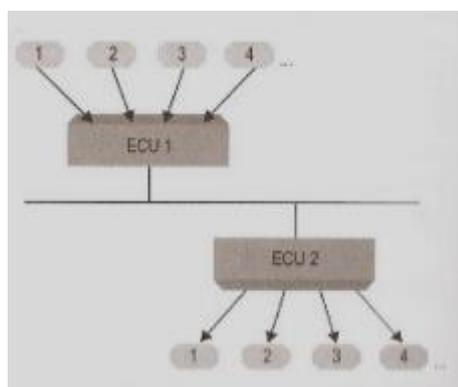


Figura 6 – Arquitetura eletrônica distribuída (Santos, 2010)

Segundo (Junior, 2012), a vantagem da arquitetura distribuída é demonstrada pela interligação dos elementos, uma vez que as ECUs podem ser posicionadas em locais estratégicos e próximas dos elementos principais aos quais estão conectadas (sensores, atuadores, módulos, etc.).

A referida arquitetura propicia uma maior simplicidade nas ligações e, conseqüentemente, menor tempo na montagem e maior flexibilidade para futuras alterações, tendo em conta a sua

natureza distribuída. Permite, também, a possibilidade de agregar mais funções, devido ao maior número de ECUs presentes na viatura.

Para (Guimarães, 2010), a escolha da arquitetura depende de algumas características do projeto dos dispositivos mecatrônicos do veículo. A arquitetura centralizada é a escolha mais viável sempre que: o número de elementos de rede seja reduzido, o número de variáveis de entrada e saída seja baixo, aliado a um reduzido número de recursos para validação, o que conduz a uma redução significativa do custo do projeto. Contudo, num cenário tecnológico mais avançado, com um maior número de entradas e saídas, uma configuração em arquitetura distribuída será sempre mais eficiente.

### 2.3 Infraestrutura de rede CAN automotiva

De acordo com (Santos, 2010), nos sistemas automotivos a estrutura física da rede CAN é implementada usando uma arquitetura hierárquica, para melhor controlo de segurança e fluxo de informações. Cada módulo pode ter sua própria “sub-rede” de dispositivos controladores, com débitos diferentes da rede principal, sendo a gestão da informação transmitida efetuada pelo módulo principal do sistema, que funciona como *gateway*.

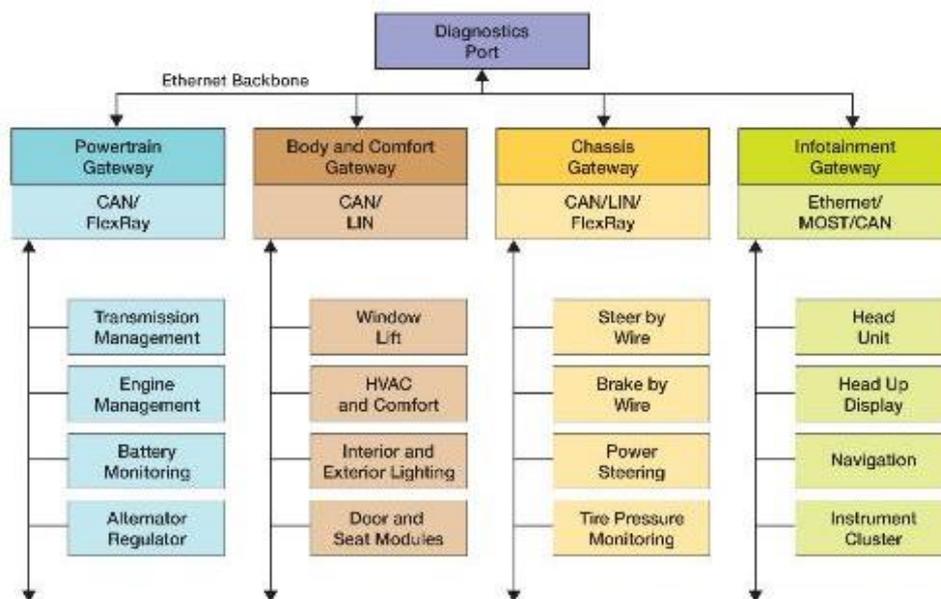


Figura 7 – Exemplo de rede CAN distribuída (Zavala & Inzunza, 2013).

Sobre o barramento principal, encontra-se a ficha para conexão do equipamento de diagnóstico, ilustrado na Figura 7, que pode aceder às informações transmitidas entre os módulos em *broadcast*, ou efetuar pedidos dedicados às diferentes ECUs do carro.

Dependendo do fabricante, pode existir um *gateway* que controla o acesso do equipamento de diagnóstico à rede, ou a alguns módulos específicos, designadamente os relativos o controlo do motor.

## 2.4 Arquitetura de rede distribuída em viaturas pesadas

A repartição das funções pelas diferentes ECUs e a comunicação no barramento, é possível através da implementação de uma arquitetura distribuída, onde os módulos principais interagem entre si usando o mesmo barramento. Dessa forma é possível que existam módulos em redes secundárias, a utilizar protocolos de comunicação diferentes das empregues no barramento principal. Os protocolos são definidos por (Guimarães, 2010) da seguinte forma:

“Protocolos de comunicação são meios de transmissão e receção de dados utilizados para intercomunicar módulos eletrónicos e/ou sensores e atuadores inteligentes equipados com microcontroladores e *transceivers*, por exemplo. Existem vários tipos de protocolos de comunicação, cada um dos quais com suas características técnicas específicas vocacionadas para aplicações específicas” (Guimarães, 2010)

De acordo com (Junior, 2012), as viaturas pesadas partilham das mesmas similaridades no que respeita à implementação da arquitetura de comunicação entre as ECUs. Sendo necessário, também, a implementação de uma arquitetura eletrónica, semelhante à utilizada nos veículos ligeiros, para interligar os módulos de controlo. Estes veículos contam com a topologia distribuída, em geral, formada por uma rede de controlo e uma de diagnóstico.

### 2.4.1 Body Control Module

As interligações das redes supramencionadas são o resultado de uma prática comum dos fabricantes de automóveis, que distribuem o chassi (base) da viatura para empresas especializadas na construção de superestruturas, *BodyBuilders*, em inglês. Tal vantagem é obtida através da utilização de um módulo exclusivo para a monitorização e controlo dos parâmetros eletrónicos do chassi, comunicando em simultâneo com a carroçaria implantada, o *Body Control Unit* (BCU) ou *Body Control Module* (BCM).

“O módulo central de controlo da carroçaria, BCM, é um dispositivo de processamento de dados e a fonte de alimentação para os componentes eletrónicos, que controla as funções do “corpo” da viatura, tais como luzes, janelas, segurança das portas, controlo de acesso, climatização, etc. O módulo BCM funciona também como *gateway* entre o barramento principal de comunicação e as interfaces de rede de outros sistemas. Este controla, adicionalmente, sinais de diferentes sensores agregados ao autocarro ou camião, os quais comunicam diretamente recorrendo ao barramento CAN/LIN (*Local Interconnect Network*). Contudo, o módulo não controla nenhuma

função relacionada com o motor ou a sua interação com sistemas relacionados.” Adaptado de (Steve Taranovich, 2017)

O módulo BCM possibilita, através da implementação de uma rede de nível superior, a integração de uma arquitetura com escala flexível, possibilitando a ampliação das funções de controlo de sensores e atuadores disponíveis na viatura, baseadas nas funções que serão designadas ao veículo.

Segundo (Junior, 2012), na arquitetura de rede de uma carroçaria de camiões e autocarros, utiliza-se o padrão SAE J1939, com uma taxa de transmissão de 250 kbps. Internamente, no barramento principal, são utilizados protocolos diferentes, como o J1587, o CAN/LIN ou o ISO14230, para as funções de diagnóstico. A arquitetura, ilustrada na Figura 8, de um camião Volvo FH, é formada por três grupos funcionais: *powertrain* e veículo, segurança passiva e entretenimento. No primeiro grupo encontram-se os módulos de controlo principais (incluindo o BCM) e diagnóstico. Já o segundo grupo desempenha as funções de controlo dos sistemas de segurança ativa (*airbags* e imobilizador) e climatização. E, por fim, o terceiro grupo, que concentra as funções de conectividade e segurança passiva.

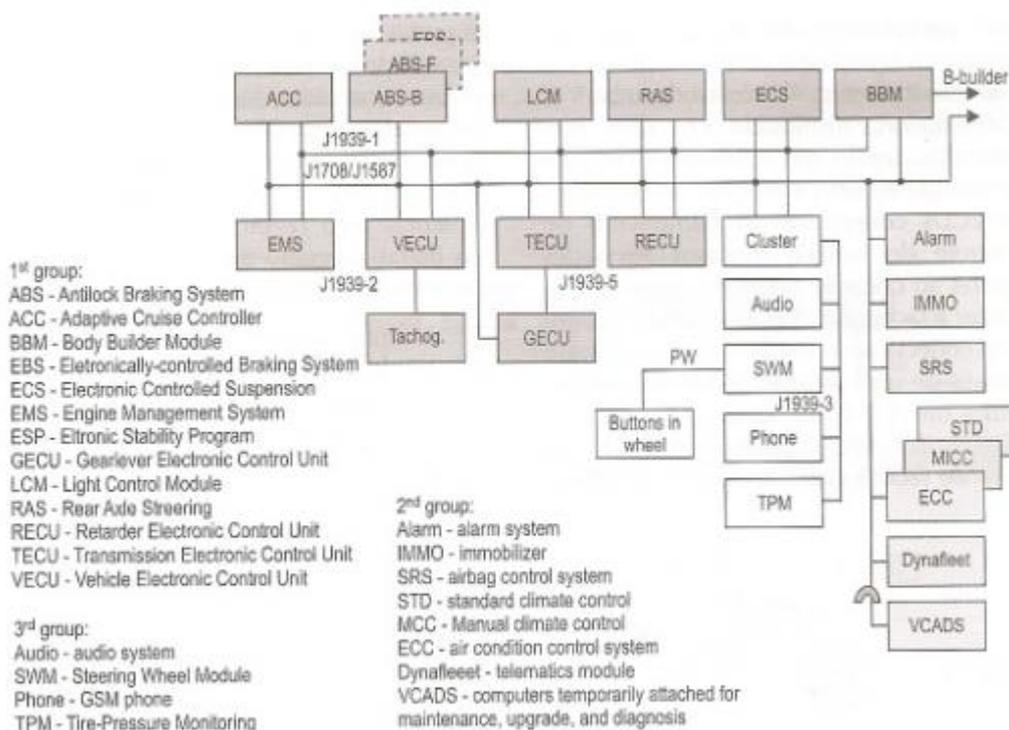


Figura 8 – Arquitetura de rede de camiões Volvo. (Santos, 2010)

O primeiro grupo possui interligação ao barramento de controlo sob o protocolo J1939-11 (camada física), sendo que a linha de diagnóstico segue a norma J1708/J1587. No entanto, no segundo grupo, a linha de comunicação segue o padrão J1939/31 (camada de rede). Por fim, no grupo três, a linha de comunicação segue o protocolo J1708/J1587.

A distribuição das ECUs, na arquitetura ilustrada, categoriza como prioritários os sistemas básicos de funcionamento e segurança do veículo em redes de maior capacidade e velocidade de transmissão de dados (250 kbps), deixando os sistemas de menor importância para a rede J1708, que transmite a 9,6 kbps. Esta distribuição possibilita a expansão da rede para estruturas externas ao chassi; um menor volume de tráfego de dados na rede; um maior nível de segurança contra falhas para os sistemas principais; garantindo uma maior qualidade de transmissão de dados.

## **2.5 Leis de controlo de emissões**

Segundo a CARB, o crescimento do volume de tráfego automóvel, designadamente nos grandes centros urbanos, tornou-se um obstáculo para o desenvolvimento das próprias cidades, tendo em conta a formação de névoa tóxica (*smog*), devido à libertação de gases originados da queima dos combustíveis fósseis. Para além dos mencionados impactos ambientais, observaram-se danos na saúde dos seus habitantes e a obstrução da visibilidade, problemas que crescem gradualmente. Assim, foram criadas leis de controlo de emissões para limitar as emissões de gases nocivos e definir procedimentos de teste dos novos veículos.

Desde a primeira legislação de controlo de emissões para motores a gasolina, que entrou em vigor no estado da Califórnia em 1990, foram observadas reduções significativas nos limites permitidos. Ao longo dos anos, as referidas leis tiveram uma maior abrangência após a massificação dos automóveis movidos a diesel, com o propósito de reduzir ao máximo a concentração de gases poluentes. Outros países adotaram, também, o padrão e adaptaram às suas próprias regulamentações, em complemento aos limites impostos sobre as perdas evaporativas do sistema o combustível. A iniciativa dos EUA, adotada pelos países da UE e Japão, incentivou-os ao desenvolvimento de três procedimentos de teste para certificação de controlo de emissões: Aprovação de tipo; Teste em série e Monitorização de campo

### **2.5.1 Aprovação de tipo**

Condição para a certificação geral do modelo do veículo e do motor. Os testes de emissão de gases são realizados em ciclos, sob as condições regulamentares em vigor nos países de destino. Os testes são realizados em ambiente controlado, pista de testes ou bancada de teste de motor, a uma velocidade constante.

### 2.5.2 Teste em série

Realizado pelo fabricante a pedido da agência reguladora, ao utilizar um veículo aleatório da linha de produção como parte do controlo de qualidade. A agência reguladora pode solicitar o teste a qualquer momento.

### 2.5.3 Monitorização de campo

Verificação feita a partir da avaliação das emissões das viaturas em situações reais de utilização (uso rodoviário, urbano e fora de estrada). Os veículos são monitorizados ao longo da sua vida útil, para garantir que os níveis de gases poluentes emitidos permanecem em valores aceitáveis, mesmo em diferentes condições de utilização (*off-road*, urbano e rodoviário).

Para determinar a quantidade de massas poluentes emitidas, o ciclo de testes é composto por provas em ambiente controlado, nos quais a viatura é conduzida a velocidades predefinidas. Os gases do escape são recolhidos para análise de massa poluente durante o teste.

## 2.6 Classificação

Com o objetivo de otimizar as regulamentações sobre as emissões dos motores de combustão a diesel, ou gasolina, e definir padrões de testes e emissões com melhor eficiência, os automóveis são classificados e divididos em categorias baseadas no seu peso, dimensão, finalidade e quantidade de passageiros. Na União Europeia, os automóveis rodoviários são classificados pelas seguintes letras:

- **G** – Veículos agrícolas, florestais e *off-road*;
- **L** – Motocicletas de duas ou três rodas, incluindo carro lateral;
- **M** – Veículos destinados ao transporte de passageiros, com pelo menos quatro rodas;
- **N** – Veículos destinados ao transporte de mercadorias, com pelo menos quatro rodas;
- **O** – Reboques e semirreboques.

As viaturas rodoviárias para transporte de mercadorias e pessoas, classes M e N, podem ser classificadas em diferentes subclasses, que dependem da sua massa máxima de carga e do número total de passageiros:

Classe **M**:

- **M1** – Destinado ao transporte de até nove pessoas, incluindo condutor. Podem pesar até 3,5 toneladas (com carga);
- **M2** – Destinado ao transporte de nove ou mais passageiros, com massa máxima entre 3,5 toneladas e 5 toneladas;
- **M3** – Destinado ao transporte de nove ou mais passageiros, com massa máxima superior a 5 toneladas.

Classe **N**:

- **N1** – Destinado ao transporte de mercadorias. Peso até 3,5 toneladas (com carga);
- **N2** – Destinado ao transporte de mercadorias, com massa máxima entre 3,5 e 12 toneladas;
- **N3** – Destinado ao transporte de mercadorias, com massa máxima superior a 12 toneladas.

Em Portugal, o código da estrada classifica as categorias M e N consoante o peso e a finalidade. As viaturas ligeiras são caracterizadas por terem um peso bruto de até 3,5 toneladas e lotação de até 9 pessoas, enquanto que os veículos pesados possuem um peso bruto superior a 3,5 toneladas, independente da finalidade e quantidade de passageiros transportados.

## 2.7 Limites de Emissões (UE)

Na União Europeia, as viaturas com peso máximo permitido superior a 3,5 toneladas e projetados para transportar mais de 9 passageiros, incluindo o condutor, são consideradas viaturas pesadas. As leis de emissões contidas na Diretiva 88/77/EEC são atualizadas continuamente, assim como para as viaturas ligeiras. (BOSCH, Robert 2005)

As leis de controlo de emissões sofreram diversas modificações ao longo dos últimos anos. O padrão EURO I foi introduzido na indústria em 1992, e esteve em vigor até 1996, tendo sido substituído pela norma EURO II. Ambas as normas abrangiam os motores de camiões e autocarros urbanos. A aplicação dos referidos padrões era opcional até 1999, data a partir da qual a União Europeia adotou a norma EURO III (2000), seguida das normas EURO IV (2005) e EURO V (2008). Atualmente o padrão EURO VI, sob a Diretiva 459/2012/EC, tornou-se efetivo em 2014, o qual controla, para além de outros parâmetros, o número de partículas emitidas, tornando os requisitos das emissões mais restritos e mais dependentes do sistema OBD para aferir os valores nos ciclos de teste.

Os gases poluentes, provenientes da combustão, são compostos, principalmente, por Hidrocarbonetos (HC), Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogénio (NO<sub>x</sub>), Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>) e Material em Partículas (MP), que confere a opacidade do gás. O rigor dos níveis de emissões cresceu com o aumento do número de veículos em circulação nos ambientes urbanos. As normas EURO e as novas tecnologias automotivas têm sido de grande importância para limitar os efeitos negativos dos gases poluentes.

Tabela 5 – Evolução dos níveis de emissões permitidos de gases de escape em teste de estado estacionário (DieselNet, 2018).

Padrão	Período em vigor	Teste	CO	HC	NOx	MP	PN	Massa de gás
			g/kWh				1/kWh	1/m
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8	0.612		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8	0.36		
Euro II	1996.1		4	1.1	7	0.25		
	1998.1		4	1.1	7	0.15		
Euro III	1999.10 <i>EEV only</i>	ESC & ELR	1.5	0.25	2	0.02		0.15
	2000.1		2.1	0.66	5	0.10 <sup>a</sup>		0.8
Euro IV	2005.1		1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	2008.1		1.5	0.46	2	0.02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1.5	0.13	0.4	0.01	8.0×10 <sup>11</sup>	

a - PM = 0.13 g/kWh for engines < 0.75 dm<sup>3</sup> swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min<sup>-1</sup>

Tabela 6 – Evolução dos níveis de emissões permitidos de gases de escape em teste de estado transitório (DieselNet, 2018).

Padrão	Período em vigor	Teste	CO	NMHC	CH <sub>4</sub> <sup>a</sup>	NO <sub>x</sub>	MP <sup>b</sup>	PN <sup>e</sup>
			g/kWh					
Euro III	1999.10 EEV only	ETC	3	0.4	0.65	2	0.02	
	2000.1		5.45	0.78	1.6	5	0.16 <sup>c</sup>	
Euro IV	2005.1		4	0.55	1.1	3.5	0.03	
Euro V	2008.1		4	0.55	1.1	2	0.03	
Euro VI	2013.01	WHTC	4	0.16 <sup>d</sup>	0.5	0.46	0.01	6.0×10 <sup>11</sup>

a- apenas motores a gasolina (Euro III-V: NG only; Euro VI: NG + LPG);  
b- Não se aplica a motores a gasolina nos padrões EURO III-IV;  
c- PM = 0.21 g/kWh para motores < 0.75 dm<sup>3</sup> de volume por cilindro e velocidade nominal > 3000 min<sup>-1</sup>;  
d-THC para motores a Diesel;  
e – para motores a Diesel; NP limite para motores de ignição positiva TBD;

Nas Tabelas 5 e 6 pode-se observar o aumento do rigor nos níveis de emissão dos principais componentes do gás de escape. Os limites indicados nas tabelas foram medidos e estipulados em conformidade com os testes no estado estacionário e transitório, respetivamente.

As normas EURO têm promovido efetivamente a redução de gases poluentes e, em complemento às diretivas em vigor, a Comissão Europeia tornou possível o incentivo fiscal aos fabricantes e países que comercializem viaturas novas que obedeçam às normas EURO VI em vigor.

## 2.8 Diagnóstico Eletrónico

A eletrónica automotiva assumiu um papel importante na deteção de problemas e gestão do desempenho do motor. Como consequência, considerando que a maioria das funções essenciais do veículo estão dependentes da eletrónica, os sistemas têm de cumprir rigorosos requisitos de forma a garantir sua fiabilidade e, ao mesmo tempo, de tratar os erros de sistema que possam surgir, pelo meio de *softwares* instalados de fábrica.

“A solução é a incorporação de autodiagnóstico no sistema eletrónico. Este baseia-se na ‘inteligência’ eletrónica já instalada no veículo, para monitorizar os sistemas continuamente, detetar falhas, armazenar dados de falha e realizar diagnóstico. Os algoritmos de supervisão verificam os sinais de entrada e saída durante a operação. [...]” (Bosch, Robert 2005)

As funções principais do sistema de diagnóstico eletrônico são detetar falhas e defeitos e armazená-los na ECU principal da viatura. Este recurso permite que um relatório das informações armazenadas seja extraído através de uma interface série e possibilita maior rapidez na identificação de problemas, tornando as reparações mais eficientes.

A implementação de redes de autodiagnóstico eletrônico nas viaturas possibilitou aos fabricantes um maior controlo sobre o desempenho do veículo, qualidade da queima de combustível, otimização de desempenho e reajuste dos motores para modelos futuros. Após a criação das leis de controlo de emissões CARB e EURO, a comissão europeia percebeu que a utilização dos sensores e a capacidade de armazenar as informações recolhidas providenciaria uma grande ajuda na monitorização dos gases de escape, criando assim, o sistema de diagnóstico de bordo (OBD).

### **2.8.1 On Board Diagnostic**

A sigla OBD, do inglês, *On Board Diagnostic*, ou, em Português, diagnóstico de bordo refere-se ao sistema que permite a transmissão das leituras dos sensores do veículo para um computador central que analisa essas informações e transmite para o equipamento de diagnóstico conectado ao carro através da interface especificada. A interface pode ser o painel de instrumentos do veículo ou acedido por um aparelho externo de diagnóstico. Tais informações são úteis para o funcionamento do veículo e os sistemas a ele atribuídos, como valores de temperatura, pressão, nível ou rotações. Na sua maioria, os valores adquiridos são utilizados para efetuar ajustes em tempo real das funções mecânicas do carro, com o objetivo de otimizar seu desempenho e reduzir a emissão de gases poluentes.

### **2.8.2 Breve histórico**

As primeiras aplicações datam do início dos anos 1980, quando a CARB começou a desenvolver regras para detetar falhas nas emissões dos veículos. Este primeiro sistema recebeu o nome de OBD e, no início, monitorizava apenas os níveis de oxigénio, sistema de reaproveitamento de gases e controlo do módulo do motor.

O sistema descrito ainda não era regulamentado, e não estava a ser implementado pelas diferentes marcas nos diversos veículos. Assim sendo, a partir de 1990, a CARB estabeleceu que todos os carros a gasolina vendidos no estado da Califórnia atendessem às especificações e tivessem incorporados a unidade de comando e um sistema de diagnóstico capaz de detetar defeitos em elementos dos sistemas do motor e efetuar o controlo de emissões. Ainda sem padronização, a norma denominava-se OBD-I, ou, “sistema pré-OBD-II”. Tal medida esteve em vigor até 1994, quando foi analisado que as práticas do OBD-I já não eram suficientes para os veículos atenderem às inspeções periódicas.

No mesmo ano surge o padrão OBD-II, que compreende uma reformulação do sistema anterior, mais abrangente e fiável, com o objetivo de ser aplicada a todos os carros nos Estados Unidos até 1996, mas sendo somente obrigatória a partir de 1999. Entre 2000 e 2001, o mesmo padrão foi inserido na Europa (com pequenas modificações), chamado de *European On-Board Diagnostics* (EOBD).

O sistema OBD-II busca a padronização das normas de controlo e monitorização eletrónica das viaturas, os quais foram propostos pela SAE, que criou os guias práticos de implementação e funcionamento dos protocolos de comunicação. Mais tarde, no ano 2000, a manutenção e aperfeiçoamento das normas ficaram sob responsabilidade da SAE e da ISO.

### **2.8.3 Sobre o OBD II**

Criado como sucessor do OBDI, o padrão OBDII especifica o tipo de ficha para diagnóstico, o seu *pinout*, os tipos de protocolos implementados e o formato das mensagens que correm nos barramentos. Define também uma série de parâmetros de monitorização juntamente com seus modos de codificação de dados (para cada protocolo).

Uma das principais funções do sistema OBD é a aquisição de códigos de erro, ou *Data Codes* (DTC), que são regulamentados e listados pelas normas (ISO e SAE), ou atribuídos pelo fabricante (códigos proprietários), e a alguns DTCs mais importantes são indicados no painel de instrumentos dos veículos, entretanto a sua maioria mantém-se armazenado em memória e só podem ser acedidos sob utilização de um equipamento de diagnóstico externo.

### **2.8.4 Capacidades do OBD-II**

Além dos códigos de problemas, existem outras funcionalidades que podem ser acedidas através do OBD, como os valores dos sensores dos diversos sistemas do veículo, números de série, versões de *software* e, a depender do protocolo e modo de acesso, comandos de configuração dos módulos ou atuadores (recurso reservado apenas aos serviços especializados dos fabricantes): Adaptado de (SeCons s.r.o, 2007)

- *Diagnostic Trouble Codes* (DTCs)

Em português, diagnóstico de códigos de falha, os DTCs, são códigos de erros que indicam falhas ou avarias que podem estar a ocorrer no carro. Estas falhas podem ser críticas ao funcionamento mecânico, dos sensores ou dos atuadores. Todos os códigos de falha possuem causas, sistemas e prioridades específicas.

Os DTCs são categorizados, segundo a norma SAE J2012, em dois grupos:

**Ativos** – Códigos de problemas que estão a acontecer no veículo, continuam a ser apresentados até que a falha seja corrigida;

**Não-Ativos** – São os códigos relacionados a falhas que foram detetadas anteriormente, mas não mais afetam o carro. Entretanto não significa que foram resolvidas, podendo ser o indício de uma avaria intermitente. Estes códigos continuam armazenados em memória até que sejam apagados manualmente, com exceção dos códigos relacionados ao controlo de emissões, que são, por norma, mantidos no sistema para fins de inspeção de viaturas.

- Informação em tempo real

As informações disponibilizadas pelos sistemas do carro a pedido do operador do equipamento de diagnóstico, são de alta importância para o acompanhamento do desempenho do automóvel e monitorização dos estados dos sensores em funcionamento. Este último é um dos elementos mais importantes para informar a maioria dos estados dos sensores ao motorista, através do painel de instrumentos, e *tunning* do motor realizado pelas oficinas.

- *Freeze frame data*

Trata-se da captura do exato momento em que um DTC surge no sistema. O recurso grava, em memória, o estado dos sensores e seus valores medidos no momento em que uma avaria, como a luz de verificação de motor, acende ao motorista. Pode ser de grande ajuda para diagnosticar problemas graves e difíceis de serem encontrados com os dados lidos normalmente.

- Informação do sensor *Lambda*

Como mencionado anteriormente, por norma, é obrigatório que os dados de emissão de poluentes estejam gravados no sistema para fins de inspeção veicular. Os valores lidos pela sonda *Lambda* do automóvel permitem ver o histórico de utilização de oxigênio pelo motor e compará-los com os níveis de monóxido de carbono emitidos pelo carro.

## **2.9 Protocolos OBD-II e normas aplicadas**

O Sistema OBDII define uma série normas, além do controlo de emissões, com objetivo de regulamentar as características e sistemas de comunicação dos automóveis e otimizar os procedimentos de aquisição de parâmetros e códigos de erros através de estruturas genéricas de implementação física da rede de transmissão de dados, métodos de controlo de rede, camadas de aplicação e parâmetros universais pré-definidos.

### 2.9.1 Conector OBD-II

Como primeiro fator de regulamentação, está o tipo de ficha utilizada para diagnóstico eletrônico. Definida pela norma SAE J1962, o conector OBD-II é disponibilizado nos veículos em dois formatos: Tipo A, para veículos que possuem alimentação por baterias de 12V e Tipo B, para veículos com alimentação de 24V. Ambos com 16 pinos distribuídos em duas filas em uma ficha em formato de “D”. Diferenciados pelo “corte” entre as filas, que no tipo B dividido ao meio, ao contrário do tipo A, como ilustrado na Figura 9.

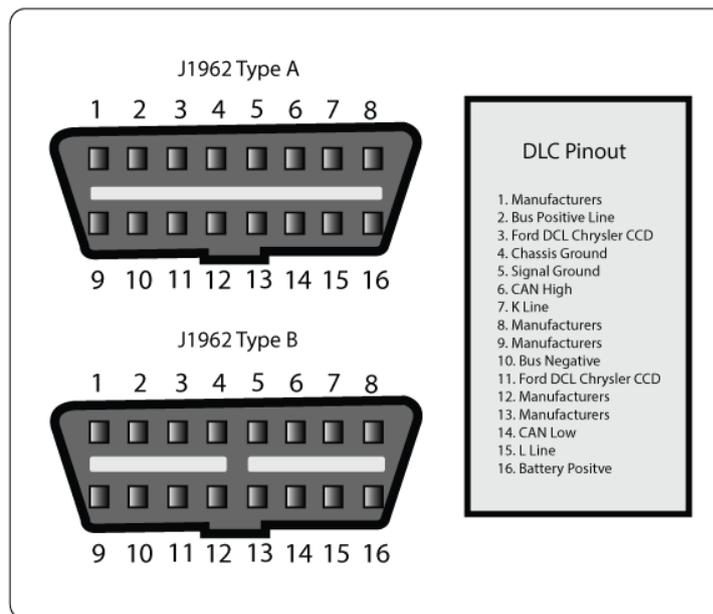


Figura 9 – Tipos de conector OBD-II (ASE education foundation, 2018)

Por padrão, a ficha deve fornecer alimentação para o equipamento de diagnóstico diretamente da bateria e dois pinos de massa. A disposição dos pinos pode depender do fabricante, mas três protocolos principais devem ser dispostos como padrão nos pinos designados a seguir:

1. Reservado ao fabricante;
2. SAE J1850 *bus* positivo;
3. Ford/Chrysler (Atualmente é reservado ao fabricante);
4. Massa do chassis;
5. Massa de sinal;
6. CAN\_H (ISO15765-4);
7. K Line (ISO14230-4, ISO9141-2);
8. Reservado ao fabricante;
9. Reservado ao fabricante;

10. SAE J1850 bus negativo;
11. Ford/Chrysler (Atualmente é reservado ao fabricante);
12. Reservado ao fabricante;
13. Reservado ao fabricante;
14. CAN\_L (ISO15765-4);
15. L Line (ISO14230-4, ISO9141-2);
16. Positivo da bateria (12 V ou 24 V).

### 2.9.2 Protocolos de comunicação

Assim como o Modelo OSI, o OBD-II distingue o protocolo de comunicação utilizado em cada camada de rede implementada. A seguir estão descritos os principais protocolos definidos para o conector. Entretanto, neste relatório, será abordado apenas o ISO15765 (CAN) aplicado a veículos pesados sob a norma SAE J1939. (SeCons s.r.o, 2007)

- SAE J1850 PWM (Pulse Width Modulation):

Padrão comumente utilizado pela empresa Ford. Utiliza os pinos 2 e 10 com uma diferença de potencial de 5V, *baudrate* de até 41,6 kbps, tamanho das mensagens até 12 *bytes* e a técnica de múltiplo acesso não destrutiva CSMA/NDA.

- SAE J1850 VPW (Variable Pulse Width):

Antigo padrão de comunicação da GM. Utiliza o pino 2, tensão de 7 V, mensagens até 12 *bytes* e a técnica de acesso múltiplo CSMA/NDA.

- ISO9141-2

Antigo protocolo implementado na maioria dos veículos europeus entre 2000 e 2004. Utiliza os pinos 7 (K Line) e, opcionalmente, 15 (L Line).

- ISO14230-4 (KWP2000)

Protocolo comum ao ISO9141 (K Line), para viaturas a partir de 2003. A sua comunicação é baseada na sincronização de tempo das mensagens, diferente do protocolo anterior, visto que utiliza apenas o pino 7 (*K line*) com duas velocidades de inicialização disponíveis: 5 *baud init* (*slow init*) e *fast init*. Ambos com débito de 10,4 kbps no trânsito de mensagens.

- ISO15765 CAN (250kbps ou 500kbps)

É o protocolo mais utilizado atualmente, obrigatório para todos os veículos produzidos a partir de 2008 nos Estados Unidos. Utiliza os pinos 6 (CAN\_H) e 14 (CAN\_L) com comunicação diferencial. Existem quatro variantes do ISO15765, as quais diferem pelo formato do identificador e débito:

- ISO15765-4 CAN (11-bit ID, 500 kbps);
- ISO15765-4 CAN (29-bit ID, 500 kbps);
- ISO15765-4 CAN (11-bit ID, 250 kbps);
- ISO15765-4 CAN (29-bit ID, 250 kbps).

### 2.9.3 Outros protocolos OBD-II

O sistema OBD-II, que inicialmente foi concebido para regulamentar as emissões dos automóveis ligeiros, também está a ser implementado em outros tipos de veículos. Na década de 1980, o protocolo SAE J1708 definia os parâmetros de comunicação das redes em veículos pesados de carga e passageiros, sendo que foi substituído pela norma SAE J1939 em 1999. Foram também criados protocolos para máquinas agrícolas, embarcações e aeronaves, todos utilizam o CAN na camada física de rede, sob a norma ISO11898, sendo que se utilizam diferentes implementações no que respeita aos formatos de mensagens nas camadas superiores.

Os fundamentos do CAN são especificados em duas normas: a ISO11898 e a ISO11519-2. A primeira, ISO11898, determina as características de uma rede com elevada velocidade de transmissão de dados (de 125 kbps a 1 Mbps). A segunda, a ISO11519-2, determina as características de uma rede de baixa velocidade (de 10 kbps a 125 kbps). Ambos os padrões especificam as camadas: física e lógica, respetivamente as camadas 1 e 2 do padrão de comunicação OSI de 7 camadas (ISO7498). As demais camadas, da 3 a 7, são especificadas por outros padrões, cada qual relacionado a uma aplicação específica. (Guimarães, 2010)

Para outros tipos de veículos utilizam-se os seguintes padrões baseados no CAN:

- NMEA 2000: Baseado no CAN 2.0B e utilizado em aplicações navais e aéreas;
- SAE J1939: Baseado no CAN 2.0B e utilizado em automóveis pesados, especialmente autocarros e camiões;
- DIN 9684 – LBS: Baseado no CAN 2.0A e utilizado em máquinas agrícolas;
- ISO11783: Baseado no CAN 2.0B e também utilizado em máquinas agrícolas.

Os padrões citados especificam o equivalente às camadas de Rede (3), Transporte (4), Sessão (5), Apresentação (6) e Aplicação (7), do padrão OSI, incluindo-se as mensagens respeitantes ao dicionário de dados de cada aplicação em especial.

### ***2.10 Fleet Management System Standard (FMS)***

O padrão FMS é uma interface projetada para aquisição de dados em viaturas pesadas comerciais e de passageiros. Foi desenvolvida pelos maiores fabricantes europeus da indústria automotiva (Daimler AG, IrisBus, EvoBus, MAN AG, Scania, Volvo, Renault, DAF *Trucks* e IVECO), em 2002, com o objetivo de possibilitar o acesso a dispositivos de telemetria externos a uma lista específica de dados disponibilizados na rede CAN.

A interface FMS está implementada na maioria dos autocarros e camiões como *firewall* do sistema OBDII. Foi desenvolvida exclusivamente para complementar o protocolo J1939, permitindo, assim, maior segurança na rede CAN do veículo, sendo que disponibiliza os dados presentes na lista seguinte:

- Velocidade do veículo (medida nas rodas);
- Velocidade do veículo (tacógrafo);
- Pedal de embraiagem (*On/Off*);
- Pedal do travão (*On/Off*);
- *Cruise Control* (*On/Off*);
- *Power Take-off*, PTO (*Status/Mode*);
- Posição do pedal do acelerador (0-100%);
- Total de combustível utilizado (em litros, desde a fabricação);
- Nível de combustível no depósito (0-100%);
- Rotações do motor (RPM);
- Peso no eixo (kg);
- Total de horas de funcionamento do motor (h);
- Versão de *software* do FMS;

- *Vehicle Identification Number* (VIN), em caracteres ASCII;
- Informação do tacógrafo;
- Distância do veículo em alta resolução;
- Distância de serviço (distância a percorrer até a próxima revisão);
- Temperatura do líquido refrigerante.

O sistema foi desenvolvido para que os dados sejam disponibilizados por *broadcast*, filtrados por um *gateway* que funciona como *firewall* entre a rede CAN, e os equipamentos de diagnóstico terceiros através da conexão por um conector padrão (nos autocarros), como ilustrado na Figura 10.

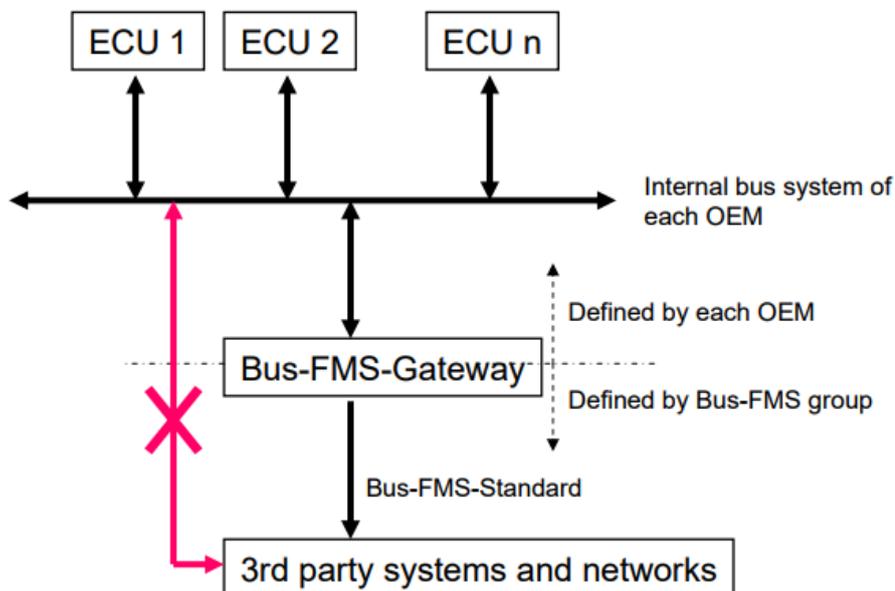


Figura 10 – Rede CAN com gateway FMS (HDEI / BCEI Working Group , 2012).

A quantidade de dados disponibilizado por um veículo varia entre diferentes fabricantes e modelos. Os dados que não puderem ser acedidos, são marcados como “não disponível” na interface. De acordo com o grupo de fabricantes de veículos pesados, apesar de ser opcional, o FMS pode ser visto como padrão mundial.

### 3 Estado da arte: Protocolo J1939 e CAN

#### 3.1 Protocolo CAN

Desenvolvido em 1983, pela empresa Bosch GmbH e publicado oficialmente pela SAE em 1986, as aplicações do CAN vão desde pequenos sistemas de baixo impacto às redes de alta velocidade e fiabilidade, como as de monitorização industrial e eletrónica automóvel.

Com o constante crescimento das redes CAN, em 1993, o *International Organization for Standardization* publicou a norma ISO11898, que reestrutura o protocolo em três camadas de comunicação baseadas no modelo *Open Systems Interconnection* (OSI):

- ISO11898-1, que abrange a camada de dados (*Data layer*);
- ISO11898-2, especificando a camada física de comunicação de alta velocidade (*Physical layer*);
- ISO11898-3, introduzida para abranger a camada física de baixa velocidade e protocolos de tolerância de erros.

Na Figura 11, pode-se observar as camadas do protocolo CAN aplicadas e sua comparação com as camadas do Modelo OSI.

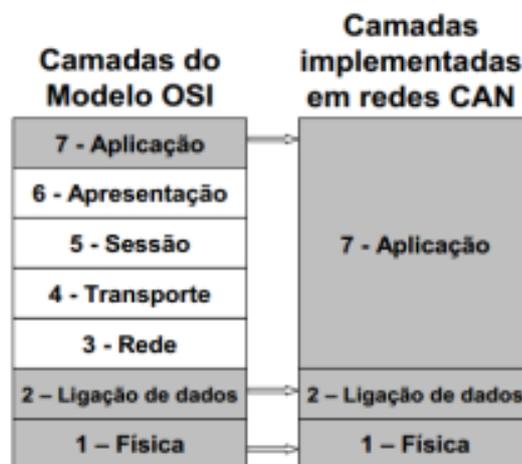


Figura 11 – Camadas modelo OSI em comparação com o CAN. (Gonçalves, 2015)

A camada de aplicação (7), definida pelas normas ISO11898, têm como função definir filtros, endereçamento na camada de dados, das mensagens e interface com o *hardware*. Enquanto a camada de ligação de dados (2) define a maior parte da implementação de uma rede CAN, com a função de configuração dos parâmetros de *timing*, sincronia, tramas de mensagens, arbitragem, confirmação de recebimento, deteção de erros, filtragem de erros, sinalização e controlo de falhas. Por fim, a base do protocolo, a camada física (1) define os aspetos elétricos

da rede, valores de tensão, de corrente e aspetos físicos dos condutores), velocidade de tráfego de *bits* entre os nós, medidas de acesso múltiplo através do uso dos estados recessivo e dominante dos *bits* e sua arquitetura física.

“O CAN é uma rede de comunicação série, na qual se transmitem dados com informações trocadas entre controladores distribuídos de forma modular. Cada módulo é responsável por funções específicas, mas recolhem e/ou geram dados que muitas vezes devem e podem ser utilizados por outros módulos. Deste modo, cada módulo deve obtê-los, processá-los e transmiti-los através da rede de comunicação de dados de forma a compartilhá-los com todo o sistema de forma integrada. A flexibilidade dessa rede permite que seja aplicada a vários sistemas nos quais os equipamentos necessitem se comunicar ou onde existam sistemas microprocessados ou microcontrolados.” (Marques, 2004)

O protocolo funciona sob o princípio de comunicação multi-mestre, de forma que as várias unidades de controlo com mesmo nível de prioridade comuniquem entre si através de um barramento, representado na Figura 12. Deste modo, qualquer falha na comunicação ou funcionamento de qualquer um dos módulos não causa interferência no acesso dos demais módulos integrantes da rede.

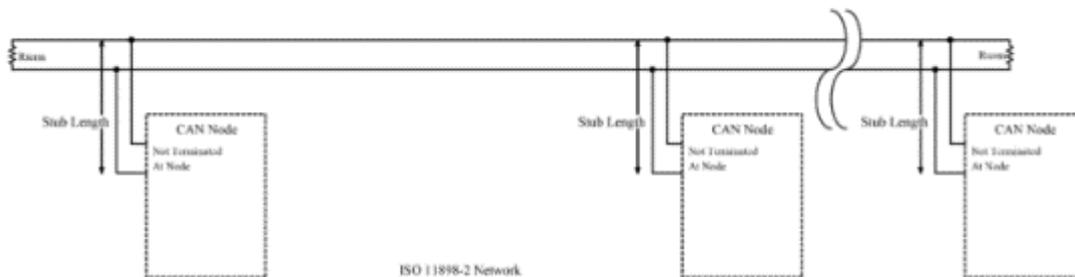


Figura 12 – Barramento de alta velocidade CAN. (ISO11828-2)

“Outro ponto forte deste protocolo é o fato de utilizar a técnica de acesso múltiplo, *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection with Non-Destructive Arbitration (CSMA/CD with NDA)*. Isto significa que todos os módulos verificam o estado do barramento, analisando se outro módulo está a enviar mensagens com maior prioridade. Caso isto seja percebido, o módulo cuja mensagem tiver menor prioridade cessará a sua transmissão e o de maior prioridade continuará enviando sua mensagem deste ponto, sem ter de reiniciá-la.” (Guimarães, 2010)

### 3.1.1 Técnica anticolisão de dados (CSMA/CD)

Para garantir a entrega das mensagens, sem riscos de colisões ou perda de mensagens, o CAN utiliza o protocolo de arbitragem não destrutiva CSMA/CD. A prioridade da mensagem, presente no identificador, é determinada pelo seu valor dominante ou recessivo. Cada vez que um módulo envia um *bit* dominante (0), este sobrescreve-se ao *bit* recessivo (1) dos outros módulos, que, conseqüentemente, ficam apenas à escuta na linha. Se dois módulos, ou mais, estiverem a enviar mensagens com prioridades iguais, “vence” o que se mantiver a enviar mais *bits* dominantes. Como ilustrado na Figura 13, os nós 1 e 2 perderam a arbitragem ao enviar *bits* recessivos nos campos 2 e 5, respetivamente, permitindo ao nó 3 a transmissão da mensagem, enquanto os outros ficam apenas a “ouvir”.

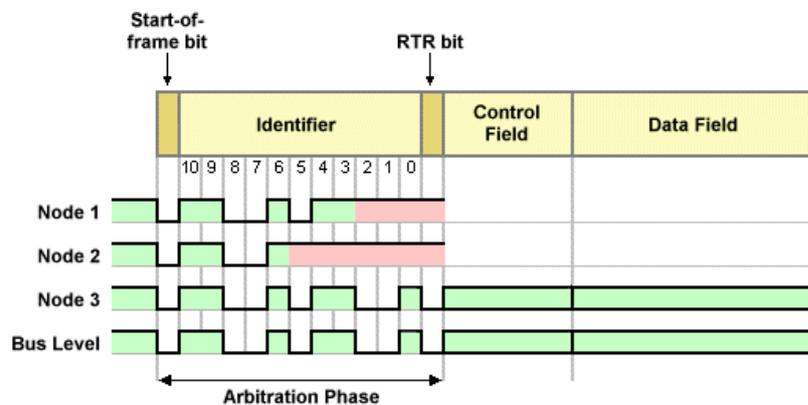


Figura 13 – Arbitragem de mensagens CAN (Automotive Basics, 2012)

O recurso ao endereçamento da mensagem, determina que um identificador (cabeçalho ou endereço) é destinado a um módulo ou sistema específico. Desta forma, pode-se caracterizar o conteúdo da mensagem através do valor específico que se pretende apanhar daquele sistema, como, por exemplo, o valor das rotações do motor. Cada módulo ECU possui um filtro de mensagens, que é configurado para apenas receber os dados específicos àquele sistema. O filtro proporciona uma alta capacidade de expansão da rede, independente da quantidade de unidades instaladas (a depender pelo limite físico de endereços), sem necessidade de reconfiguração da rede.

### 3.2 Características físicas/ Estrutura da rede

A rede CAN caracteriza o seu modo de comunicação através da difusão das mensagens para todos os módulos do barramento, onde o tráfego na linha é interpretado pelo módulo endereçado.

Fisicamente, uma rede CAN é constituída por um par de fios entrançados terminados com uma resistência de  $120 \Omega$ , a qual é colocada numa das extremidades. Os níveis de tensão variam de 0 V a 5 V, tendo como base de comunicação dois estados lógicos, *CAN High* (CAN\_H) e *CAN Low* (CAN\_L).

O protocolo possui dois estados lógicos: recessivo e dominante, de acordo com a ISO11898-2, representados pelo diferencial de tensão, como ilustrado na Figura 14

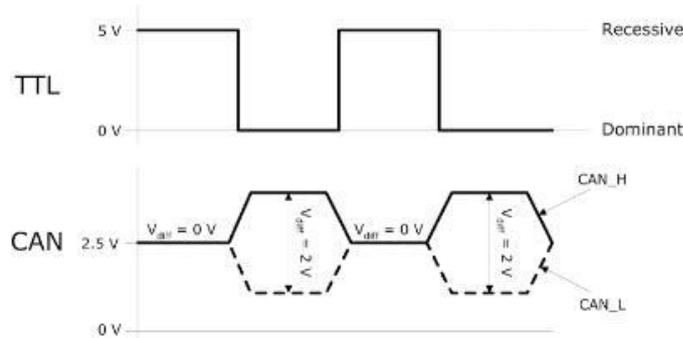


Figura 14 – Sinal CAN e tensão diferencial (Voss, 2008)

O barramento utiliza uma codificação de linha com pulsos *Non-Return to Zero* (NRZ) com *bit-stuffing*, sendo que todos os módulos são conectados ao barramento em lógica AND, em que transmitem o valor lógico 0 na linha, independente de quantos módulos estão a transmitir o valor lógico 1.

O estado recessivo (1 lógico) tem um valor de tensão diferencial entre o CAN\_H e o CAN\_L, menor que o limiar mínimo ( $<0.5 \text{ V}$  no recetor ou  $<1.5 \text{ V}$  no transmissor). No estado dominante (0 lógico), a diferença de tensão entre o CAN\_H e CAN\_L é maior que o limiar mínimo, na prática entre 2 V e 2,5 V. Se ao menos um módulo transmitir um *bit* dominante, o seu status no barramento muda para “*dominant*” independente de outros *bits* recessivos transmitidos.

### 3.3 Tipos de CAN (*Standard/ Extended*)

O protocolo CAN possui dois tipos de mensagem, as quais são diferenciadas pelos seus identificadores e pela compatibilidade entre eles. O formato *standard*, é composto por um Identificador de 11-*bits*, enquanto que o formato *extended* utiliza o identificador de 29-*bits*.

Os identificadores são compostos por informações úteis para a interpretação da mensagem, assim como especificam o tipo de rede CAN implementada. As suas designações são definidas pelas normas aplicadas (Padrão Bosch GmbH e, posteriormente, ISO11898) ao protocolo e possuem compatibilidade limitada aos sistemas mais antigos, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Tipos de controladores CAN ( (Robert Bosch, 2005)

Receiver Transmitter	Spec. 2.0 Part A Standard Frame	Spec 2.0 Part B "Extended Frame Passive"	Spec. 2.0 Part B "Extended Frame Active"
Spec. 2.0 Part A Standard Frame	Compatible	Compatible	Compatible
Spec. 2.0 Part B Standard Frame	Compatible	Compatible	Compatible
Spec. 2.0 Part B Extended Frame	not Compatible	Compatible	Compatible

Os controladores CAN mais atuais são do tipo 2.0B ativos e possuem a maior compatibilidade com modelos anteriores e com o CAN *extended*, enquanto os controladores do tipo 1.x ou 2.0A não são compatíveis com mensagens de 29 *bits*. O tipo 2.0B passivo permite a difusão de mensagens CAN *extended*, mas não as interpreta. O controlador tipo 2.0B ativo pode enviar e receber mensagens de 29 *bits*. Definido inicialmente pela Bosch, em 1991, o CAN 2.0 apresenta as seguintes características:

- Barramento de até 40 metros a 1 Mbps e até 1 km a 50 kbps;
- Taxas de transferência de 10 kbps a 1 Mbps;
- Mensagens com 0 a 8 *bytes* úteis de dados;
- Comprimento de mensagens até 130 *bit*;
- Configuração de priorização de mensagens;
- Garantia de tempos de latência;
- Flexibilidade ao configurar e expandir a rede;
- Receção de *multicast* com sincronização de tempo;
- Garantia de integridade de dados;
- Detecção e sinalização de erros;
- Controlo de transmissão subsequente de mensagens corrompidas, falhas nos módulos e erros no barramento.

### 3.4 Estrutura de mensagem

Quando aplicado na camada de rede, o CAN possui dois formatos exclusivos de *broadcast* de mensagens, como mencionado anteriormente. A estrutura do identificador é interpretada pelo recetor que o subdivide em campos de *bits* maiores ou menores que um *byte*. Esta subdivisão, caracteriza o método de arbitragem de receção de mensagens pelo módulo, que as irá interpretar de acordo com a sua prioridade.

As mensagens CAN possuem estruturas semelhantes, sejam com identificadores de 11-*bits* ou 29-*bits*, como se encontra ilustrado na Figura 15. Iniciam sempre com um *bit* de início, seguido do identificador de 11-*bits*, um ou três *bits* de controlo, um identificador de 18-*bits* (para o CAN *extended*), um *byte* para indicar o tamanho de dados úteis, um código de deteção de erro, confirmação de receção da mensagem, controlo do fim da mensagem, seguido de 7 *bits* de espaçamento entre o fim de uma mensagem e o início da próxima.

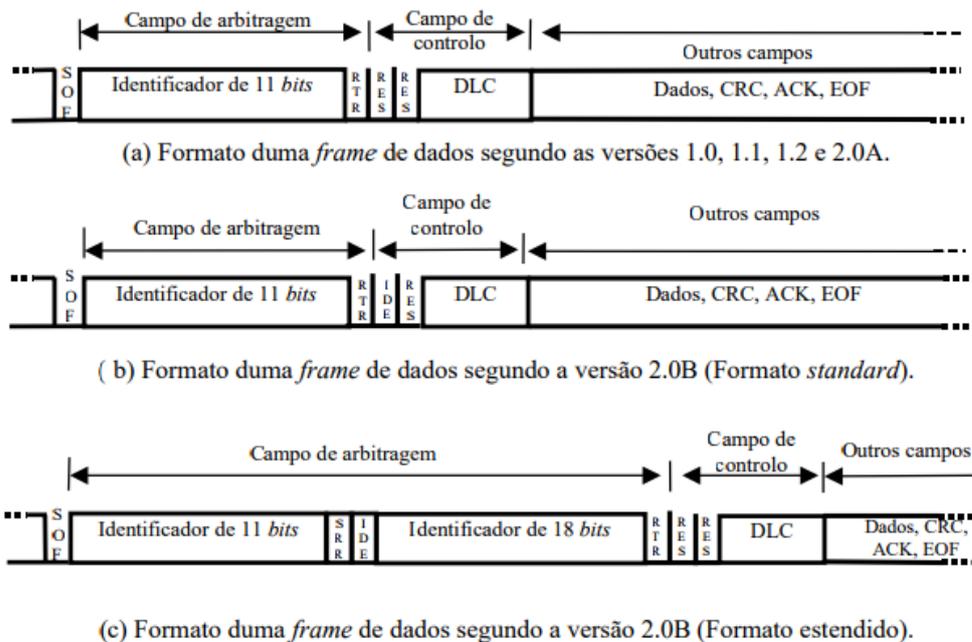


Figura 15 – Formato dos diferentes tipos de frames (VIEIRA, et. al., 2002)

Para os padrões 1.0 a 2.0B *Standard* (4a e 4b):

**SOF – Start of frame** – É o *bit* dominante. Marca o início de uma mensagem e é usado para sincronizar todos os nós;

**11-Bit Identifier** – Identificador padrão de 11 *bits*. Estabelece a prioridade da mensagem. Quanto menor for o valor binário deste campo maior será a sua prioridade;

**RTR – Remote Transmission Request** – É dominante quando a informação é solicitada de outro ponto. Todos os segmentos recebem este pedido, mas o identificador determina o nó específico;

**IDE – Identifier Extension** - *Bit* identificador de extensão dominante. Significa que um identificador CAN *standard* sem extensão está a ser transmitido;

**RES** – *Bit* reservado;

**DLC – Data Length Code** – Espaço de um *byte* dedicado a indicar o tamanho do campo de dados em *bytes*;

**DATA** – Campo com até 8 *bytes* para dados;

**CRC – Cyclic Redundancy Check** - Contém o *checksum* para deteção de erros e integridade dos dados. 16 *bits* (15 *bits* mais o delimitador);

**ACK – Acknowledgement** - Sempre que um nó recetor subscreve este *bit* recessivo, indica que a mensagem foi recebida sem erros;

**EOF – End-Of-Frame** - Fim da mensagem.

Para o padrão 2.0B *Extended (4c)*:

**SRR – Substitute Remote Request** – Em substituição ao bit RTR do padrão *standard*;

**IDE** – Ao enviar o *bit* recessivo, indica que a mensagem vem seguida de um identificador de 18-*bits*;

**18-bit Identifier** – Identificador de 18-*bits*, em adição ao de 11-*bits*. Com um identificador mais estendido, permite que a rede tenha mais endereços registados ( $2^{29} - 1$ ), em consequência aumenta o tempo entre mensagens (*Inter Frame Space*).

### 3.5 Tipos de mensagens CAN (*frames*)

Obedecendo o padrão de arbitragem e controlo de acesso e *broadcast* no barramento, as mensagens disponibilizadas pelos módulos seguem estruturas para cada tipo de informação contida no *datafield*. Cada estrutura diferente, ou *frame*, executa o seu papel de forma distinta, como em casos de erros de transmissão ou solicitação de interação no barramento CAN.

Existem quatro tipos diferentes de *frames*, definidos pela ISO11898, no entanto apenas três são utilizados nos equipamentos CAN atuais:

#### 3.5.1 Data frame

É a trama típica de mensagens. Composto pelos *bits* de controlo (Prioridade, identificador de 11 ou 29 *bits* e RTR ou SRR), campo de dados com até 8 *bytes*, CRC e ACK.

### 3.5.2 Remote frame

Similar ao *Data Frame*, exceto por duas diferenças, ilustrado na Figura 16;

- É explicitamente marcado como *Remote Frame* (o bit RTR é sempre recessivo);
- Não possui *Data Field*.

Tem como propósito a solicitação de transmissão *do data frame* correspondente. É utilizada na implementação de uma comunicação do tipo *Request-Response* dentro do barramento. Contudo, alguns controladores CAN podem ser programados para notificarem a CPU local automaticamente. O DLC deve ser configurado de acordo com a resposta pretendida, caso contrário o pedido não será respondido.

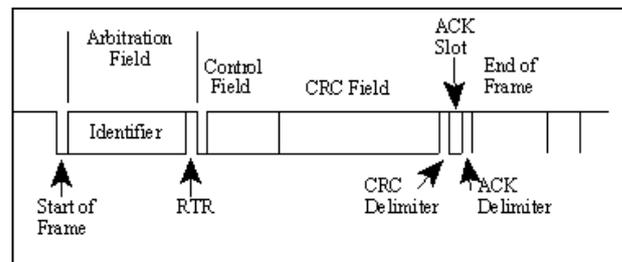


Figura 16 – Remote Frame tipo 2.0A (Kvaser, 2017).

### 3.5.3 Error frame

Transmitido quando um módulo deteta uma falha na mensagem CAN, causando os outros módulos a detetarem a mesma falha e todos enviarem *error frames* simultâneas relativas àquela mensagem. O transmissor irá automaticamente tentar transmitir a mensagem novamente, até obter sucesso. É necessário um esquema elaborado de contadores de erros para que não haja *flooding* no barramento, afetando o tráfego das informações úteis com mensagens repetidas de erro.

O *Error frame* consiste numa *flag* de 6 bits de mesmo valor e um delimitador de erro, com 8 bits recessivos, ilustrado na Figura 17. O delimitador de erros fornece o espaço na mensagem dedicado aos módulos do barramento, que podem enviar *Error Flags* assim que é detetado a primeira.

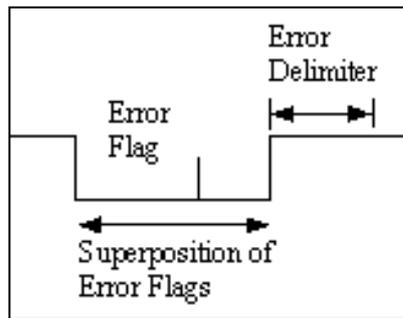


Figura 17 – Error Frame Overload frame (Kvaser, 2017).

### 3.5.4 Overload frame

Similar ao *Error Frame*, tem como função informar quando um módulo está ocupado para responder ao pedido, é apenas utilizado em controladores CAN obsoletos.

## 3.6 Protocolo SAE J1939

“A SAE desenvolveu o protocolo J1939 para ser o padrão CAN utilizado em equipamentos de escala industrial na agricultura, construção, resgate e combate ao fogo florestal, transporte de carga e passageiros. O protocolo é caracterizado pela sua aplicação em níveis superiores das camadas de rede e define a forma como a comunicação entre os módulos ocorre no barramento. A rede J1939 é um sistema de comunicação específico que abrange um conjunto de parâmetros direcionado à indústria, diferente das aplicações automotivas genéricas.” (Axiomatic, 2006)

O protocolo J1939 segue a norma ISO11898, CAN para automóveis, na sua camada física sendo que é amplamente aplicado nas viaturas pesadas de passageiros e de carga. Foi criado como substituto do protocolo SAE J1708, partilhando a mesma estrutura física de barramento – par entrelaçado e comunicação série – sendo beneficiado pela velocidade, arbitragem e fiabilidade superiores proporcionadas pelo CAN. A norma é segmentada em sete partes, as quais definem o protocolo desde sua camada física até ao controlo de rede e diagnóstico:

- J1939/11 – Camada física (CAN, ISO11898);
- J1939/13 – Ficha de diagnóstico *off-board*;
- J1939/21 – Camada de transporte;
- J1939/31 – Camada de rede;
- J1939/71 – Camada de aplicação veicular;
- J1939/73 – Camada de aplicação para diagnóstico;
- J1939/81 – Gestão de rede.

### 3.6.1 J1939/11 – Camada física

Como foi mencionado anteriormente, o protocolo utiliza a rede CAN da viatura para transportar as informações transmitidas pelas ECUs no barramento. Obedece, também, às mesmas regras e limitações do protocolo CAN, no que concerne ao número de módulos e comprimento físico da rede:

- Par entrelaçado com revestimento;
- Comprimento máximo de 40 metros;
- Débito de 250 kbps;
- Até 40 ECUs a transmitir por sub-rede.

### 3.6.2 J1939/13 – Ficha de diagnóstico *off-board*

As definições do protocolo padronizam o conector de 9 pinos circular, como ilustrado na Figura 18, embora que desde 2008, na Europa, as aplicações utilizem os mesmos pinos do CAN, ISO15765, no *socket* OBD16 (J1962) para efetuar a comunicação de diagnóstico.



Figura 18 – Detalhe da ficha J1939 (Ebay).

### 3.6.3 J1939/21 - Camada de transporte

Esta parte do documento é dedicada às definições das mensagens mais longas que 8 *bytes*, as quais são transmitidas no barramento, e aos cinco tipos de mensagens que podem existir numa comunicação J1939: pedidos, transmissão, comandos, confirmação de recebimento e as funções de grupos de parâmetros.

Para que a transmissão de mensagens seja possível na rede CAN, a referida norma define que a informação deve ser segmentada em tramas de dados (*data frames*), as quais são enviadas em sequência, juntamente ao controlo de erros e verificação de continuidade da informação, para que seja possível a sua sincronização.

### 3.6.3.1 Protocol Data Unit (PDU)

“As mensagens em J1939 são organizadas em unidades de informação de protocolo, ou *Protocol Data Units* (PDU), que consiste em um identificador e oito *bytes* de informação. Os dados numéricos, que têm comprimento maior que um *byte*, são enviados com seu *least significant byte* (LSB) à frente.” (Kvaser, 2017)

Devido à sua similaridade com o CAN, o J1939 utiliza o formato de mensagens compatível com CAN 2.0B na sua camada de rede e transporte de dados. O identificador de *29-bit* é classificado como *Protocol Data Unit*, (PDU), distintos por PDU1 (mensagem com endereço de destino) e PDU2 (mensagem para transmissão no barramento). Assim como no CAN, os outros elementos da mensagem (SOF, EOF, SRR) mantêm-se, enquanto o RTR é configurado sempre a zero. O identificador de *29-bit* é segmentado em seis campos, como ilustrados na Figura 19.

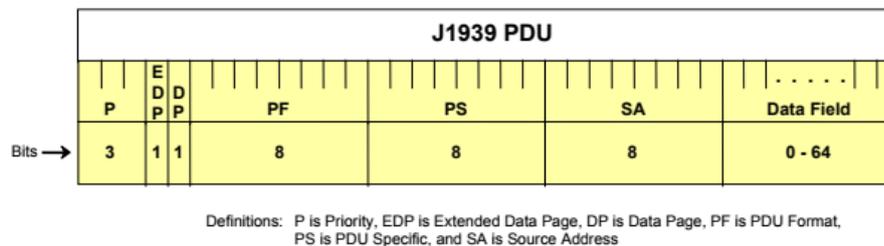


Figura 19 – Segmentação do identificador de 29-bit (SAE J1939-21).

**Priority (P):** Representa a prioridade da mensagem baseado na sua importância e impacto no funcionamento do sistema. Representado por três *bits*, onde o valor 111 indica a menor prioridade, enquanto o valor 000 indica a maior prioridade;

**Extended Data Page (EDP):** Reservado para uso futuro de extensão dos endereços disponíveis para o protocolo. Combinado com o **DP**, determina a estrutura do Identificador CAN da trama de dados, sendo sempre preenchido com zero “0” quando em modo de transmissão;

**Data page (DP):** Seletor de página do *PDU Format*. O estado do *bit* permite que um maior número de parâmetros seja representado no identificador, dividindo em dois grupos de *Parameter Group Number* (PGN);

**PDU Format (PF):** O campo indica se a mensagem tem um módulo específico como destino ou se será transmitida no barramento para todas as ECUs.

**PDU Specific (PS):** Conteúdo interpretado de acordo com a informação no **PF**. Se tiver valor entre 0 e 239(PDU1), indica o endereço módulo específico no campo **PS**. Se for representado com valores entre 240 e 255(PDU2), o **PS** passa a representar a extensão do grupo de parâmetros transmitido, neste caso os subsistemas do módulo endereçado;

**Source Address (SA):** Tem tamanho de 8 *bits*, indica o endereço único do módulo a transmitir no barramento.

### 3.6.3.2 *Parameter Group Number (PGN)*

O número máximo de parâmetros representados nos dois *bytes* do identificador permite até 65535 endereços disponíveis. Definido na SAE J1939/71, o *Parameter Group Number* (PGN) refere-se aos campos de *data page*, PF e PS combinados num valor de 18 *bits*, que associados aos 11 *bits* restantes formam o identificador de 29-bit no CAN. Mais detalhes acerca do PGN e sua identificação na mensagem serão explicados nos capítulos seguintes deste trabalho.

### 3.6.3.3 *CAN Data field*

Como mencionado no subcapítulo 3.5, a trama de dados CAN é composta pelo identificador de 29-bit (sob a norma J1939), seguida do campo de dados de 8 *bytes*, CRC e ACK. Para que mensagens maiores que 8 *bytes* sejam transmitidas, segue-se um padrão de segmentação das mensagens em pacotes identificados pelo seu conteúdo e tipo de informação encapsulada, sempre a obedecer o limite de 1785 *bytes* de dados.

O Protocolo J1939/21 baseia a atribuição de mensagens mais longas que 8 *bytes* em pacotes de informações múltiplas, denominados *Data frames*, assim como a ISO15765-4. Cada tipo de trama, no pacote de dados, é acompanhado de um indicador de índice no primeiro *Byte* do *Data field*, que é seguido ao DLC.

“Quando são necessários 9 a 1785 *bytes* para expressar um Grupo de Parâmetros, a comunicação desde tipo de dados é feita em múltiplas tramas CAN. O termo *Multipacket* utilizado para descrever este tipo de PGN.” (Kvaser, 2017)

## 3.6.4 J1939/31 - Camada de rede

Segundo a norma SAE J1939/31, a camada de rede define os requisitos e serviços disponíveis das *Network Interconnected Electronic Control Units* (NIECUs), que são os dispositivos eletrônicos que fornecem interligação entre os diferentes segmentos de uma rede SAE J1939 ao longo do veículo. Uma NIECU é uma ECU com mais de uma porta, ou conexão de rede, com um *software* controlador, que funciona para transferir informações entre as portas conectadas de distintos segmentos de rede. Quando a rede do veículo tiver múltiplos segmentos e for necessário transferir informações entre dispositivos em segmentos de rede separados, uma NIECU será necessária para efetuar a transferência de mensagens de um segmento para outro.

O tipo de NIECU necessário entre dois segmentos da rede depende das necessidades do sistema e do protocolo de cada segmento de rede.

O documento especifica as funções de intercomunicação entre as ECUs, através da gestão dos protocolos de tradução e reencaminhamento de mensagens. Define, também, os requisitos principais de filtragem dos PGNs, parâmetros de preenchimento dos campos de dados, *byte* de controlo, endereços das ECUs, estrutura de intercomunicação das ECUs, controlo de portas e filtros de rede. As principais funções desempenhadas pelas NIECUs, nas diferentes camadas da rede, são definidas pela norma J1939/31 designadamente o:

- Reencaminhamento de mensagens;
- Filtragem de mensagens;
- Tradução dos endereços;
- Re-encapsulamento de mensagens.

“Este documento específico descreve os serviços e funções necessários para intercomunicação entre diferentes segmentos de uma rede J1939. Um segmento pode ser uma sub-rede, que é delimitada pelas ECUs “vendo” o mesmo sinal. O J1939 / 31 descreve quatro tipos de ECU que fornecem funções para interconexão de rede entre segmentos: Repetidor (encaminhamento), Ponte (encaminhamento e filtragem), Roteador (encaminhamento, filtro e conversão de endereço) e *Gateway* (encaminhar, filtrar, tradução de endereço e re-encapsulamento de mensagens).” (Kvaser, 2017)

Para certificar a total conformidade com a norma SAE J1939, uma NIECU pode suportar a gestão de base de dados para permitir acesso a configuração das bases internas para implementar algumas das funções de rede. Contudo, todos os serviços da camada de rede são opcionais, o que permite ter ECUs independentes na rede a comunicar de forma passiva apesar da não-conformidade. Necessariamente, para solicitar qualquer serviço da rede, o documento serve como guia para a implementação do módulo, desde que este atenda aos requisitos mínimos descritos na secção 5.3 pág.14-15 (Requisitos mínimos para conformidade de uma NIECU), que a seguir se apresentam:

- Encaminhar mensagens como descrito na norma, baseado no tipo de NIECU;
- Mensagens com a mesma prioridade devem ser encaminhadas através de outra rede, na mesma ordem em que são recebidas;
- Mensagens com maior prioridade devem ser encaminhadas antes de mensagens com menos prioridade;

- Uma NIECU deve iniciar o encaminhamento de mensagens para outros módulos antes desta ter solicitado um endereço específico, apenas se estiver a efetuar a função de repetidor ou *bridge*;
- A NIECU não pode encaminhar uma mensagem ao mesmo segmento de onde esta partiu originalmente;
- Uma NIECU não pode ser removida do barramento, devido a problemas de *arbitrariedade* da rede CAN quando estiver a encaminhar a mensagem de *Adress Claim*. Quando a NIECU encaminha uma mensagem J1939, esta irá transmitir a mensagem utilizando o *Source Adress* do módulo que originou a mensagem [...];
- A NIECU deve controlar o atraso no trajeto das mensagens;

Outros requisitos, também obrigatórios:

- A NIECU deve garantir taxas fiáveis de filtragem e encaminhamento de mensagens;
- A NIECU deve efetuar o suporte à gestão da base de dados automotiva.

#### 3.6.4.1 Topologia de rede

Segundo a norma, a topologia de rede do veículo deve ser *contruída* para fornecer pelo menos uma linha de comunicação entre ECUs, como ilustrado na Figura 20. Desta forma, o fabricante do automóvel deve assegurar que não existem *loops* na rede, originários da comunicação entre as NIECU. Esta condição torna obrigatório a inserção de segmentos de rede com redundância de tráfego de mensagens, para garantir a tolerância de erros, a deteção e o controlo dos trajetos das mensagens.

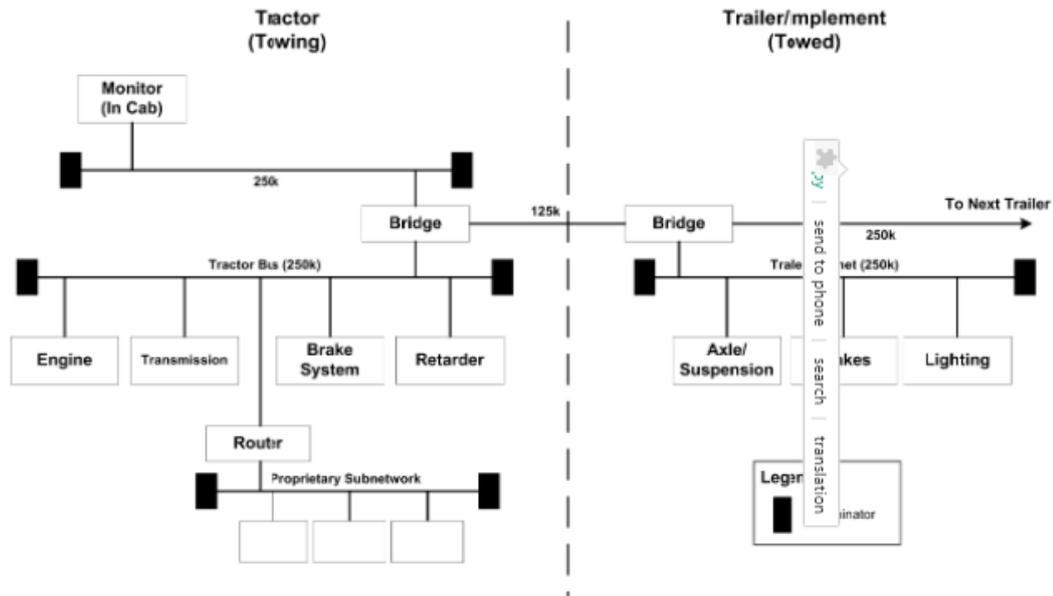


Figura 20 – Exemplo de rede J1939 para Autocarros e Camiões (SAE J1939/31)

#### 3.6.4.2 Tipos de NIECU

A norma J1939/31 descreve os quatro tipos de NIECUs padronizados, onde são desempenhadas as funções de *Internetworking*:

**Repeater:** Executa a tarefa de estender a quantidade de módulos suportados numa rede, através da segmentação física da rede, sem capacidade para interferir na transmissão do barramento ou modificar as mensagens. Não processam os dados que transitam na rede, limitando-se apenas a reencaminhar as mensagens;

**Bridge:** Dispositivo utilizado para transferir as mensagens entre dois ou mais segmentos de rede, que possuam o mesmo endereço e protocolo de *link* de dados. A transferência de mensagens é executada através do armazenamento e reencaminhamento direto das mensagens do *link* de dados. A *Bridge* permite que o débito e o meio de transmissão das mensagens sejam alterados, desde que obedeça às mesmas regras de endereçamento e protocolo de *link* de dados de onde foi originada. Outra função definida no documento, é a capacidade de filtragem das mensagens que são trocadas entre diferentes segmentos da rede, caracterizado pela mudança das taxas de transmissão, quando necessário.

**Router:** Equipamento responsável pela transferência de mensagens entre dois segmentos diferentes de rede, que possuam o mesmo protocolo. Porém cada rede deve manter espaços de endereço diferentes, o que assegura que as traduções dos endereços sejam efetuadas sem afetar o conteúdo da mensagem. O *Router* determina como transferir os dados entre a origem e o destino, como, por exemplo, as mensagens são encaminhadas através da rede. Estas devem ter a mesma camada de transporte, mas podem pertencer a camadas de rede diferentes. O *Router* pode expandir os espaços de endereços ao interligar dois segmentos distintos, preservando o protocolo em ambos.

**Gateway:** Sendo a NIECU de maior complexidade numa rede automotiva, o *Gateway* efetuar a troca de mensagens entre protocolos distintos, com a possibilidade de incrementar as funções de rede como for necessário. Pode efetuar mudanças no empacotamento e apresentação dos dados, combinando as informações de diversas mensagens em apenas uma. O *Gateway* pode executar quaisquer tarefas dos equipamentos citados acima e, quando organizados da forma apresentada, de baixo para cima, os outros dispositivos apenas conseguem cumprir as funções do anterior.

Neste relatório de estágio, devido ao nível de aplicação da plataforma Stratio, o *Gateway* foi considerado a ECU de maior importância para a compreensão da interpretação da rede automotiva e as características da comunicação entre ECUs. O *Gateway* executa as principais funções da rede, no que se refere a gestão de re-empacotamento, à tradução de protocolos e encaminhamento das mensagens entre segmentos de redes distintas.

#### 3.6.4.3 Funções de rede do Gateway

De acordo com a norma SAE J1939, o *Gateway* permite a troca de dados entre redes de protocolos e formatos de mensagem diferentes. O módulo pode, também, disponibilizar parâmetros para o tratamento das mensagens transportadas entre segmentos da rede J1939, incluindo sub-redes proprietárias a comunicar no barramento.

Assim como o *Router*, a principal atividade do *Gateway* centra-se no re-empacotamento das mensagens. Esta Função permite que as mensagens provenientes de redes “não-J1939” sejam disponibilizadas no link de dados J1939, mesmo que tenham sido originadas de uma ECU com as mesmas funções do *Gateway*. Esta característica permite a simplificação da rede, justificada pela possibilidade de acesso aos dados sem a necessidade de outras ECUs estarem conectadas a múltiplas instâncias de rede.

### 3.6.5 J1939/71 – Camada de aplicação veicular

A maioria das mensagens definidas pelo padrão J1939 têm propósito de transmissão para todos os segmentos de rede no disponíveis no barramento. Esta característica indica que toda a informação transmitida na rede não possui um destinatário específico, permitindo que qualquer módulo na rede tenha acesso ao conteúdo das mensagens sem a necessidade de pedidos. Permite também que futuras aplicações possam facilmente acomodar novos módulos (por atribuição de endereços). Quando uma mensagem é direcionada para uma ECU em particular, um endereço de destino específico pode ser incluído dentro do identificador da mensagem. (Kvaser, 2017)

#### 3.6.5.1 Formato de mensagem

A secção do documento define e descreve os PGNs e os SPNs, que compõem o conteúdo da mensagem CAN. A norma SAE J1939/71, secção 5.1.2, define que o protocolo utiliza o PGN como rótulo para um agrupamento de parâmetros, onde cada parâmetro pode ser expresso em ASCII, com valores representados dois ou mais *bits* agrupados em posições definidas previamente. Os dados alfanuméricos são transmitidos com o *Byte* mais significativo à frente, enquanto outros tipos de parâmetros compostos por dois ou mais *bytes* são transmitidos com o *byte* menos significativo à frente.

Ainda segundo o documento, toda a informação transmitida é, obrigatoriamente, composta por estados ou valores medidos diretamente pelos sensores. Na condição de “estado”, a informação é disponibilizada através de um parâmetro de “multi-estados”, ou de uma função em resultado da ação desempenhada pela ECU a transmitir, como ilustrado nas Tabela 8 e 9.

Tabela 8 – Valores de estado para comandos de controlo (SAE J1939/71)

Transmitted Values for Control Commands (Status)	
Range Name	Transmitted Value
Command to disable function (turnoff, etc.)	00
Command to enable function (turnon, etc.)	01
Reserved	10
Don't care/take no action (leave function as is)	11

Os valores de estado para comandos de controlo indicam a ativação/desativação de uma válvula solenoide, por exemplo, mas não representa um valor aferido exato para garantir que a válvula foi aberta ou fechada completamente. A Tabela 9 apresenta também os seguintes valores: Ativação do controlo de travões, *cruise control*, *Anti-Lock Braking System* (ABS), etc.

Tabela 9 – Valores de estado discretos. (SAE J1939/71)

Transmitted Values for Discrete Parameters (Measured)	
Range Name	Transmitted Value
Disabled (off, passive, etc.)	00
Enabled (on, active, etc.)	01
Error indicator	10
Non available or not installed	11

Ao considerar os valores discretos, a representação dos dados é caracterizada pelo valor atual do parâmetro medido, ou analisado, pelo módulo a transmitir o valor, que determina a condição do parâmetro definido. Alguns exemplos de valores discretos representados são: Ignição *on/off*, velocidade máxima atingida ou valores máximos de temperatura e de pressão.

## 4 Atividades na empresa

Durante o período de estágio, as atividades efetuadas compreenderam a execução de um conjunto de tarefas práticas nas áreas da eletrônica digital e redes industriais, com o intuito de colaborar no desenvolvimento do Stratio *Databox* e garantir a sua qualidade. De entre elas refira-se à investigação em redes de comunicação automotivas, a instalação e configuração do dispositivo em viaturas pesadas e a prestação de serviços pós-instalação.

Dado o caráter confidencial da investigação realizada e o acesso a informações proprietárias da empresa e das marcas de veículos pesados analisados, este relatório representa uma visão superficial do trabalho realizado no âmbito do projeto da empresa, em conformidade com o acordo de confidencialidade assinado no início do estágio. Assim sendo, refira-se que os conhecimentos adquiridos, os procedimentos e os testes efetuados ao longo do estágio, no que respeita as redes automotivas, têm um nível científico superior ao documentado.

No início do estágio foi apresentado ao aluno o projeto na sua fase inicial, baseado num protótipo funcional, com capacidade de aquisição de dados nas viaturas nas quais estava instalado. Contudo a gama de informações extraídas ainda era insuficiente para o propósito da mesma, que compreendia a predição de falhas de uma forma precisa.

Os protocolos de comunicação automotiva suportados pelo protótipo estavam ainda em fase inicial de execução. Assim, foi necessário proceder a uma investigação aprofundada relativa à implementação das camadas física, de transporte e de rede dos mesmos.

De seguida descrevem-se as etapas dos diferentes procedimentos efetuados com o objetivo de melhorar o produto desenvolvido e o seu desempenho junto da empresa e dos clientes.

### 4.1 Estudo e investigação das normas

#### 4.1.1 Estudo da camada física

No que respeita à camada física de rede, existiu a necessidade de manufaturar cabos-protótipo que permitiam a ligação do Stratio *Databox* aos diferentes tipos de fichas OBD e *pinout* presentes nas distintas viaturas. Para efetuar a atividade designada, foi necessário proceder ao estudo e aplicação das seguintes normas:

- ISO/DIS 15031-3;
- ISO 16750-2;
- ISO 9141-2;
- SAE J1962.
- ISO 14230-4(2000);

O referido estudo realizado pelo relator, proporcionou a compreensão das características elétricas dos dispositivos OBD, bem como a observância dos limites físicos para a comunicação do equipamento OBD externo, mais especificamente as regulamentações para a manufatura dos cabos proprietários da Stratio e a padronização dos *sockets*.

#### 4.1.2 Estudo da camada de transporte

A implementação dos parâmetros de interpretação do Stratio *Databox* para o protocolo J1939, especificamente o formato dos *frames*, baseia-se: na distinção e tipos de mensagens em *broadcast*; no método de atribuição dos seus endereços; e na definição dos filtros dos PGNs e SPNs.

A compreensão dos elementos que compõem o corpo da mensagem CAN possibilita aos equipamentos OBD externos identificar e filtrar as mensagens na rede de forma simplificada, sem a necessidade de registrar o *tester* OBD na rede executando o processo de *address claim*. Para a realização da tarefa, foi fundamental a compreensão aprofundada das normas SAE J1939/21 e ISO 15765-2, ISO 15765-3 e ISO 11898.

Os referidos filtros de mensagens e o reconhecimento dos tipos de mensagens CAN implementados pelo Stratio *Databox* são resultado de uma análise minuciosa de *logs*, provenientes dos dados adquiridos de diferentes tipologias e fabricantes de viaturas pesadas. A análise abrangia a distinção dos PGNs e SPNs correspondentes aos sistemas necessários para a predição de falhas e a representação gráfica dos valores registrados pelos sensores do veículo. O resultado deste estudo pode ser observado no subcapítulo 4.3.

#### 4.1.3 Estudo da camada de rede

A investigação da rede de comunicação automotiva de diferentes marcas com protocolos proprietários, conduziu à compreensão dos elementos que as compõem e a forma como estes se interligam, passo fundamental para a implementação do Stratio *Databox*. Na categoria de equipamento externo OBD, foi importante o entendimento das seguintes normas SAE:

- J1939/31;
- J1587;
- J1922;
- J1939/71;
- J1939/81.

O procedimento em detalhes e resultados obtidos, referentes à investigação realizada, pode ser observada no subcapítulo 4.3 deste trabalho.

## 4.2 Stratio *Databox*

O Stratio *Databox* é um equipamento dedicado ao setor automotivo, capaz de registrar dados, dos sensores e sistemas de viaturas ligeiras e pesadas, em tempo real a uma taxa de transmissão elevada. Tem a capacidade de processar aproximadamente dois milhões de valores por veículo, sendo que dada a sua elevada capacidade, desempenha um papel primordial na aquisição dos dados que alimentam o sistema de inteligência preditiva implementado.

O dispositivo pode ser integrado nos veículos durante a sua construção (de fábrica) ou aplicados diretamente em veículos mais antigos (desde que possuam o sistema OBD). O módulo é compatível com todas as redes automotivas, e com todos os tipos de veículos, independente do seu tipo de combustível – gasóleo, gasolina, gás natural veicular, etc.



Figura 21 – Stratio *Databox*, vista frontal (Stratio).

### 4.2.1 Características físicas

O Stratio *Databox* foi concebido tendo por base uma arquitetura diversificada, de forma a se conectar a qualquer tipo de viatura. O referido equipamento é constituído por um conjunto de módulos que proporcionam a leitura das diferentes redes de comunicação automotiva, a identificação da posição do veículo. No projeto do equipamento foi fundamental garantir a coexistência de diferentes tradutores de sinais lógicos, o processamento dos dados adquiridos e a sua transmissão para um servidor, utilizando para o efeito equipamentos de comunicação sem fios baseados nas redes WiFi e GSM (*Global System for Mobile communication*). De entre os principais módulos que compõem o Stratio *Databox* destacam-se:

- **Microcontrolador STM32:** Tem a função Mestre em todo o dispositivo. Deteta e corrige falhas nos outros módulos; processa os dados adquiridos em tempo real; regista as informações de GPS, configura as redes GSM e WiFi, *timedate* e estado dos sensores internos; implementa as funções básicas de funcionamento e parâmetros de diagnóstico, armazenando todos os dados adquiridos;

- **Módulo GPS (*global position system*):** Regista a posição GPS do Stratio *Databox*, bem como os valores de velocidade e o instante da aquisição;
- **Módulo GPRS (*general packet radio services*):** Envia os pacotes de dados processados para o servidor; gere os cartões SIM de conexão à rede móvel; permite atualizações *over the air* (OTA) do *firmware* do dispositivo; e possui interface Bluetooth para aplicações diversas;
- **Fonte de alimentação:** Converte a tensão fornecida pela bateria do veículo, na ficha OBD, para alimentar os componentes internos (3.3V a 5V necessários); protege o equipamento de descargas de tensão e corrente, com proteção ativa e passiva;
- **Sensores:**
  - Sensor de temperatura – Regista a temperatura interna do equipamento e seus componentes.
  - Acelerómetro – Regista os dados da posição relativas ao eixo normal da peça e aceleração do veículo.
- **Interpretores OBD:** Fornecem a interface física de comunicação com a rede automotiva e seus respetivos protocolos de comunicação. Entre os padrões suportados encontram-se o:
  - ISO15765/SAE J1939 (CAN);
  - ISO14230 (KP2000);
  - ISO9141-2(K-line);
  - SAE J1708.

### 4.3 Investigação da rede automotiva

Como parte do procedimento inicial da implementação do sistema de monitorização de avarias e ao estado dos sensores, a instalação do Stratio *Databox* é efetuada após a confirmação do tipo de rede automotiva em funcionamento no veículo.





Figura 23 – Quadro elétrico de autocarro urbano (Stratio).



Figura 24 – BCM (A) e fichas de diagnóstico (B) em um autocarro rodoviário (Stratio).

### 4.3.1 Ficha OBD

A identificação da ficha de diagnóstico é um elemento importante para a investigação da rede automotiva. Na referida ficha encontram-se ligados os condutores associados a cada protocolo de comunicação disponibilizado para extração de dados.

#### 4.3.1.1 Localização da ficha OBD

Normalmente, é possível encontrar fichas proprietárias disponíveis no quadro elétrico da viatura. Estas são para uso restrito do fabricante, permanecendo limitadas a transmitir dados exclusivos de uso proprietário, como comandos de programação das ECUs ou parâmetros de

configuração de sistemas. A ficha J1962, padronizada para o diagnóstico OBD, pode ser encontrada no quadro elétrico ou próximo à cabine do motorista, como se pode observar na Figura 25.



Figura 25 – Localização e aspecto da ficha OBD16(J1962) em viatura pesada (Stratio).

#### 4.3.1.2 Pinos Populados e tensão da rede CAN

Para identificar os pinos de comunicação utilizados pelas linhas de diagnóstico do veículo, retira-se o *socket* do local para revelar a parte de trás da ficha, em detalhe, na Figura 26. É possível reconhecer a linha CAN, representada nos pinos 14 (CAN-*low*), em amarelo e o pino 6 (CAN-*high*), em azul.

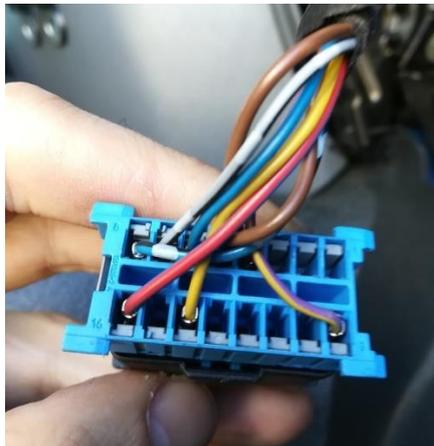


Figura 26 – Parte de trás da ficha J1962 (Stratio).

Após a identificação da ficha J1962(OBD16), é possível testar os tipos de protocolos de diagnóstico disponíveis, exemplificado anteriormente na Figura 9 Utilizando as pontas de prova do multímetro digital, para medir a tensão nos pinos, pode-se identificar a rede CAN, comprovada pelo diferencial de tensão de 1,5 V – CAN *low* a 3,5 V – CAN *high*, ilustrada na Figura 27.

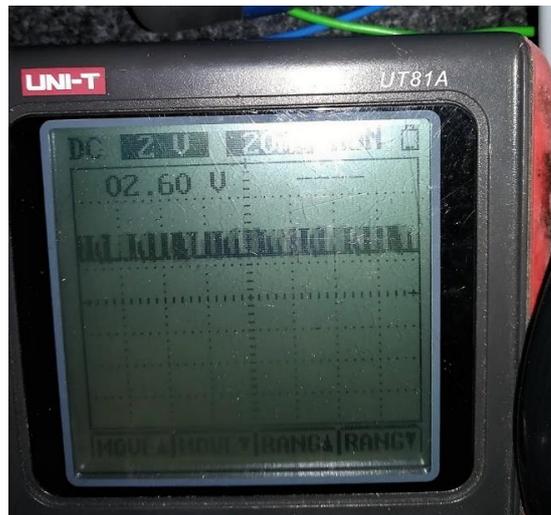


Figura 27 – Tensão diferencial da linha CAN na ficha OBD (Stratio).

### 4.3.2 Captura de sinal do barramento CAN

A identificação dos pinos de comunicação da rede CAN, possibilita que a linha de diagnóstico e FMS sejam acedidas para captura dos sinais transmitidos pelas ECUs da rede. Para capturar o tráfego da rede, é necessário um analisador de lógica como apresentado na Figura 28.



Figura 28 – Analisador de lógica de oito canais (Amazon).

A rede CAN apenas transmite quando a viatura se encontra com a ignição ligada, ou com o motor a trabalhar. Para executar a captura do sinal CAN com sucesso, através da ficha OBD, é necessário que um dos canais do analisador de lógica esteja conectado ao Pino 14 (CAN-low). Os dados adquiridos são enviados para um computador e analisados pela ferramenta de *software* *Saleae Logic*, que permite a gravação e descodificação os sinais previamente amostrados.

O dispositivo permite a captura e armazenamento em *logs* dos sinais digitais, no *software*, o qual dispõe de interpretadores de sinais síncronos e assíncronos, usando taxas de amostragem variáveis. Entre os interpretadores, encontra-se o decodificador de protocolo CAN, provido de campos de dados segmentados e distinção do tipo de identificador CAN, o que facilita a análise dos sinais previamente amostrados, como pode ser observado na Figura 29.

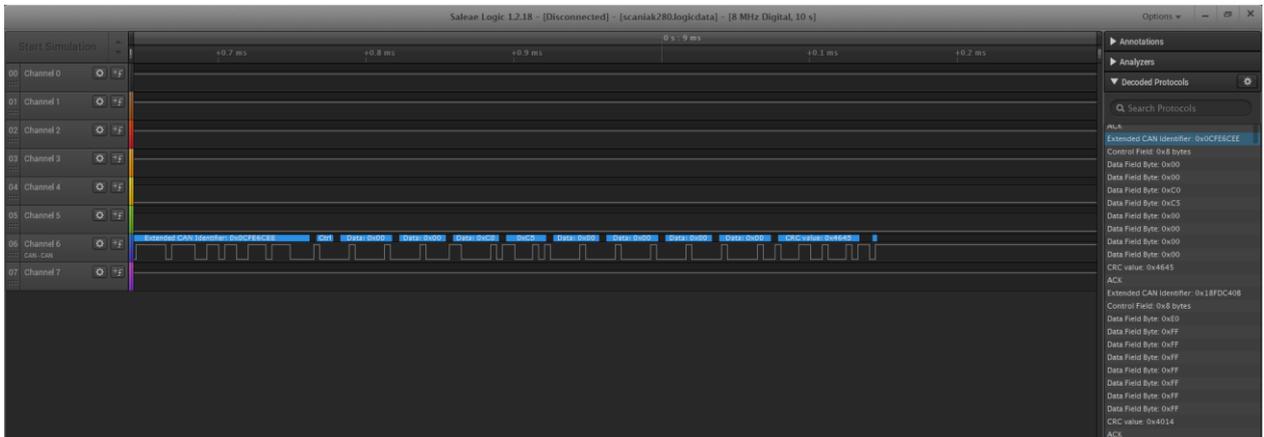


Figura 29 – Interface do software analisador de lógica (Stratio).

### 4.3.3 Análise do sinal e tráfego no barramento

A captura do sinal CAN transmitido pela rede auxilia a identificar o tipo de protocolo utilizado na linha de diagnóstico. Existem diferenças perceptíveis entre as mensagens padrão ISO15765 e SAE J1939, diferenciadas pelos campos reservados aos endereços de origem e destino e no conteúdo da mensagem CAN.

#### 4.3.3.1 Identificador ISO 15765:

De acordo com a norma ISO15765, o CAN pode transmitir mensagens com identificadores de 11 ou 29 *bits*, hospedando os endereços de origem e destino da mensagem, destacado na Figura 30. No conteúdo da mensagem, o protocolo reserva-se a armazenar o pedido originado pelo equipamento diagnóstico para o sistema designado. Durante o pedido, o terceiro *byte* pertence ao endereço do *tester* OBD (0x00), enquanto que o quarto *byte* indica o módulo de destino (0xFA). Quando uma dada ECU envia a trama de resposta aos pedidos efetuados, as referidas posições invertem-se.

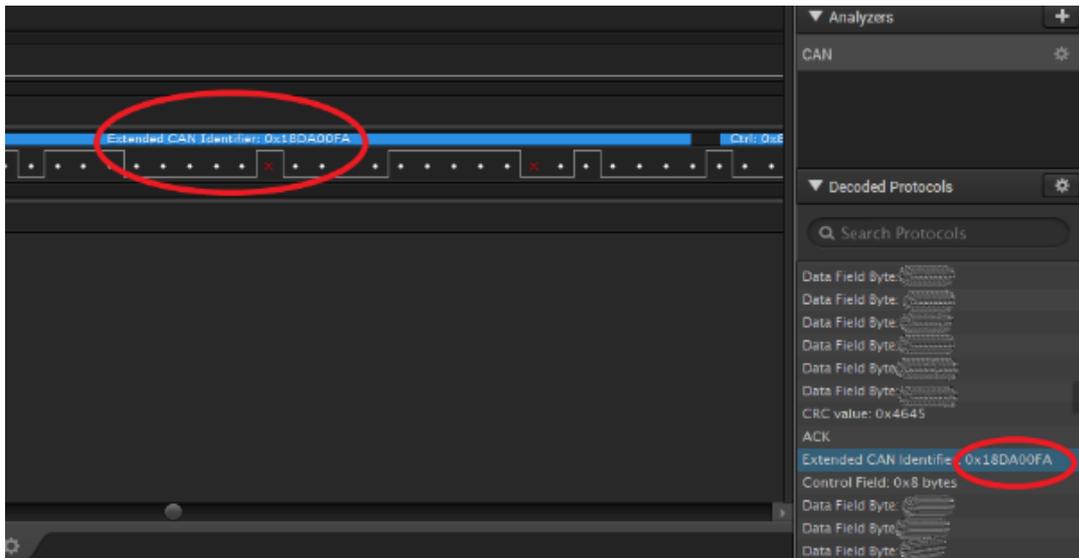


Figura 30 – Detalhe de identificador CAN ISO15765 (Stratio).

Segundo a norma ISO 15765-4, o conteúdo da mensagem, que compõe os *data bytes*, tem caráter proprietário e a sua implementação é concedida exclusivamente pelo fabricante do veículo, permitindo que apenas os equipamentos designadamente autorizados pela marca tenham acesso ao conteúdo das informações codificadas.

#### 4.3.3.2 Identificador SAE J1939

Entretanto, no identificador da mensagem J1939, o PGN, localizado no segundo e terceiro *byte* (0xFEEF), destacado na Figura 31, indica o sistema ao qual pertencem as informações armazenadas no *data field*. As mensagens são transmitidas no barramento, mas apenas os módulos configurados a receberem dados com o PGN especificado podem interpretá-las. Nos campos de dados, os parâmetros são estruturados como descrito na norma SAE J1939-71.

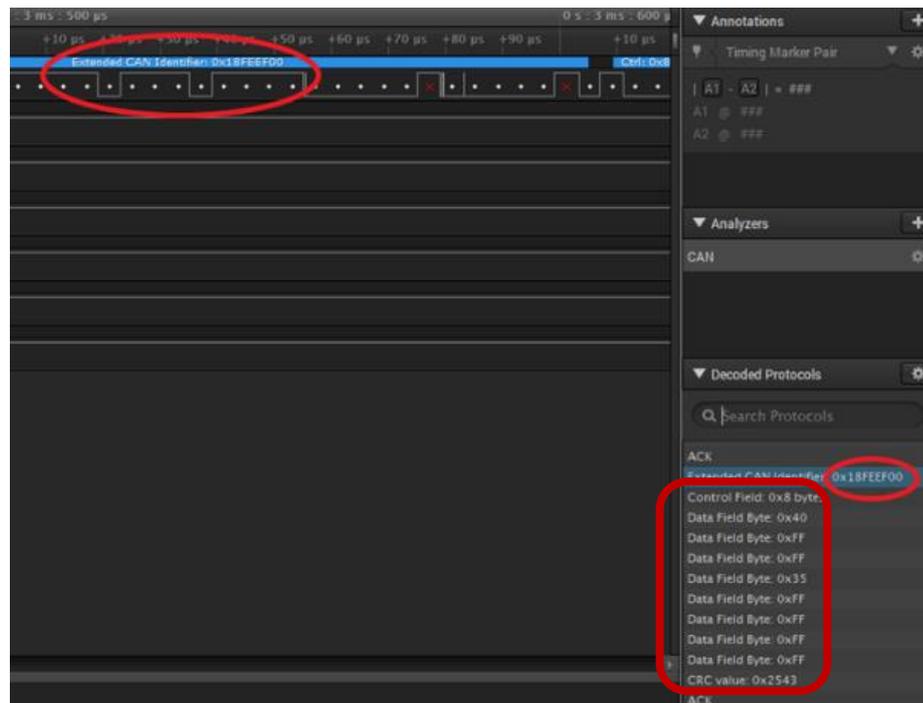


Figura 31 – Detalhe de identificador CAN SAE J1939 (Stratio).

#### 4.3.3.3 Identificação do PGN e sistema atribuído

Após a identificação do PGN da mensagem, é possível isolar os *bytes* correspondentes para interpretar os dados armazenados no *data field*. Por exemplo, ao isolar o PGN 65263 (0xFEEF), proveniente da imagem 31, podem-se verificar os SPNs correspondentes e suas designadas posições nos *data bytes*. Nomeadamente, segundo a SAE J1939/71, refere-se aos parâmetros dos fluidos do motor, como ilustrados na Figura 32.

<b><i>pgn65263 - Engine Fluid Level/Pressure 1 - EFL/P1 -</i></b>			
Transmission Repetition Rate:		0.5 s	
Data Length:		8 bytes	
Data Page:		0	
PDU Format:		254	
PDU Specific:		239	
Default Priority:		6	
Parameter Group Number:		65263 ( 00FEEF <sub>16</sub> )	
Bit Start Position /Bytes	Length	SPN Description	SPN
1	1 byte	Fuel Delivery Pressure	94
2	1 byte	Extended Crankcase Blow-by Pressure	22
3	1 byte	Engine Oil Level	98
4	1 byte	Engine Oil Pressure	100
5-6	2 bytes	Crankcase Pressure	101
7	1 byte	Coolant Pressure	109
8	1 byte	Coolant Level	111

Figura 32 – Características do PGN65263 (SAE J1939, 2004)

#### 4.3.3.4 Interpretação dos SPNs correspondentes

A descrição dos SPNs segue de acordo como indicado pela norma, onde cada parâmetro ocupa o espaço de *bytes* reservado, que depende da disponibilidade do valor amostrado pela viatura. Na possibilidade em que o parâmetro não é disponibilizado, o espaço reservado para os valores é preenchido com 0xFF seguidos dos *data bytes* válidos.

No que concerne à interpretação da mensagem, a secção 5.2, da SAE J1939/71, define os parâmetros dos SPNs: *data length*, *data type*, *resolution*, *range* e *data label*. A exemplo da Figura 31, os *data fields* que carregam valores válidos são observados nos *bytes* 1 e 4, representados pelos SPNs 94 (*fuel pressure*) e 100 (*engine oil pressure*) respetivamente.

A interpretação dos SPNs é efetuada como indicado no exemplo da Figura 33, visto que os valores registados durante a captura do log, após transformados para decimal, 40 kPa para o SPN 94 e 53 kPa para o SPN 100, atendem às características exigidas pela referida norma.

<b>spn100 - Engine Oil Pressure - Gage pressure of oil in engine lubrication system as provided by oil pump.</b>	
Data Length:	1 byte
Resolution:	4 kPa/bit , 0 offset
Data Range:	0 to 1000 kPa
Type:	Measured
Suspect Parameter Number:	100
Parameter Group Number:	[65263]

Figura 33 – Descrição do SPN 100 (SAE J1939, 2004)

No sentido de obter uma análise mais ampla do tráfego no barramento, o *software* permite a exportação da captura para folhas de cálculo, onde é possível agrupar os *data bytes* das mensagens, distinguindo os identificadores e *bytes* de controlo. No segmento de captura, ilustrada pela tabela da Figura 34, é possível identificar os pacotes de mensagens, organizados por ordem de amostragem, permitindo a interpretação do conteúdo das mensagens transmitidas através da filtragem dos PGNs.

Time [s]	Packet	Type	Identifier	Control	Data	CRC	ACK
0.00293025	0	DATA	0x0CEF27FD	0x8	0x20 0xFF 0xFA 0xE1 0xFF 0x00 0xFF 0xFF	0x6129	ACK
0.005419	1	DATA	0x0C00000B	0x8	0xFC 0xFF 0xFA 0xFA 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	0x77A6	ACK
0.00599925	2	DATA	0x0C00270B	0x8	0xFF 0xFF 0xFA 0x78 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	0x0317	ACK
0.007136	3	DATA	0x18F0010B	0x8	0x00 0x00 0xC0 0xFF 0xFF 0x01 0xFF 0xF7	0x7566	ACK
0.00770825	4	DATA	0x18FEAD0B	0x8	0x00 0x00 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	0x20D3	ACK
0.0082925	5	DATA	0x18FEBF0B	0x8	0x00 0x00 0x7D 0x7D 0x7D 0x7D 0xFF 0xFF	0x7D87	ACK
0.01002175	8	DATA	0x18F0093E	0x8	0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x7D	0x2A98	ACK
0.01559975	10	DATA	0x0C00270B	0x8	0xFF 0xFF 0xFA 0x78 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	0x0317	ACK
0.02292375	17	DATA	0x0CEF27FD	0x8	0x20 0xFF 0xFA 0xE1 0xFF 0x00 0xFF 0xFF	0x6129	ACK
0.02510025	18	DATA	0x0C00270B	0x8	0xFF 0xFF 0xFA 0x78 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	0x0317	ACK
0.02623675	19	DATA	0x18FEBF0B	0x8	0x00 0x00 0x7D 0x7D 0x7D 0x7D 0xFF 0xFF	0x7D87	ACK
0.02835325	20	DATA	0x18F0093E	0x8	0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x7D	0x2A98	ACK

Figura 34 – Segmento de captura do barramento J1939 (Stratio).

A aplicação de filtros nos identificadores, possibilita a visualização e distinção dos grupos de parâmetros definidos pela norma SAE J1939/71. Como ilustrado na Figura 35, os sistemas atribuídos aos PGNs, destacados em vermelho, têm seus *data bytes* preenchidos com os SPNs disponibilizados pelos sensores do veículo.

Identifier	Control	Data	
0x0CF00203	0xA	0xC0 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0xE8 0x10 0xFF	
0x0CF00203	0x8	0xC0 0x1F 0x79 0x3F 0xFF 0xFC 0x04 0x3F	<b>0xF002 - Electronic transmission controller 1 (ETC1);</b>
0x0CF00207	0x8	0xC0 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0x08 0x11 0xFF	<b>0xF006 - Electronic axle controller 1 (EAC1)</b>
0x0CF0020B	0x8	0xC0 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0xF0 0x10 0xFF	<b>0xF001 - Electronic brake controller 1 (EBC1);</b>
0x0CF00603	0x8	0xC0 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0xB8 0x10 0xFF	<b>0xF005 - Electronic transmission controller 2 (ETC2);</b>
0x18F00010	0x8	0xF8 0xFD 0x7D 0xFF 0x10 0x7D 0x00 0x7D	
0x18F0010B	0x8	0x00 0x00 0xC0 0xFF 0xFF 0x01 0xFF 0xF7	<b>0xF009 - Vehicle dynamic stability control 2 (VDC2);</b>
0x18F00503	0x8	0x7D 0x00 0x00 0x7D 0x20 0x4E 0x20 0x4E	
0x18F0093E	0x8	0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x7D	<b>0xF00C - Electronic Transmission Controller 8 (ETC8);</b>
0x18F00C03	0x8	0xCA 0x03 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF	
0x18F00F90	0x8	0xF0 0x7D 0x7D 0xFF 0x10 0x7D 0x00 0x7D	<b>0xF00F - Aftertreatment 1 Outlet Gas 1 (AT1OG1).</b>
0x1CF00203	0x8	0xC0 0x00 0x00 0xFF 0xFF 0xE0 0x10 0xFF	

Figura 35 – Segmento de captura com distinção dos PGNs transmitidos durante a comunicação (Stratio).

Durante a análise dos dados exportados é possível perceber a variação dos valores lidos nos sensores da viatura, permitindo que os agrupamentos dos dados extraídos, individualmente, sirvam de base para a elaboração de parâmetros estatísticos, resultados da amostragem efetuadas. Numa perspectiva automotiva, as ECUs filtram as mensagens relacionadas aos sistemas que representam para controlar e otimizar o funcionamento e desempenho dos componentes eletrônicos e mecânicos que constituem a viatura.

#### 4.4 Instalação do Stratio Databox

Durante o período de estágio, o Stratio *Databox* havia atingido o objetivo de atender às certificações necessárias para disponibilização do produto no mercado. As atividades de instalação e manutenção do funcionamento fiável do equipamento corroboraram as investigações realizadas nas redes automotivas de viaturas pesadas. O resultado positivo, proveniente da aquisição de dados dos sensores em tempo real, revelou o potencial das melhorias que poderiam ser implementadas na gestão da manutenção das frotas.

Tendo em vista o propósito de monitorização em tempo real do veículo em movimento, a instalação do Stratio *Databox* tem como prioridade a garantia de comunicação com o servidor em todos os momentos em que a viatura esteja a trabalhar. O procedimento criado para a concretização da instalação foi baseado numa série de etapas, que reúnem as características físicas da ligação aos resultados provenientes dos dados adquiridos exibidos na plataforma *web*.

#### 4.4.1 Tipos de antenas e cabo de comunicação

O Stratio *Databox* utiliza duas antenas para comunicação, GPRS e GPS. A antena GPRS tem propósito de estender o sinal de comunicação com a rede de dados móveis, podendo ser fixada ao tablier ou próximo ao vidro frontal da viatura, para melhor recepção do sinal. Podem ser utilizados dois tipos de antenas omnidirecionais com configurações distintas, como ilustradas na Figura 36:

- **Antena GPRS 1** – Fornece o ganho de 3 dB, enquanto suporta frequências de 698 MHz a 960 MHz(2G), 1710 MHz a 2170 MHz(3G) e 2.5 GHz(4G);
- **Antena GPRS 2** – Fornece ganho de 2 dB, enquanto suporta frequências de 890 MHz a 960 MHz(2G) e 1710 MHz a 1880 MHz(3G).



Figura 36 – Antenas GPRS do Stratio Databox (Stratio).

A antena GPS, ilustrada na Figura 37, providencia por meio da recepção dos sinais provenientes dos satélites GPS, portanto tem obrigatoriamente de ser instalada num local de baixa interferência eletromagnética – longe de chapas metálicas ou circuitos elétricos. A antena possui ganho de 3 dBi, enquanto funciona na banda de frequência de 5 GHz.



Figura 37 – Antena GPS do Stratio Databox (Stratio).

O cabo de comunicação do Stratio *Databox*, ilustrado na Figura 38, foi desenvolvido pela empresa para atender às especificações da norma ISO 15031. Possui um *socket Molex* de 20 pinos, que se conecta ao dispositivo, uma ficha OBD16 para a conexão à viatura e um *socket* OBD16 fêmea. O último foi adicionado ao cabo com o propósito de disponibilizar a porta de diagnóstico para conexão a máquinas de diagnósticos externas, sem a necessidade de desligar o Stratio *Databox*.



Figura 38 – Cabo de comunicação do Stratio *Databox* (Stratio).

#### 4.4.2 Características da instalação

Segundo a norma ISO 15031, o equipamento de diagnóstico externo deve atender às especificações elétricas descritas na secção 3 do documento. A título de exemplo, a utilização da norma mencionada implica que o Stratio *Databox* não pode alterar a impedância da linha de diagnóstico ou interferir na comunicação das ECUs. O equipamento deve estar próximo da ficha de diagnóstico, podendo utilizar um cabo OBD de até 40cm e condutores elétricos com secção de até 0,75mm<sup>2</sup>. Em complemento à norma ISO 15031, o Stratio *Databox* e seus acessórios atendem também às especificações elétricas das normas ISO 6722, ISO 16750 e ISO 8092.

Assim como foi descrito no anteriormente na secção 4.3.1.1, a localização do *socket* OBD compreende o primeiro passo para a instalação do Stratio *Databox*. A Figura 39 representa a vista frontal do Stratio *Databox*, o qual possui três *sockets* de conexão: um para a antena GPRS, uma para a antena GPS e uma ficha de comunicação *Molex* de 20 pinos.

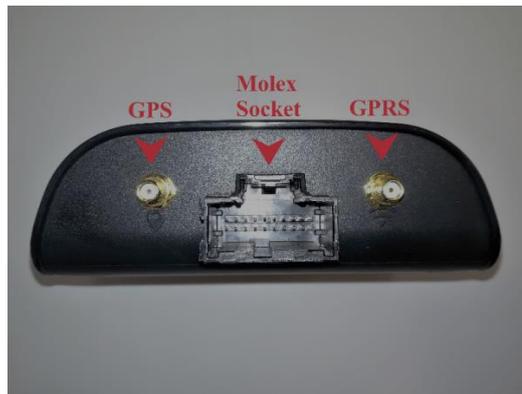


Figura 39 – Vista frontal do Stratio Databox (Stratio).

Em conformidade com a ISO 15031, O equipamento é alimentado a partir da ficha OBD, através dos pinos 16(24 V) e 4(GND), bem como a sua comunicação com os protocolos disponíveis na viatura.

No ato da instalação, o equipamento deve estar afixado próximo do quadro elétrico, como ilustrado na Figura 40, a uma chapa metálica, em local discreto e que não interfira com os movimentos do motorista ou com o funcionamento dos componentes eletrônicos ou mecânicos da viatura. Quando o quadro elétrico está localizado no compartimento das malas nos autocarros rodoviários, sendo que a instalação é efetuada como ilustrado na Figura 41.



Figura 40 – Stratio Databox instalado no quadro elétrico de um camião (Stratio).



Figura 41 – Stratio Databox instalado no quadro elétrico de um autocarro (Stratio).

#### 4.4.3 Verificação de funcionamento e comunicação com servidor

O Stratio *Databox* possui quatro *leds* de informação, como se pode observar na Figura 42, que indicam que o equipamento está a funcionar corretamente. A verificação do estado dos *leds* é efetuada antes da confirmação dos dados dos sensores na plataforma *web*, onde o comportamento das luzes é diferenciado pelas cores descritas abaixo:



Figura 42 – Leds de informação do Stratio Databox (Stratio).

- **Amarelo** – Indica que o Stratio *Databox* tem acesso à linha de diagnóstico do veículo e já está a recolher os dados dos sensores e dos códigos de falha;

- **Verde** – Quando o led está fixo, assegura que o equipamento adquiriu a posição GPS;
- **Laranja** – A fixação deste led indica que o equipamento estabeleceu comunicação com a rede de dados móveis e acesso ao servidor;
- **Vermelho** – Enquanto estiver a piscar, indica que o equipamento está alimentado e em funcionamento. Este *led* é designado por *heartbeat*.

No instante em que o Stratio *Databox* é ligado à ficha OBD da viatura, com a ignição ligada, o equipamento rapidamente estabelece comunicação com a rede móvel e realiza o procedimento de *OTA update*, que permite o *download* das configurações e do *firmware* mais recente.

#### 4.4.4 Amostragem de dados na plataforma

Após a ligação e a atualização do *firmware* efetuados com sucesso, é necessário que a viatura esteja a trabalhar com o motor ligado por aproximadamente cinco minutos. Na primeira instalação, a realização deste procedimento é necessária, para garantir que os dados obtidos dos sensores e outros sistemas estejam em conformidade com o protocolo de comunicação OBD, permitindo que os mesmos sejam visualizados na plataforma *web*.

No primeiro contato com a plataforma *web*, ilustrado na Figura 43, é possível visualizar um breve histórico do veículo (como dados de *ralenti*, odómetro, consumos calculados e tempo de operação), bem como os possíveis sistemas com códigos de falhas registados e, em paralelo aos DTCs já existentes, também são exibidos os alertas provenientes da Inteligência Artificial (IA) de predição de falhas.

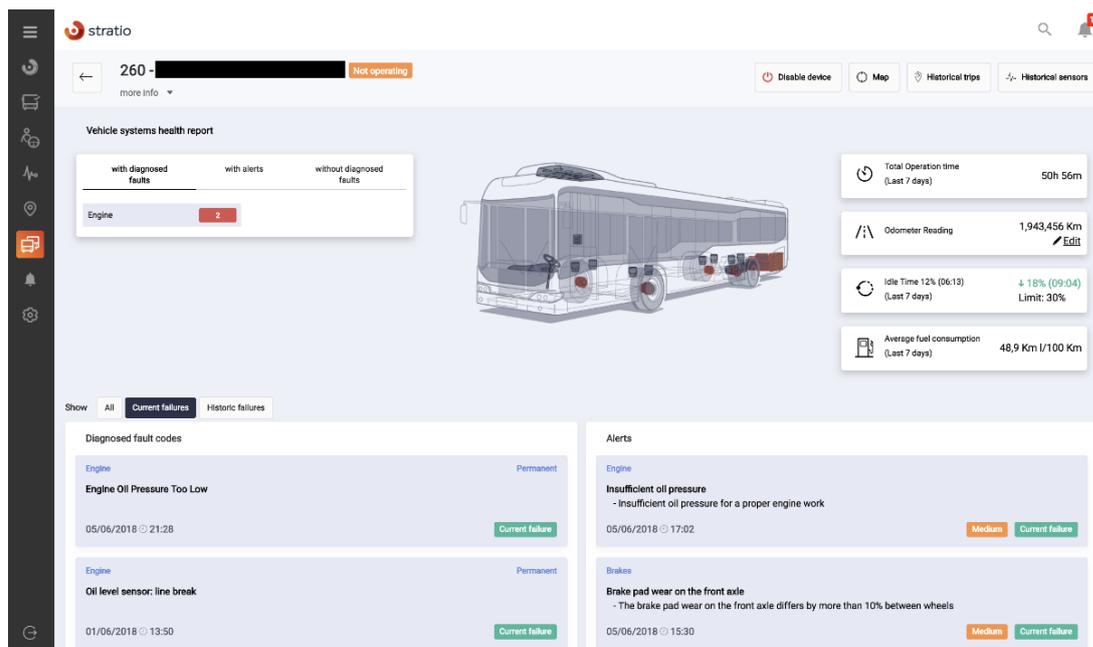


Figura 43 – Página inicial de informações da viatura (Stratio).

Após a verificação das informações disponibilizadas pela viatura e agrupamento de dados, oriundos das diferentes ECUs, torna-se possível aceder ao ecrã de visualização dos sensores. Esta página tem o objetivo de exibir, em formato gráfico, o comportamento dos sensores e atuadores do veículo. A plataforma permite que as amostras coletadas durante o diagnóstico sejam distinguidas pelo sistema correspondente (motor, travões, etc.), além de permitir a sobreposição dos gráficos relativos a cada SPN, como ilustrados na Figura 44.

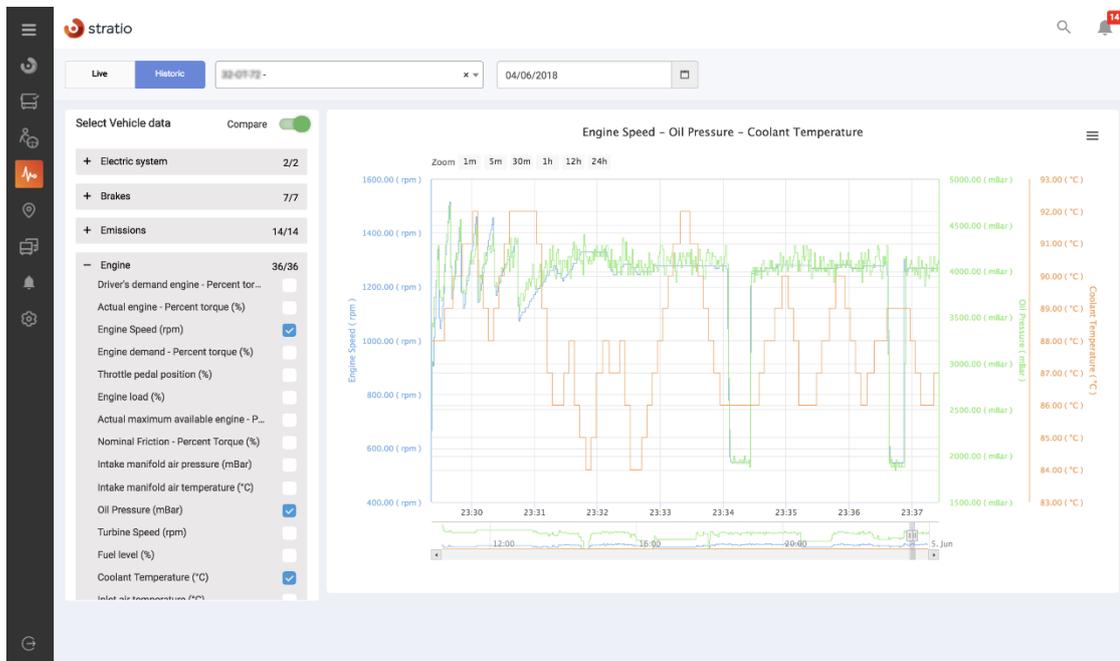


Figura 44 – Página de visualização dos sensores do veículo (Stratio).

Esta função permite que o gestor da manutenção tenha controlo das informações mais relevantes ao funcionamento da viatura e, porventura, auxiliar na deteção de possíveis anomalias não detetadas no funcionamento dos sistemas, sensores ou atuadores. Após a verificação de todos os componentes citados neste capítulo, a viatura está pronta para retomar as suas atividades, tendo o sistema Stratio de diagnóstico em tempo real.



## 5 Resultados

No âmbito das atividades da empresa, os Serviços Municipalizados de Transporte Urbano de Coimbra (SMTUC) foram inseridos no projeto em curso na Stratio com o propósito de melhorar as condições de manutenção de sua frota atual, a qual é composta por 110 viaturas de diversas marcas, com uma idade média de 14,4 anos. A proposta apresentada pelos serviços de transporte urbano compreendia o desenvolvimento de uma tecnologia, por parte da Stratio, de forma a enfrentar os principais problemas na gestão da frota dos seus veículos: Os atrasos na manutenção preventiva de alguns veículos da frota, que resultava em tempos de imobilização elevados e custos desnecessários de manutenção corretiva, bem como um maior consumo de combustível e níveis de emissão previsivelmente superiores. Tais ocorrências resultavam na redução significativa da produtividade da frota. Consequentemente, a tecnologia a implementar devia auxiliar nas ações de manutenção de veículos, e contribuir para a redução das emissões de gases, de forma a obedecer às leis ambientais em vigor.

### 5.1 Estudo de caso: SMTUC

Durante um período de seis meses, que tiveram lugar no ano de 2016, a Stratio efetuou a monitorização dos autocarros nos quais foi instalado o Stratio *Databox*, adquirindo dados em tempo real relativos ao desempenho de motores diferentes e marcas presentes no parque dos SMTUC. Em pouco tempo, registaram-se mudanças significativas que promoveram a transição da tradicional manutenção corretiva para a manutenção preditiva. O número de ocorrências decresceu quase imediatamente quando comparado com valores relativos aos anos anteriores.

Segundo publicação dos serviços da câmara municipal de Coimbra, em 2017, a tecnologia de manutenção preditiva tem conseguido alcançar resultados positivos na gestão da frota dos SMTUC (Câmara Municipal de Coimbra, 2017). Segundo uma análise dos dados relativos a seis meses de utilização do *hardware* e *software* da Stratio Automotive, instalados em parte da frota SMTUC, foi possível alcançar uma redução de 43 mil euros em custos de manutenção, menos 350 horas no tempo de imobilização dos autocarros devido à antecipação das avarias, um decréscimo de 8% nos consumos de combustíveis e uma diminuição de 93 toneladas de emissões de gases poluentes. Estes valores são significativos, e atestam a importância deste novo equipamento no conhecimento em tempo real do desempenho dos veículos de uma frota.

A monitorização efetuada permitiu uma redução dos problemas mais comuns das operações diárias dos SMTUC, consumo excessivo de combustível e custos de manutenção significativos, possibilitando a otimização da alocação de recursos para efetuar a manutenção e aquisição de peças novas para as viaturas.

Um dos maiores problemas identificados pelo dispositivo Stratio, em operação, era o consumo elevado do óleo lubrificante. Normalmente, o problema levaria a viatura à completa rutura do bloco do motor, devido ao desgaste por atrito. Após diversos testes e manutenção aplicada diretamente aos componentes mecânicos relativos à lubrificação do motor, a solução teve um custo de cerca de 7.000 €, sem necessidade de remover o motor do chassi do veículo, reduzindo notavelmente o tempo de inatividade das viaturas em questão. Tendo em consideração o custo de um motor novo, cerca de 25.900 €, o tempo médio de montagem em oficina, cerca de 70 horas, e a necessidade da mão de obra especializada para o efeito, que custa, em média, 40 €/hora, a poupança direta para o cenário descrito foi superior a 21.000 €.

### **5.1.1 Redução de custos de manutenção através da análise da viscosidade do óleo**

O sistema do motor de uma viatura pesada pode conter cerca de 400 sensores e atuadores, que trabalham em simultâneo, a trocar informações com outros sistemas do veículo em tempo real. Em algumas situações, as falhas de um determinado sistema podem ter sido originadas por outro sistema, desencadeando num problema com potencial de afetar outras funções mecânicas do veículo. Para ter um diagnóstico eficiente relativo à origem da falha, foi efetuada a monitorização constante da temperatura do óleo em tempo real, juntamente com outros sensores relevantes do sistema, assim sendo foi possível determinar os valores ótimos de viscosidade do óleo do motor.

Por padrão, a temperatura na cabeça do cilindro possui uma variação de aproximadamente 50 °C em comparação à base do cilindro. A análise dos valores amostrados na temperatura e viscosidade dinâmica do óleo, tornou possível a relação com o consumo de combustível e ocorrência de falhas. Quando o óleo apresenta valores de viscosidade dinâmica muito altos (acima de 8.5 mPa), o consumo de combustível aumenta. No entanto, se a viscosidade apresentar valores inferiores a 3.5 mPa, existe a possibilidade de causar danos por desgaste e gripagem dos elementos internos do motor. Assim sendo, é essencial controlar a viscosidade do óleo, de forma que esta esteja compreendida nos valores normais, entre os 4.5 mPa e os 7.5 mPa, com o objetivo de otimizar o consumo ideal de combustível e garantindo que não existe qualquer possibilidade de ocorrerem danos ao motor.

### **5.1.2 Redução do consumo de combustível**

Durante os seis meses aquisição de dados e análise de resultados do projeto, foi detetado que em 20 das 50 viaturas do parque a ventoinha de arrefecimento do motor não apresentavam um funcionamento correto. A ventoinha pode trabalhar a diferentes velocidades, dependendo da necessidade de arrefecimento e do consumo adaptativo de energia proveniente da bateria.

Da análise do funcionamento da ventoinha concluiu-se que a principal causa do aumento do consumo de combustível dos autocarros provinha do funcionamento da ventoinha, a qual estava constantemente em funcionamento à velocidade máxima. Como consequência, o consumo energético mostrou-se superior ao esperado pelo sistema, e juntamente com as temperaturas de funcionamento do motor incompatíveis, os consumos aferidos estavam acima do estimado.

Através da monitorização e atuação direta sobre a ventoinha de arrefecimento do motor, efetuou-se a reprogramação do sistema de controlo de velocidade na mesma, o que resultou numa notável redução do consumo em operação em *ralenti*, como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado da redução de consumo por otimização do uso da ventoinha (Stratio).

	Redução de consumo por otimização da ventoinha		
	Sem reprogramação		Com reprogramação
	Viatura em operação	Viatura em ralenti	Viatura em operação
Consumo médio (L/100km)	55	3.6	49.52
Ventoinha de arrefecimento (L/h)	13.7	0.9	3.24

Durante a monitorização efetuada nas vinte viaturas que apresentavam problemas na ventoinha de arrefecimento, registaram-se os valores de consumo médio em operação normal diária e em *Ralenti*. Os veículos analisados operavam, em média, 12 horas por dia e percorriam, durante o referido período, aproximadamente 190 quilómetros.

Como resultado da reprogramação do funcionamento da ventoinha, por parte da equipa de gestão de manutenção dos SMTUC, verificou-se uma poupança de 12,31 litros de gasóleo por dia. Ao fim de seis meses de monitorização, no total, foram poupados 1846,5 litros, o que correspondeu, considerando os valores médios para os preços de gasóleo por litro a 1.661,85 € de poupança em combustível para os 20 autocarros analisados.

### 5.1.3 Otimização dos tempos em *Ralenti*

Antes do início da monitorização dos autocarros da frota dos SMTUC o tempo de ociosidade, em média, para viaturas destinadas ao transporte de passageiros, era de aproximadamente 44 %. A taxa esperada para os veículos de tipologia similar deveria ser inferior a 30%. Através da

monitorização realizada pelo *Stratio Databox*, durante os seis meses de testes, empregando o sistema de previsão de falhas e de manutenção otimizada, foi possível reduzir a ociosidade dos autocarros em 15%. As melhorias apresentadas pelo sistema juntamente com a gestão eficiente efetuada na oficina resultaram numa poupança de 12.000€, o que corresponde a um valor de 10.800 € em combustível e uma redução direta de emissão de gases igual a 92,32 toneladas de dióxido de carbono.

Tabela 11 – Comparação de custos reais e estimados, após utilização do *Stratio Databox* (*Stratio*).

<b>Anomalias detetadas pela Stratio Automotive</b>			
<b>Anomalia detetada</b>	<b>Recomendação do sistema</b>	<b>Custo estimado de reparo</b>	<b>Custo de reparo com Stratio Databox</b>
<b>Temperatura do motor muito alta (&gt;110°C)</b>	Imobilização imediata da viatura	Substituição do motor: 27.000 €	Reparo no radiador: 1.000 €
<b>Baixa pressão de óleo</b>	Imobilização imediata da viatura	Substituição do motor: 26.000 €	Bomba de óleo entupida com pedaços de filme plástico: Custo zero
<b>Cambota gripada</b>	Análise urgente para evitar rutura total	Reparo no motor: 7.000 €	Intervenção leve no motor: 1.500 €
<b>Isolamento eletromagnético danificado, afetando 4º e 6º cilindro</b>	Imobilização imediata da viatura.	Reparo no motor: 15.000 €	Intervenção leve no motor: 2.500 €
<b>Tempo de ociosidade muito alto (&gt;40%)</b>	Indicação de uso incorreto do veículo.	Gasto excessivo de combustível: 67.716 € / 50 Veículos - 300.659 € / Ano (Toda a frota)	Resultado direto da utilização do <i>Stratio Databox</i> : Custo zero
<b>Custo total estimado para reparos: 75.000 €</b>			<b>Custo total de reparo: 5.000 €</b>

A tabela 11 sumariza as anomalias detetadas pelo *Stratio Databox* nas viaturas analisadas, as recomendações do sistema, bem como o custo estimado de reparação em contraponto com o custo de reparação decorrente da identificação preditiva da origem das anomalias realizada pelo *Stratio Databox*.

## 6 Conclusões

### 6.1 Considerações finais

O presente estágio curricular teve como principal objetivo o aprofundamento dos conhecimentos do estagiário em redes de comunicação automotiva e eletrônica automóvel, mais especificamente no sistema OBD, por meio da recolha dos dados das viaturas e a interpretação dos protocolos de comunicação implementados. A investigação foi realizada tendo em conta a diversidade de componentes mecânicos e eletrónicos existentes em viaturas pesadas, bem como o potencial de implementação de ferramentas voltadas para a otimização da manutenção deste tipo de veículo.

O sistema OBD tem contribuído para o constante avanço das tecnologias de controlo eletrónico dos motores a combustão e outros componentes relevantes no funcionamento dos veículos. Os benefícios proporcionados pela implementação da arquitetura de rede distribuída nos automóveis estimularam a indústria automotiva a desenvolver veículos com capacidades mecânicas otimizadas, o alargamento da vida útil dos diferentes componentes, oferecendo maior fiabilidade nos sistemas de segurança e mais conforto aos seus ocupantes.

O cumprimento das normas mencionadas neste relatório contribuiu para a aprendizagem de conhecimentos relativos à rede CAN, no que compreende à sua implementação em redes automotivas e aos benefícios proporcionados pela utilização de sistemas embebidos na eletrónica dos automóveis. Tendo em conta a diversidade de normas existentes e a relevância das especificações definidas, o foco do estudo foi direcionado para as características do barramento, técnicas de transmissão de dados, e modos de comunicação entre os módulos e nas técnicas de empacotamento das mensagens, bem como na interpretação detalhada dos dados presentes nos pacotes enviados.

Desde o início do estágio, a Stratio proporcionou todas as ferramentas, *software*, bibliografia e normas necessárias para efetuar a investigação e desenvolvimento dos protocolos de interpretação de dados. A participação no desenvolvimento do Stratio Databox, desde a sua fase de pesquisa, de conformidade com os testes de certificação, até ao seu lançamento no mercado, contribuiu para a compreensão das diferentes e árduas etapas que compõem o desenvolvimento de um produto pioneiro e das suas funcionalidades.

Os benefícios proporcionados pelo Stratio *Databox* às frotas de veículos pesados, são comprovados pelas reduções significativas nos custos de reparação, na otimização da gestão de oficina, no aumento da fiabilidade e da segurança dos utilizadores. A recolha das leituras dos sensores, em sintonia com a aplicação de *machine learning*, para efetuar um processamento adequado dos dados, demonstrou a gama de possibilidades e benefícios proporcionados. Concluindo, refira-se que o desenvolvimento de ferramentas para a gestão de frotas em combinação com um controlo preciso dos componentes automotivos podem transformar a mecânica de automóveis e sua manutenção numa ciência exata.



## Referências

- Amazon. (2017). Obtido de [www.amazon.com](http://www.amazon.com)
- ASE education foundation. (2018). *ASE Certification Practice Tests*. Obtido de FreeASEStudyGuides: <http://www.freeasestudyguides.com/electrical-troubleshooting-data-link-connector.html>
- Automotive Basics*. (01 de 06 de 2012). Obtido de CAN Basics: <https://automotivetechis.wordpress.com/2012/06/01/can-basics-faq/>
- Axiomatic. (07 de 2006). *Axiomatic*. Obtido de What is SAE J1939?: <http://www.axiomatic.com/whatissaej1939.pdf>
- Câmara Municipal deCoimbra. (2017). DE COIMBRA PARA O MUNDO | Stratio Automotive, tecnologia de ponta para gestão de frotas.
- DieselNet. (Maio de 2018). Obtido de DieselNet: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/hd.php#stds>
- Guimarães, A. D. (2010). *Eletronica Embarcada Automotiva*. Brasil: Editora Érica.
- HDEI / BCEI Working Group . (14 de setembro de 2012). *FMS Standard*. Obtido de [http://www.fms-standard.com/Truck/download/fms\\_document\\_ver03\\_vers\\_14\\_09\\_2012.pdf](http://www.fms-standard.com/Truck/download/fms_document_ver03_vers_14_09_2012.pdf)
- Junior, H. T. (2012). *Estudo dos protocolos de comunicação das arquiteturas eletroeletrônicas automotivas, com foco nas suas características e respectivas aplicações, visando o direcionamento para uso adequado e customizado em cada categoria de veículo*. São Caetano do Sul.
- Kvaser. (2017). *J1939 Overview*. Obtido de <https://www.kvaser.com/about-can/higher-layer-protocols/j1939-introduction/>
- Marques, M. A. (2004). *CAN automotivo: Sistema de monitoramento*. Itajubá.
- Robert Bosch. (2005). *Manual de tecnologia automotiva*. São Paulo: Edgard Blucher.
- SAE. (05 de 2010). *SAE J1939/31 Network Layer*. SAE International.
- SAE J1939. (2004). *SAE J1939/71 - Vehicle application layer*.
- Santos, M. M. (2010). *Redes De Comunicação Automotiva: CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES*. São Paulo: Editora Érica.
- SeCons s.r.o. (2007). *OBD2 Introduction for hobbyists and drivers*. Prague, Czech republic.
- Steve Taranovich. (26 de June de 2017). Obtido de [www.edn.com](http://www.edn.com): <https://www.edn.com/design/power-management/4458579/What-is-the-body-control-module-in-modern-automobiles->
- Voss, W. (2008). *A Comprehensible Guide to Controller Area Network*. Copperhill Media.
- Zavala, A., & Inzunza, A. (Setembro de 2013). *NXP Semiconductors*. Obtido de <https://www.nxp.com/>: [https://www.nxp.com/files-static/training/doc/dwf/DWF13\\_AMF\\_AUT\\_T0502.pdf](https://www.nxp.com/files-static/training/doc/dwf/DWF13_AMF_AUT_T0502.pdf)