



## **COMPONENTE EMBARCADA DO SISTEMA AVLS**

**JOÃO FILIPE ABREU PINHEIRO**

julho de 2020

# COMPONENTE EMBARCADA DO SISTEMA AVLS

João Filipe Abreu Pinheiro

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Área de Especialização em Telecomunicações



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: João Filipe Abreu Pinheiro, Nº 1130299, 1130299@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Manuel Gradim de Oliveira Gericota, mgg@isep.ipp.pt

Empresa: Supervisão: Pedro Reis Soares, prsoares@efacec.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Telecomunicações

**2020**



## *Agradecimentos*

Desejo exprimir desde já o meu mais sincero e humilde agradecimento a todas as pessoas que, embora possam não estar aqui mencionadas, de uma forma direta ou indireta, se mostraram importantes na realização deste estágio curricular.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) pelas condições de trabalho facultadas que me acompanharam em todo o percurso académico.

Ao Professor Engenheiro Manuel Gradim de Oliveira Gericota, orientador e mentor académico do ISEP, agradeço toda a colaboração, disponibilidade e apoio durante o estágio curricular e consequente dissertação.

Ao Engenheiro Pedro Reis Soares, orientador e mentor na empresa EFACEC, agradeço a oportunidade oferecida, toda a colaboração, disponibilidade, paciência e apoio tanto durante o estágio curricular, bem como na elaboração da dissertação.

À minha namorada Catarina Marques, pelo incansável incentivo e incondicional apoio, por ter acreditado sempre em mim, nas minhas capacidades e no trabalho desenvolvido, e ainda pela paciência e ajuda.

À minha mãe e ao meu falecido pai, que foram os meus guias e bengalas ao longo desta enorme viagem que culmina nesta dissertação, que sempre vibraram comigo e por mim, pela ajuda, compreensão e confiança que me deram no decorrer deste percurso. Sem eles, não teria conseguido completar esta etapa da minha vida.

Por fim, a todos os meus companheiros do Mestrado de Telecomunicações, do ISEP, que tantos e tão bons momentos me proporcionaram, ao longo do mesmo.



## *Resumo*

Desde sempre, a troca de bens e o transporte de pessoas foram preocupações bem presentes, devido ao impacto no desenvolvimento económico e social de um país. É o caso da indústria ferroviária, que ao longo da História sempre mereceu uma elevada atenção.

As empresas responsáveis pelo fornecimento dos serviços de transporte foram sentindo necessidade de implementar ferramentas de apoio à sua operação. A EFACEC entrou neste mercado por volta do ano 2000, criando a sua ferramenta de apoio à operação.

A solução EFACEC necessita de estar em constante evolução, pois ao longo do tempo as tecnologias e equipamentos utilizados ficam obsoletos. Para abordar este problema, foi primeiramente estudada a solução de apoio à operação da EFACEC, assim como alguns dos projetos já implementados. De seguida, efetuaram-se estudos de possibilidades de evolução do sistema atual a nível da componente embarcada da solução. Realizou-se, também, uma análise de uma tecnologia *ethernet*, que pode ser implementada em futuros projetos da EFACEC, que está prevista penetrar a indústria dos transportes ferroviários em 2025.

Por fim, é feita uma proposta de evolução da solução da EFACEC, mais em concreto do computador de bordo e da consola, tendo em conta todos os estudos e análises realizadas ao longo da dissertação.

## *Palavras-Chave:*

Componente embarcada, AVLS, Computador de bordo, Consola, Ferrovia, Transportes, SPE, Solução SAO, Interoperabilidade, Normas.



## *Abstract*

The exchange of goods and the transport of people have always been a major concern due to their impact on a country's economic and social development. This is the case of the railway industry, which, throughout history, has always deserved a high level of attention.

The companies responsible for providing transport services have gradually experienced the need to implement tools to support their operation. EFACEC entered this market around the year 2000, creating its own operation support solution.

Since the technologies and equipment used become rapidly obsolete, the EFACEC solution needs to be in constant evolution to remain competitive. To address this problem, we started by studying the current EFACEC's operation support solution, as well as some of the projects already implemented. Next, we studied the evolution possibilities of its onboard component level. An analysis of a new ethernet technology to be incorporated in future EFACEC projects, and which is expected to penetrate the railway industry in 2025, was also carried out.

Finally, a proposal is made for the evolution of the EFACEC solution, specifically at the onboard computer and the console level, taking into account all the studies and analyses made throughout the dissertation.

## *Keywords:*

Embedded component, AVLS, On-board computer, Console, Railway, Transport, SPE, SAO Solution, Interoperability, Standards.



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	1
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.3. OBJETIVO .....	2
<b>2. SOLUÇÃO SAO DA EFACEC .....</b>	<b>5</b>
2.1. ARQUITETURAS DO AVLS .....	6
2.2. FUNCIONALIDADES .....	12
2.3. COMPONENTES DA SOLUÇÃO AVLS EMBARCADA .....	13
2.4. NORMAS DA SOLUÇÃO .....	18
<b>3. EQUIPAMENTOS DA COMPONENTE EMBARCADA .....</b>	<b>21</b>
3.1. LISTAS DE EQUIPAMENTOS .....	21
3.2. AVLS OC.....	24
3.3. CONSOLA .....	26
3.4. WIFI .....	28
3.5. TETRA .....	32
3.6. BEACON READER .....	35
3.7. CONVERSOR IBIS .....	37
3.8. CONVERSOR <i>ETHERNET</i> .....	38
3.9. RACK DE ÁUDIO .....	40
3.10. APC .....	42
3.11. ODENSE-BERGEN .....	44
<b>4. INTEROPERABILIDADE .....</b>	<b>47</b>
4.1. ITxPT .....	47
4.2. TRANSMODEL.....	50
<b>5. EVOLUÇÃO E INTEROPERABILIDADE .....</b>	<b>57</b>
5.1. CONSOLAS.....	57
5.2. OC .....	62
<b>6. SPE.....</b>	<b>80</b>
6.1. DESCRIÇÃO .....	81
6.2. NORMAS.....	81
6.3. VANTAGENS:.....	83

6.4. CASO DE USO .....	83
6.5. INDÚSTRIA FERROVIÁRIA .....	84
6.6. INFRAESTRUTURA <i>ETHERNET</i> EXISTENTE .....	84
<b>7. PROPOSTA DE EVOLUÇÃO.....</b>	<b>86</b>
7.1. CONSOLA .....	86
7.2. OC.....	87
7.3. OUTROS COMPONENTES .....	88
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>89</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Arquitetura geral da componente embarcada [1].	7
<b>Figura 2</b>	Arquitetura da componente embarcada [2].	8
<b>Figura 3</b>	Arquitetura da componente embarcada [3].	9
<b>Figura 4</b>	Arquitetura da componente embarcada no <i>stage</i> #3 [1].	10
<b>Figura 5</b>	Arquitetura da componente embarcada no <i>stage</i> #4 [1].	10
<b>Figura 6</b>	Arquitetura da componente embarcada [5].	11
<b>Figura 7</b>	Vista de frente e de trás do OC [5].	14
<b>Figura 8</b>	Consola da componente embarcada [5].	15
<b>Figura 9</b>	Princípio de operação do <i>beacon reader</i> [8].	16
<b>Figura 10</b>	<i>Transponder</i> MOL81/422 e a sua <i>Tag</i> OMR80, respetivamente [7].	16
<b>Figura 11</b>	<i>Interface</i> da consola do condutor [5].	27
<b>Figura 12</b>	Rádio TETRA RTP-200 [2].	32
<b>Figura 13</b>	Rádio TETRA – RTP-300 [5].	32
<b>Figura 14</b>	<i>Interface</i> rádio TETRA [16].	33
<b>Figura 15</b>	Conversor IBIS [3].	37
<b>Figura 16</b>	Conversor <i>ethernet</i> I/O [3].	38
<b>Figura 17</b>	<i>Rack</i> de áudio [7].	40
<b>Figura 18</b>	<i>Interfaces</i> do sistema de áudio [7].	41
<b>Figura 19</b>	Ilustração de um APC [17].	42

<b>Figura 20</b>	<i>Interfaces</i> APC [17].	42
<b>Figura 21</b>	Membros ITxPT [21].	48
<b>Figura 22</b>	Projetos de pesquisa europeus e atividades de normalização.	50
<b>Figura 23</b>	Submodelos da Transmodel [24].	52
<b>Figura 24</b>	Consola da Lex, SUPER 7" PPC [29].	59
<b>Figura 25</b>	Consola da Pixy, SIP-32.xx [30].	59
<b>Figura 26</b>	Consola Advantech, ITA-8100 [31].	60
<b>Figura 27</b>	Consola da Axiomtek, GOT710-837 [32].	61
<b>Figura 28</b>	Consola da Adlink, DMI-1040 [33].	61
<b>Figura 29</b>	Consola Winmate, R10IB3S-VMP1 [33].	62
<b>Figura 30</b>	Computador de bordo da Eurotech, BoltGATE 20-25 [35].	65
<b>Figura 31</b>	Computador de bordo da Syslogic, RML Compact 81 [36].	67
<b>Figura 32</b>	Computador de bordo da Kontron, TRAce-B40x-TR [37].	70
<b>Figura 33</b>	Computador de bordo da Axiomtek, tBOX324-894-FL [40].	72
<b>Figura 34</b>	Computador de bordo da Sintrones, VBOX-3620-M12X [41].	74
<b>Figura 35</b>	Computador de bordo da Moxa, V2426A Series [42].	77
<b>Figura 36</b>	Cabo SPE [43].	80
<b>Figura 37</b>	Cronologia da penetração do SPE no mercado [43].	84

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b>	Equipamentos de Nottingham - CITADIS [2].	21
<b>Tabela 2</b>	Equipamentos de Nottingham - INCENTRO [3].	22
<b>Tabela 3</b>	Equipamentos de Bergen [1].	22
<b>Tabela 4</b>	Equipamentos de Odense [5].	23
<b>Tabela 5</b>	Especificações do OC em Nottingham [6].	24
<b>Tabela 6</b>	Especificações do OC em Bergen/Odense [7].	25
<b>Tabela 7</b>	Especificações da consola de Nottingham [6].	27
<b>Tabela 8</b>	Especificações da consola de Bergen/Odense [7].	28
<b>Tabela 9</b>	Especificações do AP - Nottingham [2].	29
<b>Tabela 10</b>	Especificações dos AP – Bergen/Odense [4].	30
<b>Tabela 11</b>	Especificações RTP-200 [2].	33
<b>Tabela 12</b>	Especificações do rádio RTP-300 [5].	34
<b>Tabela 13</b>	Especificações do <i>transponder</i> [7].	35
<b>Tabela 14</b>	Especificações da <i>tag</i> [7].	36
<b>Tabela 15</b>	Especificações dos conversores de <i>ethernet</i> [3].	38
<b>Tabela 16</b>	Especificações dos APCs [17].	43
<b>Tabela 17</b>	Comparação de Odense e Bergen.	44
<b>Tabela 18</b>	Especificações técnicas ITxPT [20].	47
<b>Tabela 19</b>	Especificações do OC da Eurotech, BoltGATE 20-25 [35].	65

<b>Tabela 20</b>	Especificações do OC da Syslogic, RML Compact 81 [36].	68
<b>Tabela 21</b>	Especificações do OC da Kontron, TRAce-B40x-TR [37].	70
<b>Tabela 22</b>	Especificações do OC da Axiomtek, tBOX324-894-FL [40].	72
<b>Tabela 23</b>	Especificações do OC da Sintrones, VBOX-3620-M12X [41].	74
<b>Tabela 24</b>	Especificações do OC da Moxa, V2426A Series [42].	77
<b>Tabela 25</b>	Cronologia da norma IEEE 802.3 [43].	82

## *Acrónimos*

ANPR	–	Automatic Number Plate Recognition
AP	–	Access Point
APC	–	Automatic Passenger Counter
ARM	–	Advanced RISC Machines
ARP	–	Address Resolution Protocol
AVLS	–	Automatic Vehicle Location System
BUS	–	Barramento
CEO	–	Chief Executive Officer
DDR-SDRAM	–	Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory
DHCP	–	Dynamic Host Configuration Protocol
DMO	–	Direct Mode Operation
DNS	–	Domain Name Server
DVI-I	–	Digital Visual Interface - Integrated
EBSF	–	European Bus System of the Future
EMC	–	Electromagnetic Compatibility
EMI	–	Electromagnetic Interference
eMMC	–	Embedded MultiMediaCard
EMS	–	Electromagnetic Susceptibility

EN	– European Norm
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute
FMS	– Fleet Management System
GNSS	– Global Navigation Satellite System
GPS	– Global Positioning System
GSM	– Global System for Mobile Communications
H	– Height
HDMI	– High-Definition Multimedia Interface
HMI	– Human Machine Interface
HTTP	– Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	– Hyper Text Transfer Protocol Secure
I/O	– Inputs/Outputs
IBIS	– I/O Buffer Information Specification
ICMP	– Internet Control Message Protocol
ICS	– International Classification for Standards
IEC	– International Electrotechnical Commission
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	– Internet Engineering Task Force
IIoT	– Industrial Internet of Things

IoT	– Internet of Things
IP	– Internet Protocol
IPxx	– Ingress Protection
ISO	– International Organization for Standardization
ITxPT	– Information Technology for Public Transport
L	– Length
LTE	– Long Term Evolution
MADT	– Multi Application Driver Terminal
microSD	– micro Secure Digital
MMI	– Man Machine Interface
MPU	– Vehicle onboard computer
MTBF	– Mean Time Between Failures
MTTQ	– MQ (Message Queuing) Telemetry Transport
MTRR	– Mean Time To Repair
NATO	– North Atlantic Treaty Organization
NeTEx	– Network Timetable Exchange
LAN	– Local Area Network
OC	– Onboard Computer
OCC	– Operational Control Centre

OJP	–	Open Journey Planning
OMR	–	Optical Mark Recognition
OTA	–	Over-The-Air
PA	–	Public Address
PABE	–	Private Automatic Branch Exchange
PAMR	–	Public Access Mobile Radio
PCIe	–	Peripheral Component Interconnect express
PCU	–	Passenger Communication Units
PMR	–	Professional Mobile Radio
PoDL	–	Power over Data Line
PPPoE	–	Point-to-Point Protocol over Ethernet
PSTN	–	Public Switched Telephone Network
RADIUS	–	Remote Authentication Dial In User Service
RAM	–	Random Access Memory
RFC	–	Request for Comments
RFID	–	Radio Frequency Identification
RTIG	–	Real Time Information Group
RTP	–	Real-time Transport Protocol
RTPS	–	Rail Traffic Priority System

SAO	– Sistema de Apoio à Operação
SATA	– Serial Advanced Technology Attachment
SIRI	– Service Interface for Real-time Information
SNMP	– Simple Network Management Protocol
SNTP	– Simple Network Time Protocol
SPE	– Single Pair Ethernet
SSD	– Solid State Drive
STCP	– Sociedade de Transportes Colectivos do Porto
TCP	– Transmission Control Protocol
TDMA	– Time Division Multiple Access
TETRA	– Terrestrial Trunked Radio
TI	– Tecnologias de Informação
TiGR	– Open Journey Planning
TPM	– Trusted Platform Module
UIB	– Switch Point On-board Interface Unit
UDP	– User Datagram Protocol
USB	– Universal Serial Bus
UTP	– Unshielded twisted pair
W	– Width

- WLAN – Wireless Local Area Network
- WSDL – Web Services Description Language
- XML – eXtensible Markup Language

# 1. INTRODUÇÃO

Este documento analisa a componente embarcada do Sistema de Apoio à Operação (SAO) da EFACEC existente, na sua vertente tecnológica e funcional, um estudo comparativo de alternativas viáveis para a sua evolução de acordo com as soluções atuais e tendências do mercado, e, posteriormente, uma proposta de evolução.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A tecnologia envolve toda a sociedade e a sua evolução afetou o nosso modo de vida nas mais variadas vertentes. Os transportes públicos não são exceção e desde o seu aparecimento até ao presente foram experimentando evoluções significativas.

As empresas responsáveis pelo fornecimento dos serviços de transporte foram sentindo necessidade de implementar ferramentas de apoio à sua operação que permitissem otimizar os recursos e melhorar os serviços, para que a resposta ao cidadão fosse mais eficaz.

Nesse contexto apareceram ferramentas que se denominam precisamente "Sistemas de Apoio à Operação". Na nomenclatura inglesa são conhecidos normalmente por AVLS

"Automatic Vehicle Location System" por terem na localização do veículo um fator muito relevante. O seu alcance vai, no entanto, muito para lá da mera localização do veículo e a sigla portuguesa faz mais jus à realidade que significam.

A EFACEC entrou neste mercado por volta do ano 2000, desenvolvendo e instalando precisamente o seu SAO inicialmente na CARRIS e na Sociedade de Transportes Colectivos do Porto (STCP), empresas de transporte públicos de passageiros das áreas metropolitanas de Lisboa e Porto respetivamente.

A solução inicial para frotas de autocarros sofreu uma evolução e surgiu alguns anos mais tarde o primeiro fornecimento para uma rede de metro ligeiro, na cidade espanhola de Tenerife. Desde essa altura, novos projetos foram aparecendo e a lista de referências completa é a seguinte:

- CARRIS - Autocarros - início em 1999;
- STCP - Autocarros - início em 2000;
- TENERIFE - metro ligeiro - início em 2005;
- HORÁRIOS DO FUNCHAL - autocarros - início em 2006;
- ORAN - metro ligeiro na Argélia - início em 2008;
- CONSTANTINE - metro ligeiro na Argélia - início em 2008;
- NOTTINGHAM - metro ligeiro no Reino Unido - início em 2012;
- RIO DE JANEIRO - metro ligeiro no Brasil - início em 2013;
- BERGEN - metro ligeiro na Noruega - início em 2013;
- ODENSE - metro ligeiro na Dinamarca - início em 2017.

## 1.2. **OBJETIVO**

A solução SAO da EFACEC foi projetada para apoiar as empresas operadoras de serviços de transporte público, fornecendo um conjunto de ferramentas para esse fim. Essas ferramentas permitem a supervisão da operação, mas também a atuação em caso de desvios ao planeado, com vista a otimizar os recursos e os resultados dos serviços de transporte.

Existe uma solução base que é replicada em todos os projetos, mas especificidades de cada contrato e de cada cliente obrigam a que a solução sofra alguns ajustes de projeto para projeto.

O presente documento tem como principais objetivos a compreensão e estudo da solução SAO da EFACEC, assim como alguns dos seus projetos, efetuar uma procura de novas tecnologias que possam ser implementadas em futuros projetos e, por fim, descobrir possibilidades de evolução do sistema atual a nível da componente embarcada e posteriormente a apresentação de uma proposta de evolução.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento está dividido em vários capítulos:

- Capítulo 1: É realizada uma breve introdução ao trabalho;
- Capítulo 2: É apresentada a solução SAO da EFACEC;
- Capítulo 3: São descritos os equipamentos da componente embarcada por projeto e posteriormente as especificações desses equipamentos e as respetivas *interfaces*;
- Capítulo 4: É discutida a interoperabilidade entre os diferentes sistemas;
- Capítulo 5: São descritas as possibilidades de evolução do sistema atual a nível da componente embarcada;
- Capítulo 6: É discutida a tecnologia *Single Pair Ethernet (SPE)*;
- Capítulo 7: É realizada uma proposta de evolução a nível de equipamentos da componente embarcada;
- Capítulo 8: É efetuada uma conclusão sobre os estudos e análises efetuadas ao longo do documento.

No próximo capítulo é apresentada inicialmente a arquitetura geral da solução do SAO, focando-se de seguida na solução embarcada, caracterizando as diversas soluções existentes.



## 2. SOLUÇÃO SAO DA EFACEC

O SAO da EFACEC implementa uma arquitetura distribuída com base em três componentes principais, de acordo com sua localização: *Operational Control Centre (OCC)*, embarcada e linha.

A componente OCC fornece aos seus operadores uma visão geral abrangente e precisa da linha, elementos de linha e localização do veículo em tempo real nas *workstations*. Também possui comunicações com os veículos, ferramentas de regulação, ferramentas de relatórios/estatísticas e eventos de operação.

A componente embarcada fornece ao condutor a informação do horário de acordo com a *timetable* ou a diferença de tempo exigida para o veículo seguinte, através da consola do condutor, comunicações para o OCC, comunicações para os passageiros e informações de alarmes sobre a infraestrutura AVLS da componente embarcada. A componente embarcada fornece também aos passageiros informações de áudio e texto assim como comunicações de emergência.

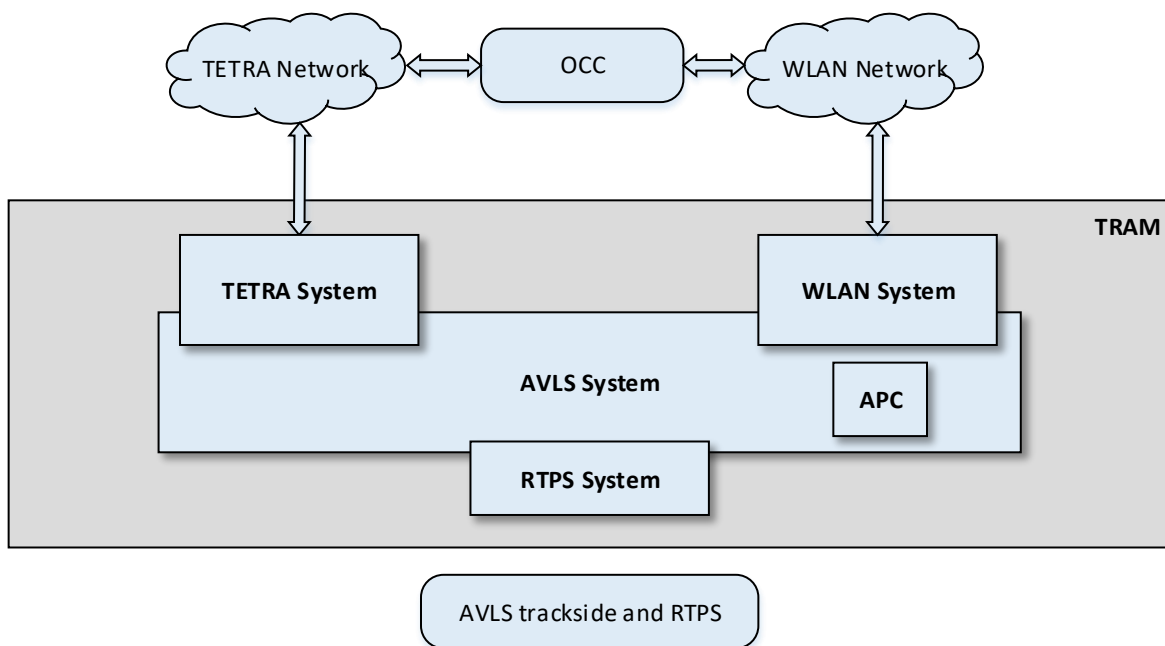
A componente de linha é composta pelas *tags* que estão instaladas ao longo da linha e através destas é obtida a informação da posição dos veículos.

Neste capítulo irão ser discutidos os vários pontos da solução SAO da EFACEC, tal como a arquitetura geral do AVLS, bem como as arquiteturas dos projetos referidos anteriormente, as suas funcionalidades, a descrição dos equipamentos da componente embarcada e das normas a cumprir.

## 2.1. ARQUITETURAS DO AVLS

Na Figura 1 é apresentada a arquitetura geral mais recente da solução SAO da EFACEC no que diz respeito ao material circulante, a qual se baseia nos seguintes sistemas [1]:

- AVLS - fornecer aos operadores do OCC a posição exata do veículo em tempo real na linha, controlo e supervisão do material circulante.
- Comunicações rádio (*Terrestrial Trunked Radio* - TETRA) - uma infraestrutura de rede TETRA é utilizada para fornecer transmissão segura de voz e dados entre o OCC e o material circulante e entre o pessoal de manutenção e o OCC.
- Comunicações WLAN – uma infraestrutura de rede WLAN é utilizada para:
  - Fornecer comunicações de *Infotainment* (uma combinação de informação e entretenimento);
  - Fornecer serviços de *internet* para os passageiros;
  - Fornecer trocas de informação AVLS no depósito.
- *Road Traffic Priority System* (RTPS) - detetar o veículo nas passagens, a fim de solicitar ao controlador de tráfego rodoviário prioridade para o veículo.
- *Automatic Passenger Counting* (APC) - fornecer informações sobre a contagem de passageiros do veículo, contando o embarque e desembarque de pessoas em cada porta.



**Figura 1** Arquitetura geral da componente embarcada [1].

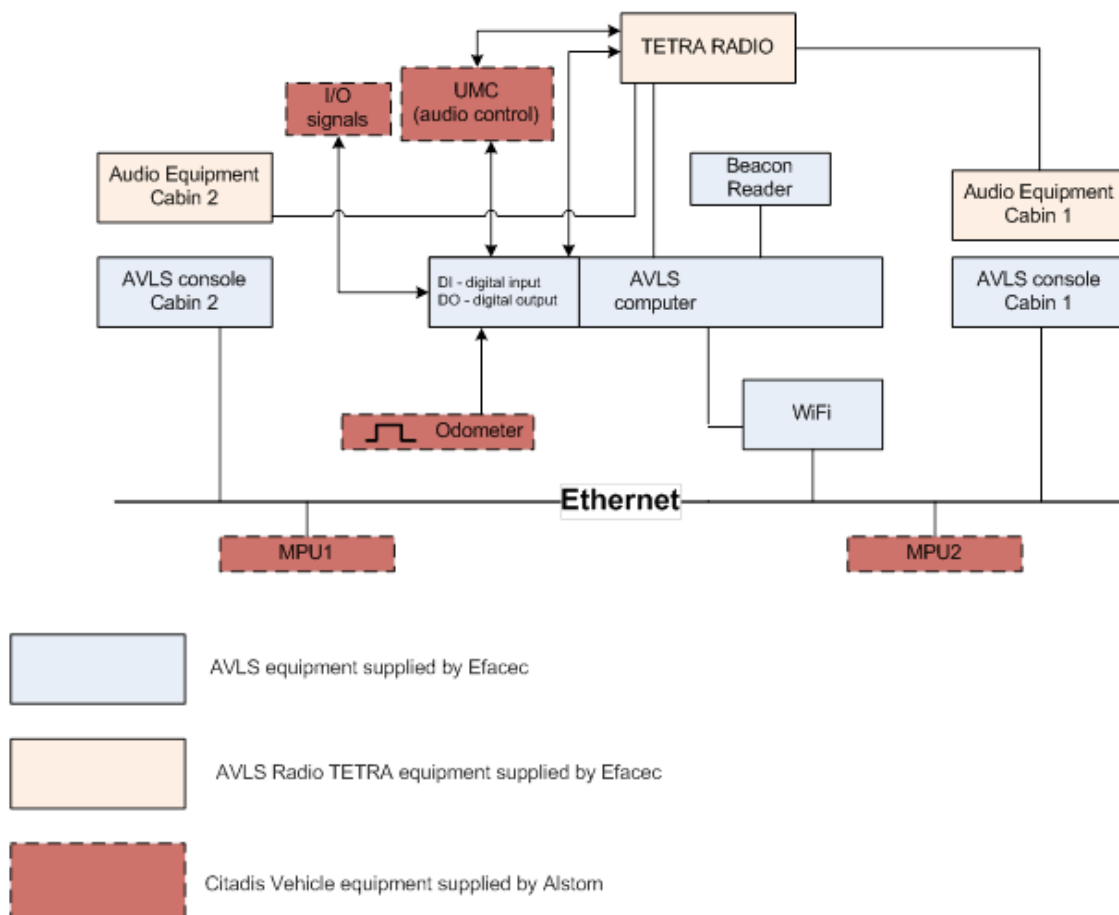
Na solução do projeto de Nottingham tem veículos ferroviários de empresas diferentes, os CITADIS da ALSTOM e os INCENTRO da Bombardier. No caso do projeto de Bergen e Odense, em ambos os casos são veículos da Stadler.

De seguida são apresentadas as arquiteturas dos projetos referidos anteriormente, onde se poderá verificar ligeiras diferenças entre as arquiteturas dos veículos INCENTRO e CITADIS, e entre os veículos de Bergen e Odense.

### 2.1.1. NOTTINGHAM – CITADIS

A Figura 2 descreve a arquitetura da componente embarcada dos veículos CITADIS em Nottingham, podendo-se verificar que equipamentos foram fornecidos pela EFACEC e que equipamentos foram fornecidos pela ALSTOM e como estes se interligam.

No subcapítulo 2.3 é descrito com mais detalhe os equipamentos utilizados para a solução SAO.

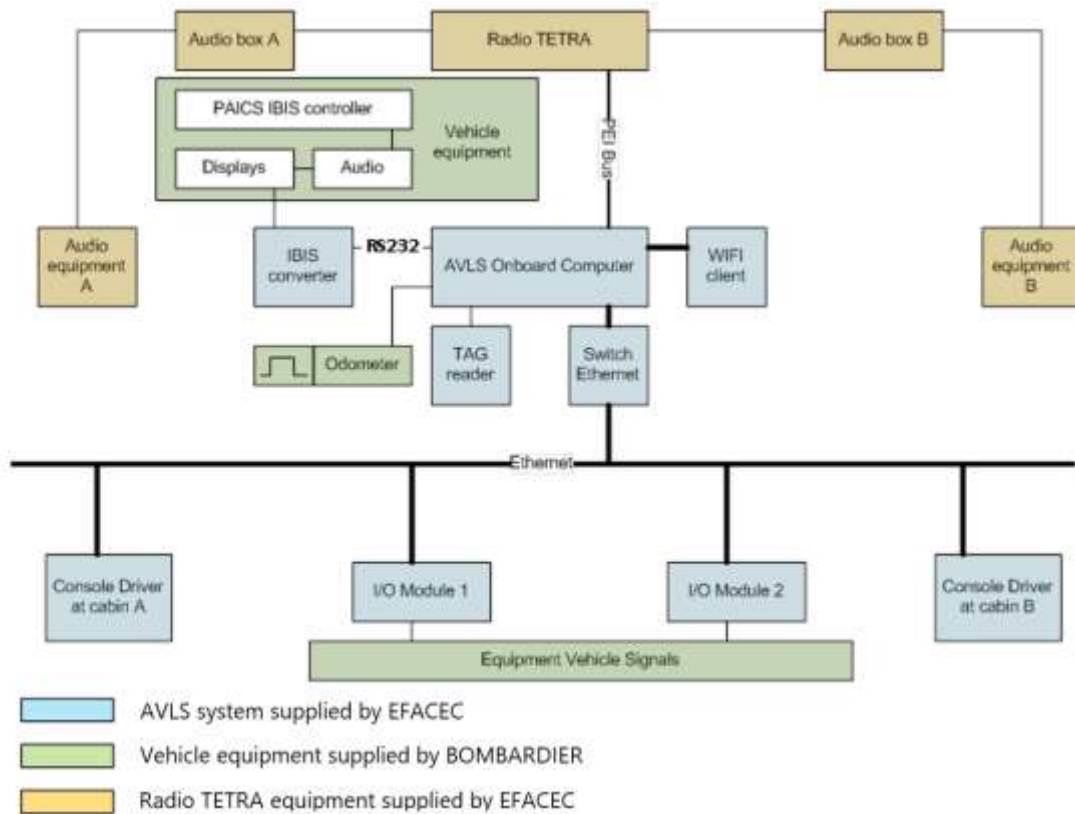


**Figura 2** Arquitetura da componente embarcada [2].

### 2.1.2. NOTTINGHAM - INCENTRO

A Figura 3 descreve a arquitetura da componente embarcada dos veículos INCENTRO em Nottingham.

Ao comparar a Figura 2 e a Figura 3 verifica-se uma arquitetura ligeiramente diferente, isto porque no caso dos veículos CITADIS não existiu a necessidade de utilizar o conversor *I/O Buffer Information Specification (IBIS)*, isto porque estes eram veículos novos e já possuíam conexões aos ecrãs internos e externos de informação para os passageiros, ao contrário dos INCENTRO que eram veículos que já existiam. Foram também utilizados dois conversores *ethernet* para realizar a ligação dos sinais dos equipamentos dos veículos INCENTRO para o *onboard computer (OC)* através da rede *ethernet*.



**Figura 3** Arquitetura da componente embarcada [3].

### 2.1.3. BERGEN

A Figura 4 e a Figura 5 descrevem a arquitetura da componente embarcada dos veículos que se encontram em Bergen no *stage* #3 e #4 respetivamente. Normalmente os projetos passam por vários *stages*, ou seja, uma evolução constante ao longo do tempo. Uma das diferenças que existe entre o *stage* #3 e #4 foi a alteração de *ethernet switchs* de 5 portas para 8 portas, provocando assim a vantagem de ter um número reduzido de *ethernet switchs*.

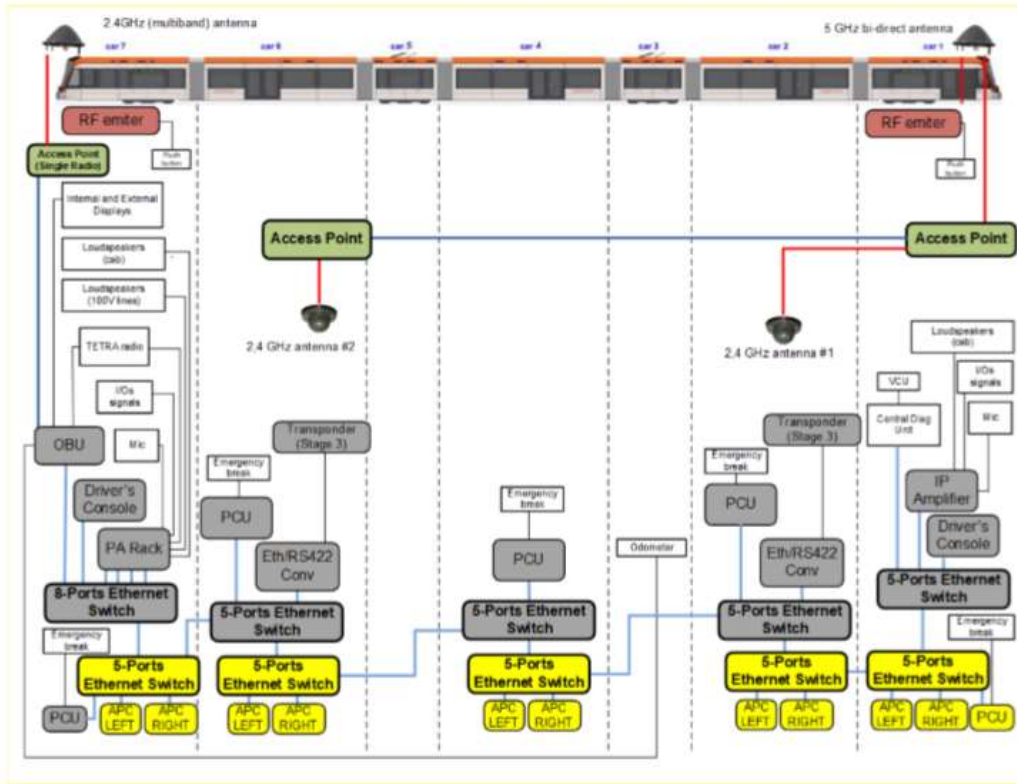


Figura 4 Arquitetura da componente embarcada no stage #3 [1].

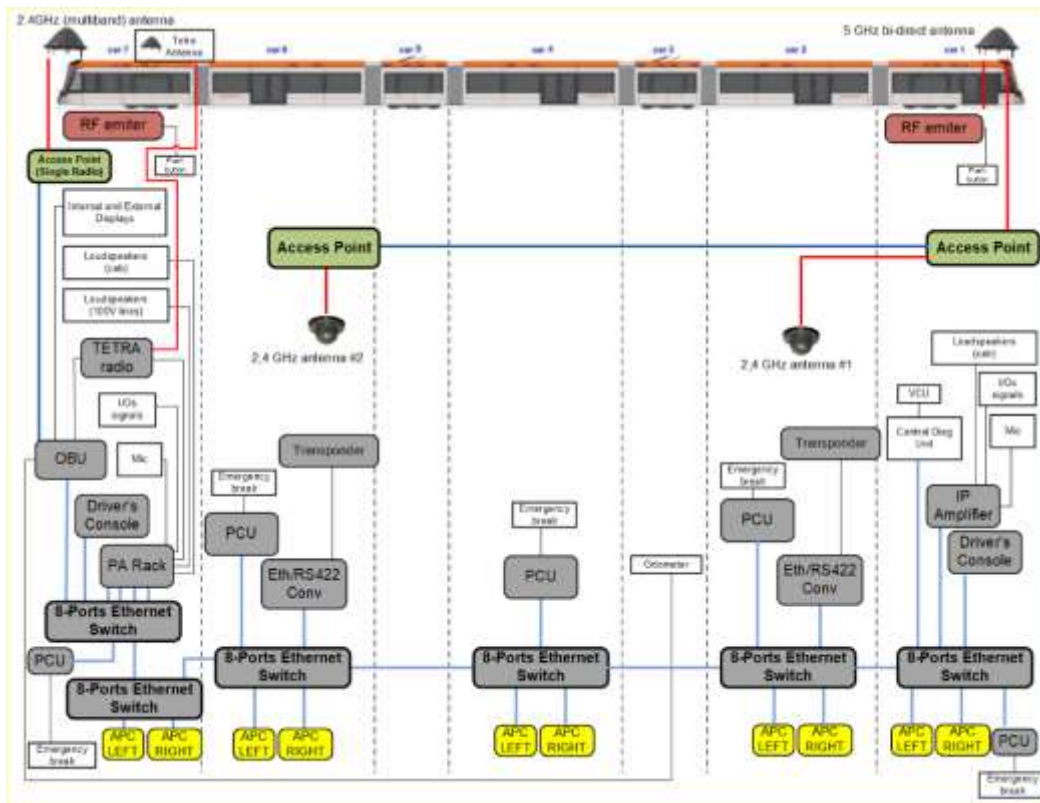
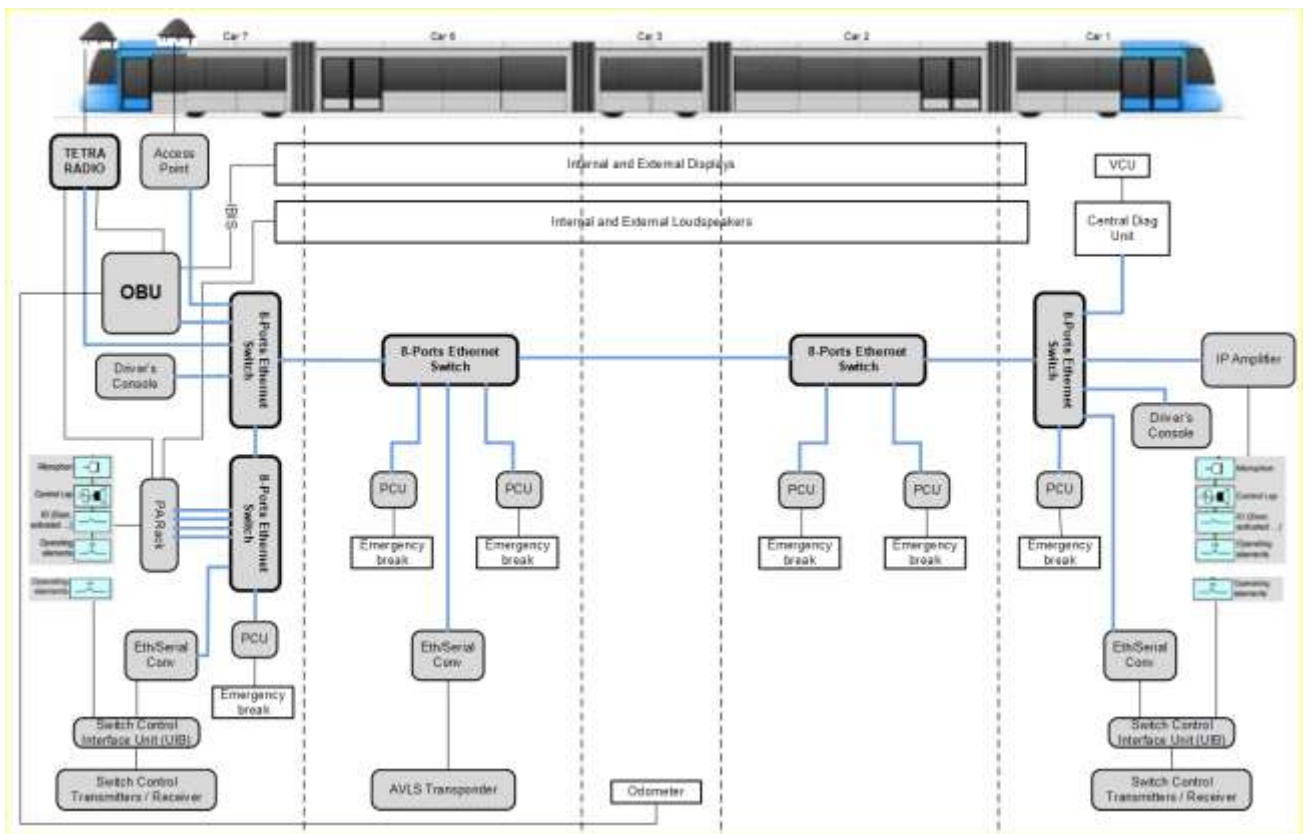


Figura 5 Arquitetura da componente embarcada no stage #4 [1].

Ao comparar as arquiteturas dos projetos de Bergen e Odense, Figura 5 e Figura 6, respectivamente, verifica-se que são ligeiramente diferentes, isto porque no projeto de Bergen existem requisitos adicionais. Foi requerido um sistema APC para ser instalado na componente embarcada do material circulante, a fim de guardar informações sobre a contagem de passageiros e enviá-las a uma empresa que realiza análise de dados para estatísticas/relatórios e informações relativas à operação dos veículos adiantados/atrasados. Outro requisito no projeto de Bergen foi colocar um sistema WLAN para fornecer aos passageiros conectividade com a *internet*. O acesso aos passageiros é feito em uma infraestrutura de 5 GHz, enquanto o AVLS - Timekeeper é feito em uma infraestrutura de 2,4 GHz [4].

#### 2.1.4. ODENSE

A Figura 6 descreve a arquitetura da componente embarcada dos veículos que se encontram em Odense.



**Figura 6** Arquitetura da componente embarcada [5].

## 2.2. FUNCIONALIDADES

O AVLS é composto por várias aplicações que incluem todos os domínios necessários: a configuração, a operação e as estatísticas.

Neste subcapítulo são descritas as funções disponíveis nesses domínios. A descrição das funcionalidades está dividida em duas partes: as funcionalidades OCC e as funcionalidades da componente embarcada [6].

- Componente embarcada:
  - Veículo -> OCC: a comunicação de informação entre o veículo e OCC é bidirecional e é baseada nas redes de WIFI e TETRA. Esta informação é transferida em períodos pré-definidos (no início e no final do dia) e em tempo real durante as viagens;
  - Início de serviço do veículo;
  - Informação para os condutores;
  - Início/final de viagem;
  - Forçar localização;
  - Mudar destino;
  - Mudar de condutor;
  - Fazer um pedido de chamada normal e urgente;
  - Enviar mensagens predefinidas de veículo -> OCC;
  - Ativar/desativar as mensagens de *display* dentro do veículo;
  - Ativar/desativar as mensagens de áudio dentro do veículo;
  - Terminar o serviço;
  - Manobras (quando o veículo circula na linha sem um serviço ativo);
  - Alarmes/eventos;
  - Solicitar pedidos de ajuda;
  - PCC (nos veículos INCENTRO não existe): estabelece uma comunicação entre um passageiro e um operador OCC;

- Controlo da alimentação: nos veículos CITADIS existem 2 tipos de alimentação, uma fonte de alimentação permanente (baterias do veículo) e uma fonte de alimentação preparada (catenárias);
- Lubrificação por eixo: em função do atrito provocado pelas curvas apertadas durante as viagens, existem pontos predefinidos nas linhas em que o AVLS ativa o sistema de lubrificação dos eixos;
- OCC:
  - Sinóptico: representação gráfica dos elementos da linha, ou seja, os pontos de troca e de conclusão, secções, paragens/plataformas e os veículos em tempo real;
  - *Interface* de comunicações: monitoriza as conexões da aplicação da *workstation*, funciona para o envio de mensagens para os condutores, mostra todas as mensagens do veículo para o OCC, controla as comunicações por voz com os condutores e controla também as comunicações por voz com as unidades moveis;
  - Comunicações por voz OCC – veículo: os operadores do OCC recebem pedidos de chamadas, sabem a informação em tempo real das chamadas de voz a decorrer, enviam mensagens para um veículo ou um conjunto de veículos, pedem ao veículo para enviar a sua localização a qualquer momento;
  - Simulação de movimento: se devido a alguma falha o veículo para de enviar a sua localização, é considerado não localizado. Neste caso, o AVLS pode calcular a sua posição baseada numa simulação de movimento teórico.
  - Importar listas de aplicações: o AVLS recebe a *timetable* através de uma aplicação de listas externa.

### 2.3. COMPONENTES DA SOLUÇÃO AVLS EMBARCADA

Neste subcapítulo são descritos os equipamentos da componente embarcada que são comuns a todos os projetos e nos capítulos seguintes os específicos de cada projeto, as *interfaces* e as especificações do seu hardware.

### 2.3.1. OC

O OC (Figura 7) processa toda a informação e *interfaces* da componente embarcada. O seu software é desenvolvido utilizando o Microsoft Windows CE 5.0 e o seu hardware é especialmente concebido para aplicações ferroviárias.

O OC tem *interfaces* diretas com o TETRA da componente embarcada e um sistema WIFI privado para estabelecer comunicações de dados com o equipamento OCC, bem como vários *Inputs/Outputs* (I/Os) digitais que são utilizados para receber informação do veículo (odómetro, cabine ativa) e do equipamento rádio (informação do estado).

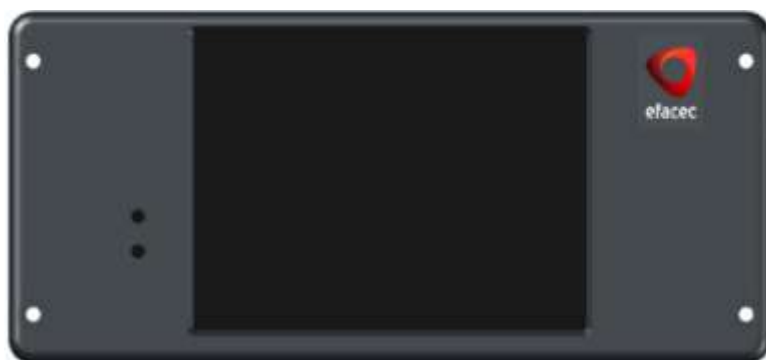
O OC também gere a conexão com o *beacon reader* e liga-se também ao computador do veículo (MPU ou VCU dependendo do projeto) [6].



**Figura 7** Vista de frente e de trás do OC [5].

### 2.3.2. CONSOLA

A consola (monitor TFT com *touch screen* incorporado - Figura 8) fornece ao condutor um *interface* Homem-Máquina (*Man Machine Interface* – MMI) para aceder a todas as funcionalidades do AVLS. O software é baseado no Microsoft Windows CE 5.0 [6].



**Figura 8** Consola da componente embarcada [5].

Através desta consola o condutor consegue:

- Aceder à informação do serviço que está a realizar, ou seja, à informação se está adiantado ou atrasado em relação ao horário, à informação da distância dos veículos à sua frente e a atrás, e à regulação da informação transmitida do OCC.
- Aceder à informação do estado do equipamento AVLS e rádio da componente embarcada;
- Solicitar chamadas de voz do operador no OCC para ele;
- Aceder à informação sobre o estado das *interfaces* implementadas;
- Transmitir/receber informações de/para o operador OCC [6].

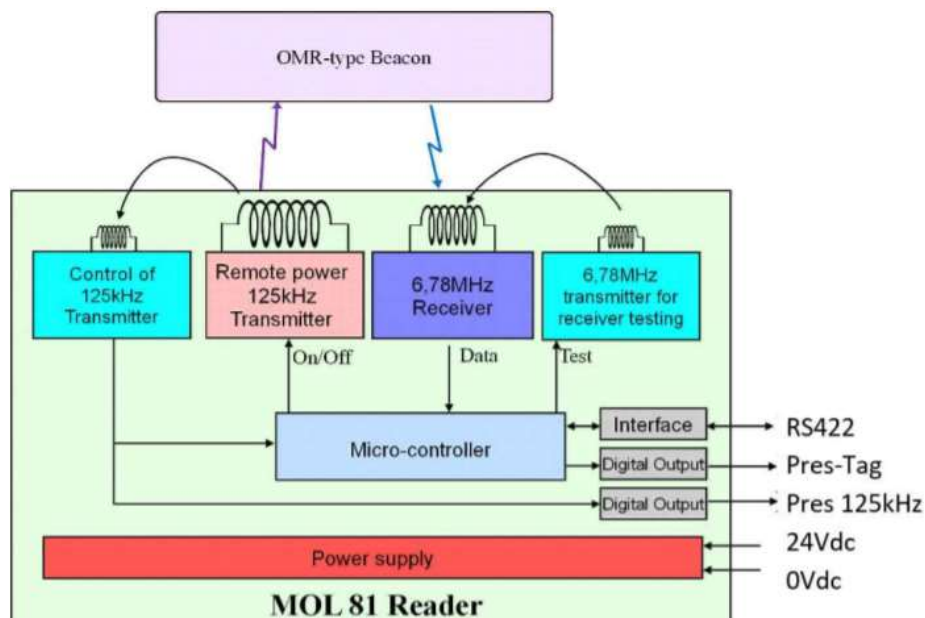
### 2.3.3. **WIFI**

A comunicação entre o OCC e as aplicações da componente embarcada requer uma infraestrutura de WLAN no depósito e na componente embarcada para executar um conjunto de funções de maneira otimizada, poupando capacidade e recursos TETRA para comunicações de voz quando eles são mais necessários.

### 2.3.4. **BEACON READER**

O *beacon reader* MOL 81 é um transceptor *Radio Frequency Identification* (RFID) de curto alcance, ou seja, um leitor de curto alcance (menos de 0,8 m) que transmite a 125 kHz e recebe a 6,78 MHz, especialmente projetado para aplicações ferroviárias (localização precisa do veículo, deteção em cruzamentos, informações sobre passageiros, gestão no depósito) [7].

A Figura 9 representa o funcionamento do *beacon reader*, em que este ao transmitir a 125 kHz alimenta remotamente o *beacon*. Este pode ser ativado e desativado com um comando através da ligação série. Quando ativado, o leitor faz um controlo permanente da emissão a 125 kHz. Estas informações são enviadas diretamente para a saída "Pres125kHz", indicando a presença ou ausência de uma transmissão correta de 125 kHz. Esta informação também é enviada para o microcontrolador que pode devolvê-la através da ligação série. O recetor a 6,78 MHz processa o sinal de identificação enviado pelo *beacon*. Após o processamento, o sinal é enviado para o microcontrolador que é responsável por decodificar este sinal e enviá-lo para a ligação série. Uma saída "Pres Tag" é ativada assim que o microcontrolador tenha decodificado duas *frames* de identificação corretamente.



**Figura 9** Princípio de operação do *beacon reader* [8].

A Figura 10 apresenta o aspeto físico do Transponder MOL81/422 e a sua Tag OMR80, respetivamente.



**Figura 10** Transponder MOL81/422 e a sua Tag OMR80, respetivamente [7].

### 2.3.5. RÁDIO TETRA

TETRA é um rádio móvel digital *trunked standard* desenvolvido pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) para atender às necessidades das organizações tradicionais de utilizadores da *Professional Mobile Radio* (PMR), tais como [9]:

- Segurança pública;
- Transporte;
- Governo;
- Militar;
- *Public Access Mobile Radio* (PAMR);
- Comércio e indústria;
- Petróleo e gás.

Isto significa que tem uma arquitetura escalável, permitindo implementações de rede económicas que vão desde a cobertura de uma única área local até a cobertura nacional de várias áreas. Alguns dos serviços únicos PMR do TETRA são [10]:

- Chamadas de grupo de configuração rápida de grande área;
- *Direct Mode Operation* (DMO) permitindo comunicações "*back to back*" entre terminais de rádio independentes da rede;
- Encriptação de voz de alto nível para atender às necessidades de segurança das organizações de segurança pública;
- Uma estação de chamadas de emergência que funcione, mesmo se o sistema estiver ocupado;
- Voz *full-duplex* para comunicações *Private Automatic Branch Exchange* (PABX) e *Public Switched Telephone Network* (PSTN).

Utiliza *Time Division Multiple Access* (TDMA) com 4 canais intercalados por uma portadora de 25 KHz. Oferece transferências de dados até 28,8 Kbps reservando os 4 canais ao mesmo utilizador (a largura de banda é requisitada no estabelecimento da ligação). Suporta *half-duplex* na comunicação em grupo e *full-duplex* em chamadas individuais.

Contém fortes níveis de segurança incluindo encriptação de voz e de dados, sinalização e autenticação a partir das identidades dos utilizadores. Para este efeito são definidos dois mecanismos de segurança:

- *Air Interface Encryption* – efetua a encriptação ao nível da camada 1 entre o terminal e a Estação Base;
- *End-to-End Encryption* – encriptação ao nível das aplicações.

O TETRA fornece tempos de estabelecimento de chamadas *fast-call* na ordem dos 300 ms, um valor muito baixo quando comparando com tecnologias celulares como o *Global System for Mobile Communications* (GSM) que demora 900 ms. Esta propriedade é crucial para serviços de emergência.

A tecnologia TETRA é dependente da frequência, mas harmoniza a utilização de certas bandas. A *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) definiu uma banda de 20 MHz na Europa para serviços de emergência e de segurança pública. Essa banda reside entre os 380 MHz e os 400 MHz. As entidades Europeias normalmente definem a gama de frequências para utilização de redes TETRA a partir dos 430 MHz. As bandas de frequência normalmente utilizadas são: 450-460 MHz / 460-470 MHz e 870-876 MHz / 915-921 MHz [11].

#### 2.4. NORMAS DA SOLUÇÃO

A solução AVLS da EFACEC na componente embarcada exige o cumprimento de certas normas, tais como:

##### EN 45545:

A norma *European Norm* (EN) 45545-1: 2013 [12] de aplicações ferroviárias é utilizada na proteção contra incêndio em veículos ferroviários e é classificada nas categorias *International Classification for Standards* (ICS):

- 45.060.01 Material circulante ferroviário em geral;
- 13.220.20 Proteção contra incêndio.

### EN 50155:

A norma EN 50155: 2017 [13] de aplicações ferroviárias é utilizada para material circulante e para equipamento eletrónico, e é classificado nas categorias de ICS:

- 45.060.01 Material circulante ferroviário em geral;
- 45.060.10 *Stock* de tração.

### EN 61373:

A norma EN 61373: 2010 [14] de aplicações ferroviárias é utilizada para material circulante para os testes de choque e vibração, e são classificados nas categorias de ICS:

- 45.060.01 Material circulante ferroviário em geral;
- 17.160 Medições de vibrações, choques e vibrações.

### EN 50121-3-2:

A norma EN 50121-3-2:2016+A1:2019 [15] de aplicações ferroviárias é utilizada para a compatibilidade eletromagnética, e é classificada nas categorias ICS:

- 45.060.01 Material circulante ferroviário em geral;
- 33.100.01 Compatibilidade eletromagnética em geral;
- 29.280 Equipamentos de tração elétrica.

### TETRA:

A TETRA *rack* é construída de acordo com as normas TETRA europeias e ferroviárias [2]:

- Segurança dos dispositivos eletrónicos: EN 60950:2000;
- Normas rádio ETSI: ETSI EN 300 394-1 v. 2.3.1 (2001-04);
- Normas *Electromagnetic Compatibility* (EMC) ETSI: ETSI EN 301 489-018 v.1.3.1 (2002-08);
- Normas ferrovias: EN 50155:2001; EN 50155/Corr 2003; EN 50155/A1 2004;
- Normas ferrovias: EN 50121-1:2000; EN 50121-3-2:2000.

Verifica-se assim que a solução SAO da EFACEC tem uma arquitetura geral do AVLS que foi utilizada nos projetos referidos anteriormente, distribuída com base em três componentes principais, de acordo com sua localização: OCC, embarcada e linha.

No próximo capítulo serão enunciados os equipamentos, as suas especificações, bem como as suas *interfaces*, em relação à componente embarcada de projetos já realizados pela EFACEC.

# 3. EQUIPAMENTOS DA COMPONENTE EMBARCADA

Neste capítulo é descrita, em relação à componente embarcada, uma lista de equipamentos por projeto e posteriormente as especificações desses equipamentos e as respectivas *interfaces*.

## 3.1. LISTAS DE EQUIPAMENTOS

A Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4, enumeram os equipamentos referentes à componente embarcada no projeto de Nottingham – CITADIS, Nottingham – INCENTRO, Bergen e Odense, respetivamente.

**Tabela 1** Equipamentos de Nottingham - CITADIS [2].

Sistema EFACEC	Equipamento	Quantidade por veículo
AVLS	AVLS RACK	1
RADIO	TETRA RADIO RACK	1
RADIO	Audio box	2
RADIO	Handset	2
RADIO	Loudspeaker and microphone	2
AVLS	WIFI client	1
AVLS	Driver consoles	2
AVLS	Beacon reader from BALOGH	1
RADIO	TETRA RADIO antenna	1
AVLS	WIFI client antenna	1
AVLS	Relay signal conditioning	13

**Tabela 2** Equipamentos de Nottingham - INCENTRO [3].

<b>Sistema EFACEC</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade por veículo</b>
AVLS	AVLS Computer	1
RADIO	TETRA RADIO RACK	1
RADIO	Audio box	2
RADIO	Handset	2
RADIO	Loudspeaker	2
RADIO	Microphone	2
AVLS	WIFI client	1
AVLS	Relay signal conditioning	17
AVLS	Ethernet switch	2
AVLS	Driver consoles	2
AVLS	TAG Reader	1
RADIO	TETRA RADIO antenna	1
AVLS	WIFI modem antenna	1
AVLS	IBIS Converter	1
AVLS	Digital Input/Output Ethernet converter	1
AVLS	Digital Input Ethernet converter	1

**Tabela 3** Equipamentos de Bergen [1].

<b>Sistema EFACEC</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade por veículo</b>
AVLS	OC	1
AVLS	Driver's Console	2
AVLS	PA rack	1
AVLS	PA Master Device (included in PA rack)	1
AVLS	Internet Protocol (IP) Amplifier "MIC" (included in PA rack)	1
AVLS	IP Amplifier "Radio" (included in PA rack)	1
AVLS	IP Amplifier High Voltage (HV) (included in PA rack)	1
AVLS	IP Amplifier	1
AVLS	Passenger Communication Unit (PCU)	5
AVLS	5-ports Ethernet Switch	4

Sistema EFACEC	Equipamento	Quantidade por veículo
AVLS	8-ports Ethernet Switch	6
AVLS	Ethernet/RS422 converter	2
AVLS	Transponder (stage 3 trams)	2
AVLS	APC <del>Option</del>	10
WLAN	Onboard Access Point (single radio device)	2
WLAN	Onboard Access Point (dual radio device)	1
RTPS	RF Transmitter (Tx) (Stage 3 trams)	2
TETRA	Onboard TETRA radio	1

**Tabela 4** Equipamentos de Odense [5].

Sistema EFACEC	Equipamento	Quantidade por veículo
AVLS	OC	1
AVLS	Driver's Console	2
Audio	PA rack	1
Audio	PA Master Device (included in PA rack)	1
Audio	IP Amplifier "MIC" (included in PA rack)	1
Audio	IP Amplifier "Radio" (included in PA rack)	1
Audio	IP Amplifier High Voltage (HV) (included in PA rack)	1
Audio	IP Amplifier	1
Audio	Passenger Communication Unit (PCU)	6
Ethernet	8-ports Ethernet Switch	5
AVLS	Ethernet/Serial converter	3
AVLS	Transponder	1
WLAN	AVLS Access Point (single radio)	1
SIG & RSG	Switch Point On-board Interface Unit (UIB)	2
TETRA	Set of 2xEmitters and 1xReceiver	2
RTR	TETRA Radio	1

### 3.2. AVLS OC

O OC tem as seguintes *interfaces* [6]:

- Alimentação: 24 VDC;
- *Interface* rádio TETRA: estabelecimento de comunicação de dados e comandos de controlo entre o OC e o rádio TETRA utilizando comunicação série (RS-232) e I/Os;
- *Interface* LAN: comunicação *ethernet* para *ethernet switch* para permitir comunicação IP entre OC e, conseqüentemente, dispositivos IP;
- *Interface* do sistema WLAN: comunicação *ethernet* com cliente WIFI para comunicações de dados com o OCC;
- *Interface* do odómetro: *interface* analógico genérico para assistir em funções AVLS em termos de localização do veículo;
- *Interface* USB: para propósitos de manutenção.

A Tabela 5 e a Tabela 6 enumeram as especificações do OC no projeto de Nottingham e de Bergen/Odense, respetivamente.

**Tabela 5** Especificações do OC em Nottingham [6].

<b>CPU Board</b>	Celeron 400 MHz 256 MB de Double Data Rate - Synchronous Dynamic Random Access Memory (DDR-SDRAM) built-in 1 MB Flash EPROM programmable Watchdog Real time clock
<b>Interface ports</b>	1X 9 wire RS232 1x RS232/422/485 1x USB 2.0 interface 1X interface CAN bus 1X Fast Ethernet interface 10/100 Mbit Maintenance port 1X VGA 2048*1536*8bit/60Hz
<b>Interface ports</b>	Minidin 6 pin Keyboard and mouse

<b>Digital I/O</b>	<p>1 tachometer input</p> <p>1 ignition input</p> <p>16 isolated inputs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 V to +1.5 V low level detection</li> <li>- +10 V to +36 V high level detection</li> </ul> <p>16 isolated outputs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Current sinking</li> <li>- 500 mA for channels 0 to 4</li> <li>- 300 mA for channels 5 to 15</li> <li>- Switching time</li> <li>- OFF ON – 5 mS</li> <li>- ON OFF - 18 <math>\mu</math>S</li> </ul>
<b>Power supply</b>	<p>9 to 36 VDC</p> <p>15 to 29 W</p>
<b>Environmental specifications</b>	<p>Temperature:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The climatic requirements are referred to the temperature class T3 defined in EN 50155;</li> <li>- Low operating temperature: -25 °C;</li> <li>- High operating temperature: +70 °C, 10 minutes @ 85 °C.</li> </ul> <p>IP65 rugged enclosure.</p> <p>Mean Time Between Failures (MTBF) (h) 50000 and Mean Time To Repair (MTTR) (h) 0.2.</p> <p>Vibration:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The mechanical strength of the unit meets the requirement of the category 1 class B defined in EN 50155.</li> </ul> <p>EMC:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The system meets the requirements laid down in EN 50155.</li> </ul>

**Tabela 6** Especificações do OC em Bergen/Odense [7].

<b>Processor</b>	Intel Celeron 400 MHz, SDRAM 256 Mbyte
<b>Mass Storage</b>	512 MB Solid State Primary Storage

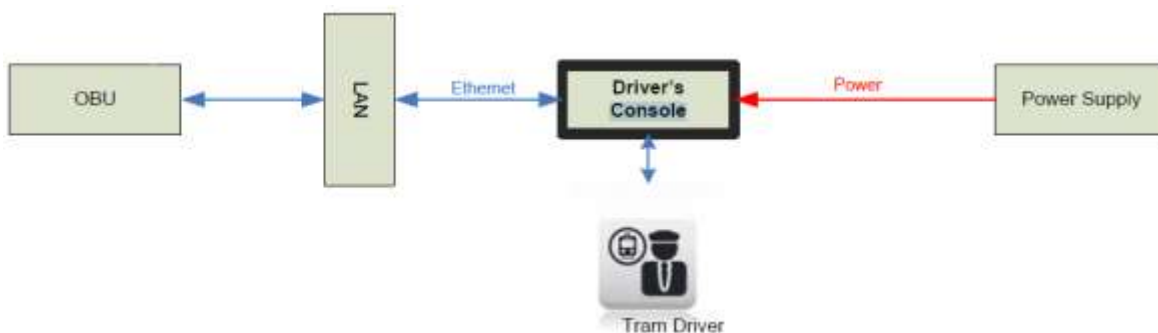
<b>Interfaces on multipolar connectors</b>	Power In: 24.0 VDC n° 8 Digital In coming from carrier board n° 5 Digital Out coming from carrier board n° 1 USB 2.0 port (for maintenance) n° 1 RS232/422/485 9 wires serial port (from CPU) n° 2 10/100 Ethernet port n° 4 Signals for IBIS Master interface +15VDC to power vehicle's odometer
<b>Maintenance connectors</b>	I2C port for status monitor and debug DB-15 pin VGA Analog Video Output Keyboard and mouse Reset Button
<b>Physical Interface</b>	10/100 Base-T Ethernet RS232 Serial interface IBIS interface I/Os
<b>Dimensions</b>	129 mm Width (W) x 83 mm Height (H) x 255 mm Length (L)
<b>Weight</b>	Below 3Kg
<b>Power supply</b>	9 VDC to 36 VDC. Nominal voltage is 24 VDC 30W
<b>Temperature</b>	The climatic requirements are referred to the temperature class T3 defined in EN 50155, - Low operating temperature: -25 °C - High operating temperature: +70 °C, 10 minutes @ 85 °C
<b>Standards</b>	EN 50155 EN 50121 EN 60950 EC1907/2006 EN45545-2

### 3.3. CONSOLA

Como se pode observar na Figura 11, as consolas têm as seguintes *interfaces* [5]:

- Alimentação: 24 VDC;

- *Interface LAN: comunicação ethernet entre as consolas e a rede ethernet do veículo.*



**Figura 11** Interface da consola do condutor [5].

A Tabela 7 e a Tabela 8 enumeram as especificações do OC no projeto de Nottingham e de Bergen/Odense, respetivamente:

**Tabela 7** Especificações da consola de Nottingham [6].

<b>CPU</b>	CPU GEODE GX1 266 MHz 128 MB de SDRAM on board 32 MB IDE Flash disk Programmable Watchdog Real time clock
<b>MMI</b>	Touch screen TFT 5.7". 320 X 240 colour pixels Luminosity - 200 cd/m2. Automatic luminosity control. Horizontal view angle 65° ( $\theta = 65^\circ$ con $\Phi = 0^\circ$ o $\Phi = 180^\circ$ ) Vertical view angle 50° to 70° ( $\theta = 50^\circ$ con $\Phi = 270^\circ$ ; $\theta = 70^\circ$ con $\Phi = 90^\circ$ )
<b>Interfaces</b>	1X serial RS 232/485 - DB9 male 1X Interface RS232 - DB9 male 2X USB-1 for maintenance 1X Ethernet Interface 10/100 Mbit - M12 connector
<b>Environmental conditions</b>	Temperature: -25 à 55 °C Protection degree: front panel Ingress Protection 65 (IPxx); remaining box IP30. Humidity: 0% à +95% non-condensation

<b>Environmental conditions</b>	Homologations: CE certification under standards EN 50155:2001 + EN 50155/A1:2002 MTBF (h) 34000 and MTTR (h) 0.20
---------------------------------	--

**Tabela 8** Especificações da consola de Bergen/Odense [7].

<b>CPU</b>	CPU Freescale i.MX6Solo
<b>Memory</b>	Main Memory: DDR3L, memory down, up to 4 GB On Board Flash: Memory down, up to 64 GB On Board Flash Expansion: micro Secure Digital (microSD) slot, up to 64 GB
<b>Display Characteristics</b>	5.7" LCD TFT 640 x 480 Luminance - 280 cd/m2 typical Touch screen Display integrated 4-wire Resistive
<b>Physical Interface</b>	Communication ports: - 1 x Ethernet 10/100BaseT interface - Connector type M12 D code Maintenance ports: - USB: 1x USB 2.0 on Type-A receptacle connector - Serial: 1x RS232 - 2 wire - on DB9 M connector
<b>Dimensions</b>	106 mm (W) x 230 mm (H) x 78 mm (L)
<b>Temperature</b>	-25 °C/+70 °C (+85 °C for 10 minutes, EN50155 category T3);
<b>Environment relative humidity</b>	0% to 95% non-condensing
<b>Standards</b>	EN 50155
<b>Operating Systems supported</b>	Linux
<b>Processor availability</b>	AMD Geode GX 466, 333 MHz

### 3.4. WIFI

As *interfaces* entre o AVLS OCC e a WLAN funcionam da seguinte maneira [6]:

- Depósito: troca de dados no depósito entre OCC e a componente embarcada.

- AVLS – OCC WLAN e WLAN pública: nesta infraestrutura são criadas 2 redes WLAN segregadas, uma para o acesso dos passageiros / *Infotainment* na linha e outra para o acesso AVLS no depósito.

A solução WLAN da componente embarcada é composta por [4]:

- 1x AP, com os seguintes recursos:
  - Rádio de 5 GHz para estabelecer comunicações veículo-terra;
  - Rádio de 2,4 GHz para permitir o acesso da *internet* a passageiros e serviços de terceiros;
  - Recursos de roteamento para encaminhar tráfego, implementar medidas de segurança local (*firewall*) e controlo de modelagem de tráfego.
- 1x AP, com os seguintes recursos:
  - Rádio de 2,4 GHz para permitir o acesso da *internet* aos passageiros;
  - Operações de manutenção.
- 1x AP, com os seguintes recursos:
  - Conexão de dados *ethernet* ao AVLS OC;
  - *Uplink* de 2,4 GHz do veículo para a infraestrutura da WLAN do depósito;
  - Recursos de roteamento e *firewall*.

Os serviços WLAN para fornecer acesso à internet para os passageiros foi apenas realizado no projeto de Bergen pois trata-se de um requisito do cliente.

A Tabela 9 e a Tabela 10 enumeram as especificações dos APs no projeto de Nottingham e de Bergen/Odense, respetivamente:

**Tabela 9** Especificações do AP - Nottingham [2].

<b>Radio protocol</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11 <sup>a</sup> /b/h/n WLAN interface as per IEEE802.11n, up to 450 Mbit/s gross bandwidth
<b>Ethernet</b>	RJ45 LAN combo-port: 10/100/1000BASE-TX, 1000BASE-SX/LX
<b>Power supply/signalling contact</b>	1x terminal block, 2-pin; 1x terminal block, 2-pin

<b>USB interface</b>	1x USB to connect the Autoconfiguration Adapter ACA21-USB
<b>Antenna connector</b>	Reverse SMA socket, 3x MiMo antenna connectors
<b>Range</b>	Depends of type of antenna, frequency range and data rate
<b>Frequency band</b>	Supports 2.4 GHz and 5 GHz: 2400 -2483.5 MHz (ISM) and 5170 - 5850 MHz
<b>Modulation</b>	22M0F7D (DSSS/OFDM) at 2.4 GHz 20M0G7D (OFDM) at 5 GHz
<b>Encryption</b>	IEEE 802.11i/WPA2 with passphrase or 802.1x and hardware-accelerated AES, closed network, WEP64, WEP128, WEP152, user authentication, 802.1x/EAP, LEPS, WPA1/TKIP.
<b>Operating voltage</b>	Voltage range 1: 24 VDC (19.2-32 VDC); Voltage Range 2: 24 VDC (19.2-32 VDC)
<b>Current consumption</b>	9 W
<b>Dimensions</b>	120 mm x 136 mm x 115 mm (WxHxL)
<b>Mounting</b>	DIN Rail
<b>Protection class</b>	IP30
<b>Safety</b>	EN 60950-1
<b>Radio</b>	R EN 300328 (2.4 GHz), EN 301893 (5 GHz); EN 301489-1, EN 301489-17

**Tabela 10** Especificações dos AP – Bergen/Odense [4].

<b>Physical Characteristics</b>	Housing	IP30, metal case
	Installation	DIN-Rail
	Dimensions	120.6 x 145 x 120.8 mm
	Weight	1.5 kg
	Colour	Gray/Blue
<b>Interfaces</b>	RJ45 Port (x2)	10/100/1000BaseT(X) auto negotiation speed, F/H duplex mode, and auto MDI/MDI-X connection
	RF Ports	3x Reverse SMA
<b>Protocols</b>	Standards	IEEE 802.11a/b/g/n for Wireless LAN IEEE 802.11i for Wireless Security IEEE 802.3 for 10BaseT - IEEE802.3u for 100BaseTX IEEE 802.3ab for 1000BaseT IEEE 802.1Q VLAN

<b>Protocols</b>	General Protocols	Proxy Address Resolution Protocol (ARP), Domain Name System (DNS), Hypertext Transfer Protocol (HTTP), Hyper Text Transfer Protocol Secure (HTTPS), IP, Internet Control Message Protocol (ICMP), Simple Network Time Protocol (SNTP), Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP), Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS), Simple Network Management Protocol (SNMP), Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE), Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
<b>Power</b>	Input Voltage	24 VDC (according EN50155)
	Consumption	12.9 W
	Connection	2-pin removable terminal block
	Power output	44.19 BTU (IT)/h
<b>Environmental</b>	Operating Temperature	-40 to 70 °C
	Storage Temperature	-40 to 85 °C
	Relative Humidity	10 to 95% (non-condensing)
	IP rate	IP 30
<b>Regulatory Approvals</b>	Radio	EN 300 328, EN 301 893, EN 301 489-1 EN 301 489-17, EN 302 502
	Stability Vibration and Shock	International Electrotechnical Commission (IEC) 60068-2-6 Test FC test level according to IEC 61131-2 IEC 60068-2-27 Test Ea test level in accordance with IEC 61131-2, EN 50155
	EMC	EN 61000-4-2, EN 61000-4-3, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, EN 61000-4-6, EN 61000-4-9, EN 55022 Class B, FCC 47 CFR Part 15 Class A
	Rail Traffic	EN 50155

### 3.5. TETRA

Comunicações de voz e troca de dados entre o OCC AVLS e o equipamento da componente embarcada é feita através da rede de rádio TETRA.

O AVLS usa dados em pacotes como modo normal de troca de dados (dados de localização do veículo). O serviço SDS é usado para trocar dados de localização do veículo quando um canal de rádio está a ser utilizado para funções de voz sem prejudicar o rastreamento preciso do veículo no AVLS [16].

No projeto de Nottingham o rádio utilizado foi o rádio RTP-200, como se pode verificar na Figura 12. O modelo de rádio RTP-200 foi descontinuado e o próximo passo foi implementar a nova versão, o RTP-300 (Figura 13) nos projetos de Bergen e de Odense.



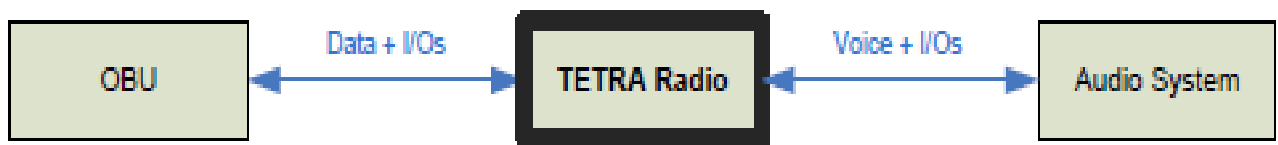
**Figura 12** Rádio TETRA RTP-200 [2].



**Figura 13** Rádio TETRA – RTP-300 [5].

A *Interface* com o rádio TETRA (Figura 14) é usada para controlo de rádio em termos de troca de informação com o Timekeeper e comunicações por voz [16]:

- O AVLS usa dados em pacotes como modo normal de troca de dados. O serviço SDS é usado para trocar dados de localização do veículo quando um canal de rádio está sendo usado para funções de voz sem prejudicar o rastreamento preciso do veículo no AVLS;
- O rádio TETRA do veículo interage diretamente com o OCC para troca de dados e com o sistema de áudio integrado para a comunicação de voz;
- A *interface* entre o rádio TETRA e o OCC é gerida através de uma ligação série RS232.



**Figura 14** Interface rádio TETRA [16].

A Tabela 11 e a Tabela 12 contêm as especificações dos rádios TETRA utilizados no projeto de Nottingham e de Bergen/Odense, respetivamente.

**Tabela 11** Especificações RTP-200 [2].

<b>Power supply</b>	16.8/30 VDC Consumption 125 W (less than 5A @ 24 V)
<b>Environmental condition</b>	Working temperature range: -20 °C to +70 °C Storage temperature range: -40 °C to +85 °C Humidity: 5% to 95% Relative Humidity Non-Condensing: <95% @ 40 °C IP30 MTBF (h) 50110 and MTTR (h) 0.09
<b>Homologations</b>	Safety of electronic devices: EN 60950:2000 ETSI radio standard: ETSI EN 300 394-1 v.2.3.1 (2001-04) ETSI EMC standard: ETSI EN 301 489-018 v.1.3.1 (2002-08) Railways standard: EN 50155:2001; EN 50155/Corr 2003; EN 50155/A1 2004 Railways standard: EN 50121-1:2000; EN 50121-3-2:2000

**Tabela 12** Especificações do rádio RTP-300 [5].

<b>Manufacturer</b>	RTP-300
<b>Model</b>	TELTRONIC
<b>General characteristics</b>	Ground connection in front panel All audio interfaces are 600 $\Omega$ / 0 dBm 6 digital Inputs and 6 digital outputs
<b>RF general characteristics</b>	Frequency range: 380 – 430 MHz Transmitter power class: 2 (10 W) Receiver class: A Receiver static sensitivity: -112 dBm Receiver dynamic sensitivity: -103 dBm
<b>Input / output interfaces</b>	COM: one to choose between: RS-232/RS-422/RS-485 Antenna port Maintenance interfaces: MANT: USB 2.0 Type B, F-400: DE-15 female Audio & I/O: DIN male connector (48 pins) Power supply Grounding Ethernet: M12 connector LEDS: 6 LEDS for showing RTP-300 status
<b>Electrical characteristics</b>	Internal power converter: <ul style="list-style-type: none"> <li>- +24 VDC (from 16.8 to 30 VDC)</li> </ul> Consumption: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimum: 15 W</li> <li>- Maximum: 100 W</li> </ul> I/O interface: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inputs: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Opto-coupled inputs</li> <li>▪ Input impedance: 13 k<math>\Omega</math></li> <li>▪ Maximum power: 3 W</li> </ul> </li> <li>- Outputs: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Outputs with potential free contact</li> <li>▪ Maximum output current: 1 A</li> </ul> </li> </ul>

<b>Environmental characteristics</b>	Operating temperature: T3 class, EN 50 155 Storage temperature: -40 °C to +80 °C Humidity: EN 50155 Altitude: EN 50155
<b>Mechanical characteristics</b>	Dimensions: 132 mm (H) x 196.3 mm (W) x 288.8 mm (L) Weight: 5800 g

### 3.6. ***BEACON READER***

*Interface* com o transponder da componente embarcada e odómetro para:

- Obter a informação da posição e calcular a posição absoluta do veículo na linha. Esta posição é enviada em tempo real via TETRA para o Timekeeper no nível OCC;
- Enviar o sinal de libertação de portas para as RTPS TAGs instaladas nas passagens. Este sinal é emulado pelo OC ao obter o sinal de portas libertadas do MPU.

Na Tabela 13 e na Tabela 14, são apresentadas as especificações do *transponder* e da *tag*, respetivamente.

**Tabela 13** Especificações do *transponder* [7].

<b>Manufacturer</b>	BALOGH
<b>Model</b>	MOL81/422
<b>Nominal range</b>	800 mm
<b>Recommended range (with OMR80 TAG)</b>	Min: 100 mm; Max: 600 mm
<b>Length of transmission area</b>	Min: 800 mm
<b>Emission frequency</b>	125 kHz
<b>Reception frequency</b>	6.78 MHz
<b>Reading time</b>	1.02 ms
<b>DC power supply, ripple included</b>	Min: 16.8 V; Nominal: 24 V; Max: 30 V
<b>Power Consumption @ 24 V</b>	600 mA (Max: 1000 mA)
<b>Protection against reverse polarity</b>	Protected
<b>RS422 serial link Data rate</b>	9600 to 19200 bps
<b>RS422 Line impedance (internal matching)</b>	120 Ω
<b>RS422 Accidental connections to other pins</b>	Protected

<b>High level output “TAG presence” voltage @ I=10 mA, @ I=100 mA</b>	2V, 4V
<b>High impedance output leakage current</b>	500 $\mu$ A
<b>Continuous output current</b>	100 mA
<b>Short-circuits of the load</b>	Protected
<b>High level output “Emission 125kHz” voltage</b>	21 V at 10 mA, 15 V at 50 mA
<b>Low level output voltage</b>	0.5 V (maximum)
<b>Continuous output current</b>	50 mA
<b>Short-circuits of the load</b>	Protected
<b>Insulation voltage between each group</b>	500 V <sub>eff</sub> (minimum)
<b>Insulation voltage between each group@500V</b>	10 M $\Omega$ (minimum)
<b>Operating Temperature</b>	-25 to 70 °C
<b>Storage Temperature</b>	-40 to 85 °C
<b>Protection index</b>	IP67
<b>Electromagnetic compatibility</b>	EN 50121-3-2 & EN 50121-4
<b>Shocks and vibrations according to EN 50155</b>	Installation on bogies or sleepers
<b>Fire and smoke according to EN 60950-1</b>	Conform
<b>Railway environment according to EN 50155</b>	Conform
<b>Dimensions</b>	103.5 mm (L) x 250 mm (W) x 67.5 mm (H)
<b>Weight</b>	2400 g
<b>Coating</b>	Polyurethane
<b>Enclosure material</b>	PA6 (polyamide 6)

**Tabela 14** Especificações da tag [7].

<b>Manufacturer</b>	BALOGH
<b>Model</b>	OMR80
<b>Carrier frequency</b>	6.78MHz
<b>Memory</b>	EEPROM
<b>Memory capacity</b>	2 bytes
<b>Reading time</b>	1.7 ms
<b>Time delay before availability</b>	5 ms
<b>Number of reading</b>	Unlimited
<b>Data retention</b>	10 years

<b>Operating Temperature</b>	-25 to 70 °C
<b>Storage Temperature</b>	-40 to 85 °C
<b>Protection index</b>	IP67
<b>Electromagnetic compatibility</b>	EN 50121-3-2 & EN 50121-4
<b>Shocks and vibrations</b>	NF F05-510, EN 50155
<b>Flammability grade</b>	NF F16 101
<b>Dimensions</b>	80.6mm (L) x 235 (W) x 40.5 mm (H)
<b>Weight</b>	1200 g
<b>Coating</b>	Polyurethane
<b>Enclosure material</b>	PA6 (polyamide 6)

### 3.7. CONVERSOR IBIS

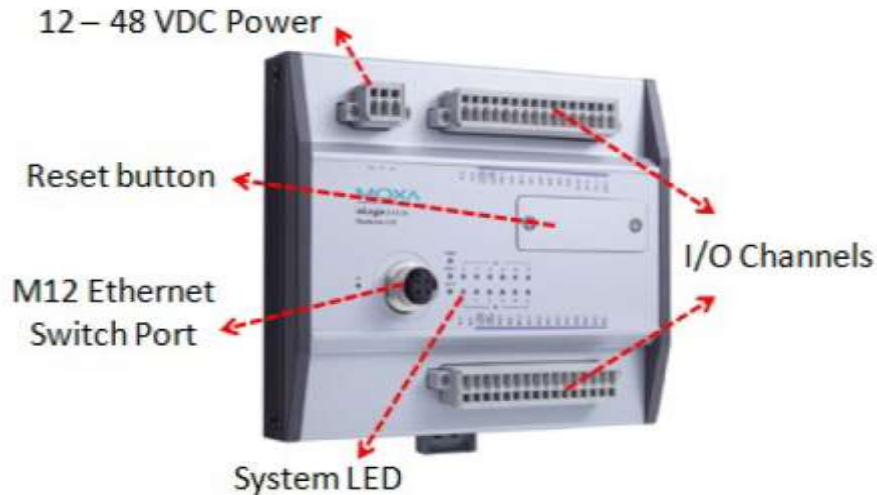
Como referido no ponto 2.1.2 o conversor IBIS (Figura 15) é utilizado para fazer a *interface* com o barramento (BUS) IBIS existente na TRAM do INCENTRO, ou seja, para realizar a comunicação para os ecrãs internos e externos (OC -> IBIS -> Displays). Tem 3 portas, uma para a fonte de alimentação, outra para a *interface* com a TRAM IBIS bus e uma porta de comunicação RS232 para comunicar com o computador AVLS.



**Figura 15** Conversor IBIS [3].

### 3.8. **CONVERSOR *ETHERNET***

Como referido no subcapítulo 2.1.2 foram utilizados dois conversores *ethernet* (Figura 16), um de entradas e saídas digitais (cabine 1 - ioLogik E1512--M12-CT-T) e outro só de entradas digitais (cabine 2 - ioLogik E1510-M12-CT-T).



**Figura 16** Conversor *ethernet* I/O [3].

Na Tabela 15, são apresentadas as especificações dos conversores de *ethernet*.

**Tabela 15** Especificações dos conversores de *ethernet* [3].

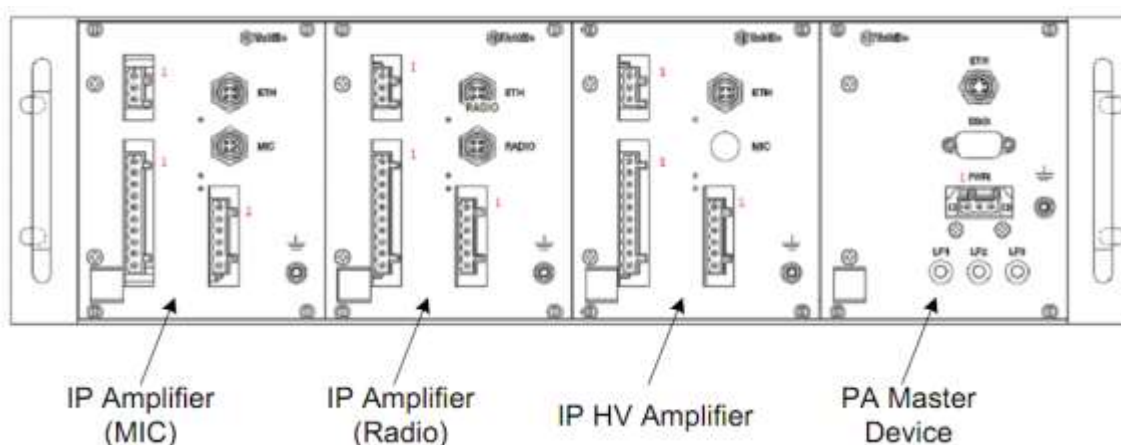
<b>Input/Output Interface</b>	
Digital Input Channels	ioLogik E1510-M12-T: 12; ioLogik E1512-M12-T: 4
Configurable DIO Channels	ioLogik E1512-M12-T: 4
Isolation	3 kVDC or 2 kVrms
Buttons	Reset button
<b>Digital Inputs</b>	
Connector	Spring-type Euroblock terminal
Counter Frequency	250 Hz
Digital Filtering Time Interval	Software configurable
Dry Contact	On: short to GND Off: open
I/O Mode	DI or event counter
Points per COM	2 channels
Sensor Type	Dry contact Wet Contact (NPN or PNP)
Wet Contact (DI to GND)	On: 10 to 30 VDC Off: 0 to 3 VDC

<b>Digital Outputs</b>	
Connector	Spring-type Euroblock terminal
Current Rating	200 mA per channel
I/O Mode	DO or pulse output
I/O Type	Sink
Over-Current Protection	0.65 A per channel @ 25 °C
Over-Temperature Shutdown	175 °C (typical), 150 °C (min.)
Over-Voltage Protection	35 VDC
Pulse Output Frequency	500 Hz
<b>Ethernet Interface</b>	
10/100BaseT(X) Ports	1
Magnetic Isolation Protection	1.5 kV (built-in)
<b>Ethernet Software Features</b>	
Configuration Options	Web Console (HTTP), Windows Utility
Industrial Protocols	Modbus TCP Server (Slave), Moxa AOPC, MXIO Library
Management	BOOTP, DHCP Client, HTTP, IPv4, TCP/IP, UDP
<b>Power Parameters</b>	
Input Voltage	12 to 48 VDC
Power Consumption	150 mA @ 24 VDC
<b>Environmental Limits</b>	
Operating Temperature	-40 to 85 °C (-40 to 185 °F)
Ambient Relative Humidity	5 to 95% (non-condensing)
<b>Standards and Certifications</b>	
EMC	EN 61000-6-2/-6-4
Electromagnetic Interference (EMI)	CISPR 32, FCC Part 15B Class A
Electromagnetic Susceptibility (EMS)	IEC 61000-4-2 ESD: Contact: 8 kV; Air: 15 kV IEC 61000-4-3 RS: 80 MHz to 1 GHz: 10 V/m IEC 61000-4-4 EFT: Power: 2 kV; Signal: 2 kV IEC 61000-4-5 Surge: Power: 2 kV; Signal: 2 kV IEC 61000-4-6 CS: 10 V IEC 61000-4-8 PFMF
Railway	EN 50121-4, EN 50155
Shock	IEC 60068-2-27

Standards and Certifications	
Vibration	IEC 60068-2-6
Safety	UL 508

### 3.9. RACK DE ÁUDIO

Em Bergen e Odense existiu a necessidade de instalação de uma *rack* de áudio. Todo o material circulante é fornecido com equipamento de áudio da componente embarcada específica, cujo objetivo principal é gerir as comunicações e anúncios de áudio de e para os passageiros. Além disso, a solução de áudio é responsável por guardar e gerir as I/O do veículo, incluindo a *interface* com os botões do painel. Na Figura 17 mostram-se as *interfaces* da *rack* de áudio.



**Figura 17** Rack de áudio [7].

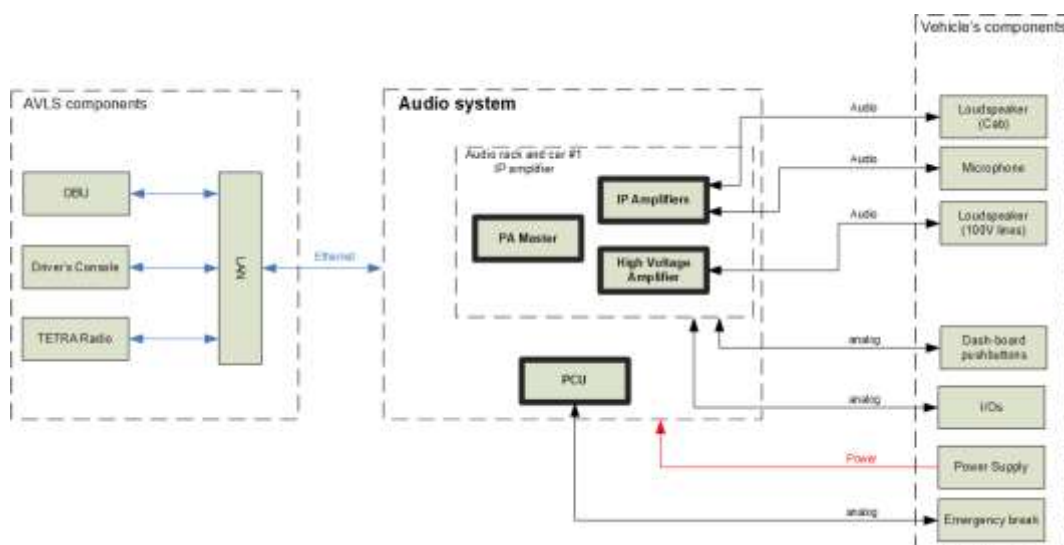
Assim sendo, nos veículos da Stadler são instalados os seguintes equipamentos de áudio:

- 1 x *rack* de áudio composto por [7]:
  - 1 dispositivo *PA master* - responsável pela *interface* e pela gestão do áudio do sistema;
  - 1 x amplificador de alta tensão - responsável por conduzir o áudio de linhas de 100V do veículo conectadas a colunas de anúncio público;
  - 2 x amplificadores IP - responsável pelas comunicações de áudio na cabine nº2 do condutor;

- 1 x amplificador IP - responsável pelas comunicações de áudio na cabine nº1 do condutor.
- 5 x PCUs - para estabelecer comunicação entre passageiros e condutor (passageiros e OCC também estão disponíveis). Uma chamada é iniciada quando:
  - um passageiro pressiona o botão de chamada;
  - o travão de emergência do veículo é ativado.

Como se verifica na Figura 18, cada componente de áudio fornece um conjunto de *interfaces*.

- Amplificadores IP fornecem *interface* direta com [7]:
  - Rádio TETRA referente a comunicações de áudio com o OCC;
  - Microfones e colunas na cabine do condutor;
  - I/O do veículo;
  - Botões do painel.
- Amplificador de alta tensão fornece *interface* direta com:
  - linhas de 100 V;
  - I/O do veículo;
  - Botões do painel.
- A PCU fornece *interface* direta com os passageiros e o travão de emergência do veículo.



**Figura 18** Interfaces do sistema de áudio [7].

### 3.10. APC

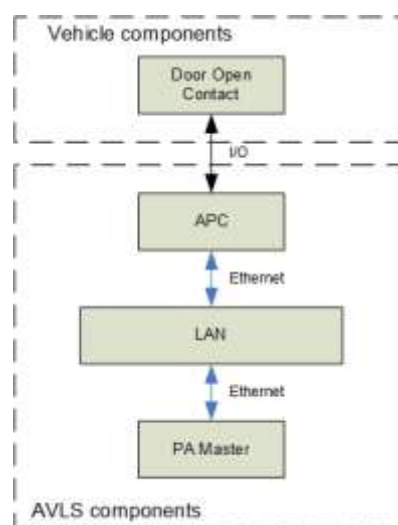
Um sistema APC (Figura 19) foi instalado em Bergen na componente embarcada do material circulante como referido no ponto 2.1.3. O sistema APC deve [17]:

- Fornecer dados de contagem de passageiros de cada porta, relacionados a:
  - Passageiros que embarcam;
  - Passageiros que desembarcam;
- Ser classificado para serviço contínuo e fornecer uma taxa de precisão de 95%;
- *Interface* com o sistema AVLS para:
  - Correlacionar informações de localização de *tags* com as paragens;
  - Transmitir dados do veículo para a OCC.



**Figura 19** Ilustração de um APC [17].

A Figura 20 apresenta um diagrama das *interfaces* entre o APC e o equipamento da componente embarcada.



**Figura 20** *Interfaces* APC [17].

Na Tabela 16, são apresentadas as especificações dos APCs instalados na componente embarcada.

**Tabela 16** Especificações dos APCs [17].

<b>General</b>	
<b>Product name</b>	Automatic Passenger Counter
<b>Product code</b>	F01826 (PoE Power Supply), F01844 (24 Vdc Power Supply)
<b>Standard compliance</b>	EN 50155, EN 50121-3-2, EN 45545-2:2015+A1:2015, EN 50125-1
<b>Mechanical</b>	
<b>Enclosure</b>	Rugged aluminium
<b>Dimensions</b>	140 x 98 x 35 (W x H x L) mm
<b>Weight</b>	0.38 kg
<b>Ingress protection</b>	DIN IEC 60529 (IP65)
<b>Environmental</b>	
<b>Operating temperature</b>	Class T3 EN 50155
<b>Storage temperature</b>	-40 °C + 85 °C
<b>Operating humidity</b>	EN50125-1 <=75% R.H. annual average, 95%... 100%, short time maximum 30 g/m <sup>3</sup>
<b>Hardware</b>	
<b>CPU</b>	Dual-core processor
<b>Memory</b>	512 Mbyte Random Access Memory (RAM)
<b>Storage</b>	8 Gbyte non-volatile memory
<b>Interface</b>	
<b>Network Port</b>	100 Mbit/s Ethernet
<b>Digital inputs</b>	2 programmable digital inputs
<b>Digital outputs</b>	1 programmable digital output
<b>ID</b>	4 code jumpers allowing distinction of 16 different configurations by writing
<b>USB</b>	Optional 2.0 port
<b>Protocol</b>	4 code jumpers allowing distinction of 16 different configurations by writing
<b>Optical data</b>	
<b>Image resolution</b>	640 px x 480 px, colour

<b>Optics</b>	Fixed focus, aperture 1.8, focal length 2.6mm
<b>Optical data</b>	
<b>Viewing angle</b>	Ca. 110° (horizontal)
<b>Light intensity</b>	3 ... 30,000 Lux (HDR)
<b>Base distance of cameras</b>	90 mm
<b>Accuracy</b>	> 98%
<b>Reliability</b>	
<b>MTBF</b>	500.000h

### 3.11. ODENSE-BERGEN

Na Tabela 17, é apresentada uma comparação entre o projeto de Odense e Bergen a nível dos equipamentos da componente embarcada e das suas ligações.

**Tabela 17** Comparação de Odense e Bergen.

<b>Odense</b>		<b>Bergen</b>	
<b>Equipamento</b>	<b>Destino de ligação</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Destino de ligação</b>
<b>OC</b>	Odómetro	<b>OC</b>	Odómetro
	Rádio TETRA		Rádio TETRA
	IBIS		IBIS
	<i>Ethernet Switch</i>		<i>Ethernet Switch</i>
	--		AP
<b>Rádio TETRA</b>	OC	<b>Rádio TETRA</b>	OC
	Antena TETRA		Antena TETRA
	PA rack		Pa rack
	<i>Ethernet Switch</i>		--
<b>AP</b>	<i>Ethernet Switch</i>	<b>AP</b>	OC
	--		Antena 2,4 Ghz
	--		AP
			Antena 2,4 Ghz
			AP
			Antena 2,4 Ghz
			Antena 5 Ghz

<b>Odense</b>		<b>Bergen</b>	
<b>Consola</b>	<i>Ethernet Switch</i>	<b>Consola</b>	<i>Ethernet Switch</i>
<b>PCU</b>	Travão de emergência	<b>PCU</b>	Travão de emergência
	<i>Ethernet Switch</i>		<i>Ethernet Switch</i>
<b>Odómetro</b>	OC	<b>Odómetro</b>	OC
<b>PA rack</b>	Colunas	<b>PA rack</b>	Colunas
	Rádio TETRA		Rádio TETRA
	I/O, Microfones, etc		I/O, Microfones, etc
	<i>Ethernet Switch</i>		<i>Ethernet Switch</i>
<b>Transponder</b>	<i>Ethernet/Serial</i>	<b>Transponder</b>	<i>Ethernet/Serial</i>
<b>Ethernet/Serial</b>	<i>Ethernet Switch</i>	<b>Ethernet/Serial</b>	<i>Ethernet Switch</i>
	UIB 2x		<i>Transponder 2x</i>
	<i>Transponder</i>		--
<b>Amplificador IP</b>	<i>Ethernet Switch</i>	<b>Amplificador IP</b>	<i>Ethernet Switch</i>
	I/O, Microfones, etc		I/O, Microfones, etc
<b>Ethernet Switch</b>	PCU <i>Ethernet/Serial</i>	<b>Ethernet Switch</b>	APCS
	PCU Consola VCU Amplificador IP		PCU OC Consola PA rack
	PCU		PCU
	AP OC Rádio TETRA Consola		APCs <i>Ethernet/Serial</i>
	PA rack PCU <i>Ethernet/Serial</i>		APCs <i>Ethernet/Serial</i>
	--		APCs PCU Consola

Odense		Bergen	
			Amplificador IP
<i>Ethernet Switch</i>	--	<i>Ethernet Switch</i>	VCU
<b>APCs</b>	--	<b>APCs</b>	<i>Ethernet Switch</i>

Como se pode verificar na Tabela 17 e ao longo do capítulo 3, existe uma solução base que é replicada em todos os projetos, mas especificidades de cada contrato e de cada cliente obrigam a que a solução sofra alguns ajustes de projeto para projeto.

No próximo capítulo é abordada a tecnologia de informação no contexto dos transportes públicos, ou seja, a interoperabilidade entre sistemas em diversos níveis.

# 4. INTEROPERABILIDADE

Neste capítulo é abordada a *Information Technology for Public Transport (ITxPT)*. Esta define a interoperabilidade entre os diferentes sistemas em 3 níveis: a nível de hardware, a nível de protocolo de instalação e a nível de serviço.

## 4.1. ITxPT

A ITxPT permite a interoperabilidade entre os sistemas informáticos nos transportes públicos, oferecendo especificações públicas da arquitetura informática baseadas em normas com *interfaces* para sistemas informáticos a bordo, *over-the-air* e *back-office* [18].

A ITxPT é uma organização sem fins lucrativos, aberta a empresas e organizações com interesse em desenvolver os transportes públicos, tornando-os em meios de viagem mais eficientes, sustentáveis e atraentes. A missão da Associação ITxPT é permitir a interoperabilidade entre os sistemas informáticos nos transportes públicos, oferecendo a especificação pública de uma arquitetura de tecnologias de informação (TI) baseada em normas com *interfaces* abertas para sistemas informáticos a bordo, *over-the-air* e *back-office* [19].

### 4.1.1. MEMBROS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Na Tabela 18 são apresentadas as especificações técnicas da ITxPT (S01, S02, S03 e S04) e na Figura 21 os seus membros.

**Tabela 18** Especificações técnicas ITxPT [20].

<b>S01 - Installation Requirements</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Power Supply Interface;</li><li>– Fleet Management System (FMS) Interface;</li><li>– Other Interfaces (audio, antenna, wireless, etc);</li><li>– IP network;</li><li>– Space;</li></ul>
--	---

<b>S01 - Installation Requirements</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On-board IP;</li> <li>- Harness.</li> </ul>
<b>S02 - On-board</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protocols DNS and MQ Telemetry Transport (MQTT);</li> <li>- 1 Module Inventory;</li> <li>- 2 Time service;</li> <li>- 3 Global Navigation Satellite System (GNSS) Location;</li> <li>- 4 FMStoIP;</li> <li>- 5 VEHICLEtoIP;</li> <li>- 6 AVLS;</li> <li>- 7 APC;</li> <li>- 8 Multi application driver terminal (MADT);</li> <li>- 9 MQTT Broker.</li> </ul>
<b>S03 - Back-Office</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Architecture;</li> <li>- TRANSMODEL;</li> <li>- NeTEx (Network Timetable Exchange);</li> <li>- SIRI (Service Interface for Real-time Information);</li> <li>- OJP (Open Journey Planning);</li> <li>- TiGR (Telediagnostic for Intelligent Garage in Realtime).</li> </ul>
<b>S04 - Over-the-air (OTA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MQTT bridge OTA;</li> <li>- Protocol buffers;</li> <li>- European Bus System of the Future (EBSF);</li> <li>- Real Time Information Group (RTIG).</li> </ul>



**Figura 21**      Membros ITxPT [21].

#### 4.1.2. ARQUITETURA

Na arquitetura ITxPT, o projeto EBSF [22] definiu um conjunto de necessidades das principais partes interessadas: viajantes, operadores e autoridades, para sistemas de autocarros inovadores em áreas urbanas e suburbanas utilizando novas tecnologias para veículos e infraestruturas.

A arquitetura ITxPT descreve um conjunto de serviços e a forma como estes serviços interagem ou trocam informações utilizando uma rede IP de forma a satisfazer essas necessidades.

Os serviços são descritos focando-se em aplicações de transporte público como AVLS, *Dynamic Passenger Information* (DPI) e *Remote Diagnosis*, definindo serviços como:

- *Gateway* do veículo;
- AVLS;
- MADT;
- DPI;
- FMS *interface* para a ponte IP;
- Pré-diagnóstico;
- Integração AVLS;
- Integração DPI.

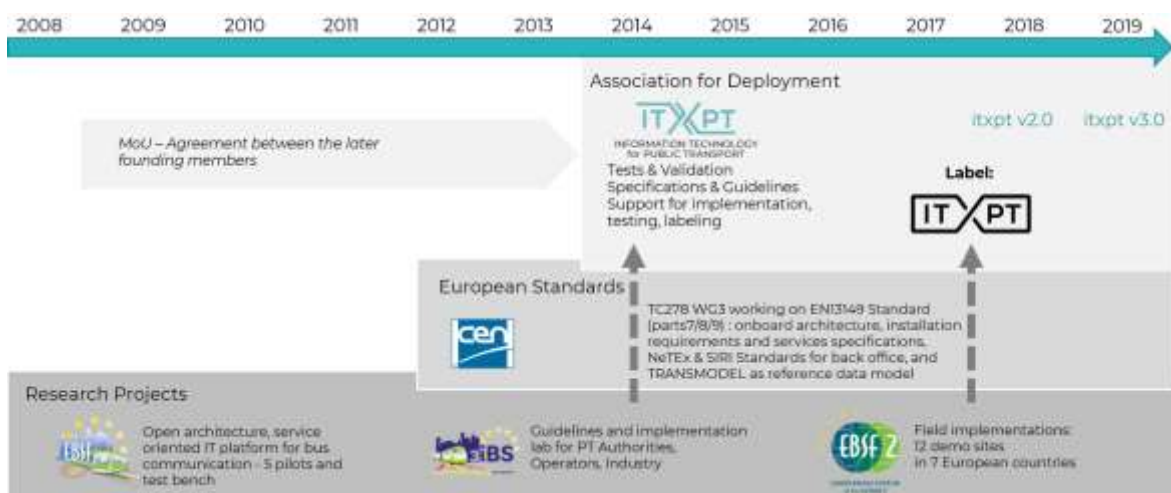
Os serviços iTxPT foram agrupados em três componentes:

- Componente do veículo;
- Componente *Back-office* e veículo – Comunicação de *back-office*;
- Componente da interoperabilidade de *back-office*.

A arquitetura ITxPT é uma arquitetura lógica e orientada para o serviço. Consequentemente, permite múltiplas possibilidades de arquiteturas físicas onde cada dispositivo pode fornecer um ou mais serviços [19].

O selo ITxPT é oferecido como prova de conformidade para qualquer veículo, software ou equipamento que tenha passado nos testes de conformidade. Este pode ser adquirido por qualquer fornecedor, não necessariamente um membro ITxPT e pode ser facilmente solicitado através do ITxPT. O selo serve para garantir o cumprimento das normas e especificações, isto porque estas podem estar sujeitas a interpretação. Uma única norma pode resultar em várias implementações, existindo o risco de não cumprir a interoperabilidade. Pretende-se, desta forma, limitar o risco durante a fase de integração, evitar a auto-conformidade e, por fim, confiar num terceiro de confiança [20].

Como indicado na Figura 22, já foi publicado um conjunto de normas de TI para aplicações em transportes públicos no âmbito do grupo CEN (TC 278 WG3), a nível de *back-office* como a TRANSMODEL, a SIRI e a NeTEx, e a nível de embarcado com a recente TS13149 parte 7/8/9 com base nos resultados do projeto EBSF [19].



**Figura 22** Projetos de pesquisa europeus e atividades de normalização.

#### 4.2. TRANSMODEL

Os serviços de transporte público dependem cada vez mais dos sistemas de informação para garantir um funcionamento fiável, eficiente e uma informação amplamente acessível e precisa dos passageiros. Estes sistemas são utilizados para uma série de propósitos específicos: definição de horários, gestão de frotas de veículos, emissão de bilhetes e recibos, fornecimento de informações em tempo real sobre o funcionamento do serviço e outros.

A norma Transmodel (alcança para *European Standard “Public Transport”*) fornece uma *framework* para a definição e o acordo dos modelos de dados e abrange toda a área das operações de transporte público. Ao utilizar esta norma europeia, e os modelos de dados dela derivados, é possível que operadores, autoridades e fornecedores de software trabalhem em conjunto muito mais facilmente no sentido de sistemas integrados. Além disso, a amplitude da norma contribui para garantir que a evolução dos futuros sistemas possa ser acomodada com o mínimo de dificuldade.

A norma Transmodel é o modelo europeu de dados de referência para os transportes públicos e constitui uma oferta às empresas de transportes públicos e outros prestadores de serviços relacionados com o processo de transporte de passageiros (planeamento, operação e informação), aos fornecedores de produtos de software que apoiam estes processos, bem como a consultores e outros peritos que atuam no domínio dos transportes públicos [24].

O modelo de dados de referência, desenvolvido a nível conceptual, pode apoiar o desenvolvimento de aplicações de software, a sua interação ou combinação num sistema de informação integrado, bem como a organização e gestão da informação do sistema que rege a utilização do ambiente telemático existente numa empresa que executa aplicações informáticas que apoiem as diferentes áreas funcionais dos transportes públicos [24].

A norma Transmodel pode ser aplicada a qualquer *framework* para os sistemas de informação no sector dos transportes públicos, mas existem três circunstâncias para as quais é particularmente adequada:

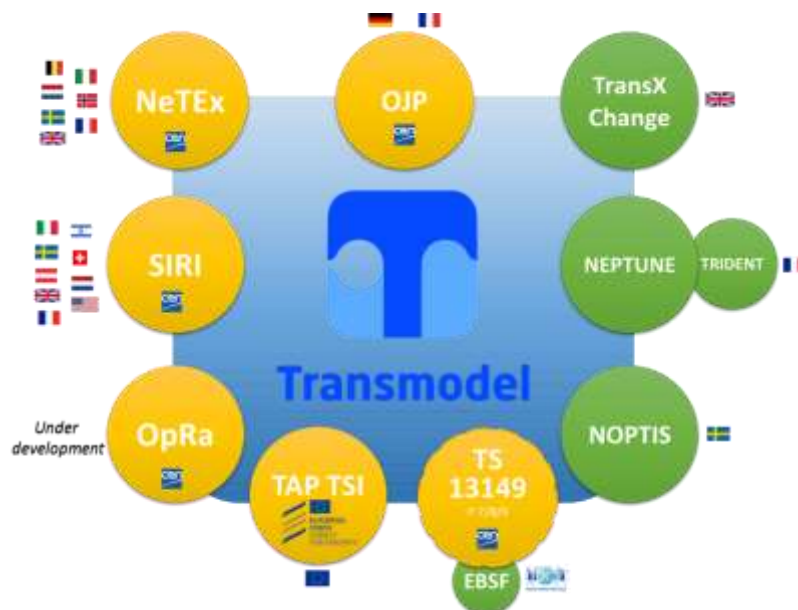
- Especificação de uma “arquitetura da informação” de uma organização;
- Especificação de uma base de dados;
- Especificação de uma *interface* de troca de dados.

Assim, o modelo de dados de referência abrange os seguintes domínios de dados:

- Descrição da rede: rotas, linhas, padrões de viagem, padrões de tempo, padrões de serviço, pontos de paragem programados e locais de paragem;

- Informações de tempo e agendamento de veículos: tempos de execução, viagens de veículos, horários diurnos relacionados com o tipo de veículos;
- Informações sobre passageiros: planeadas e em tempo real;
- Monitorização e controlo de operações: dados relacionados com o dia, acompanhamento de veículos e ações de controlo;
- Gestão de tarifas: estrutura tarifária e definição de direitos de acesso, vendas, validação, controlo dos direitos de acesso e/ou documentos de viagem;
- Informações e estatísticas de gestão, incluindo dados dedicados aos indicadores de desempenho do serviço [24].

SIRI e NeTEEx são dois dos principais formatos de troca de dados padronizados no que diz respeito à implementação da norma Transmodel, como se pode verificar na Figura 23. Estes projetos têm usado submodelos da Transmodel para gerar modelos físicos e em *eXtensible Markup Language* (XML).



**Figura 23** Submodelos da Transmodel [24].

#### 4.2.1. NETEX

NeTEEx é uma norma técnica CEN para a troca de horários de transportes públicos e dados relacionados [25].

Divide-se em três partes, cada uma cobrindo um subconjunto funcional da CEN Transmodel para informação sobre transportes públicos:

- A parte 1 descreve a topologia da Rede de Transportes Públicos (CEN/TS 16614-1:2014);
- A parte 2 descreve horários programados (CEN/TS 16614-2:2014);
- A parte 3 abrange a informação sobre tarifas (CEN/TS 16614-3:2015).

A NeTEx baseia-se num formato XML de finalidade geral concebido para a troca eficiente e atualizada de dados de transporte complexos entre sistemas distribuídos. Isto permite que os dados sejam utilizados nas arquiteturas modernas de serviços *web* e para apoiar uma vasta gama de informações de passageiros e aplicações operacionais.

Embora existam uma série de normas disponíveis para os horários, a NeTEx é a primeira norma sistematicamente concebida que abrange também as tarifas multimodais.

As três partes abrangidas pela NeTEx utilizam o mesmo quadro de componentes reutilizáveis, mecanismos de versão, condições de validade, mecanismos de identificação global, etc. A NeTEx também inclui elementos de contentores chamados "quadros de versão" para agrupar dados em conjuntos coerentes para uma troca eficiente [26].

A NeTEx pode assim ser utilizada para a troca de:

- Horários dos transportes públicos, incluindo paragens, rotas, horários, notas operacionais e coordenadas de mapas;
- Rotas com topologias complexas como rotas circulares, e trabalhos complexos como padrões de trabalho curtos e rápidos;
- Os dias em que os serviços funcionam, incluindo a disponibilidade em feriados públicos e outras exceções;
- Informação sobre os operadores que prestam o serviço;
- Informações operacionais adicionais, incluindo garagens, paragens, equipas de serviço;
- Dados sobre a acessibilidade dos serviços a passageiros com mobilidade restrita;

- Produtos de tarifa (bilhetes individuais, bilhetes de ida e volta, passes de dia e época, etc).

Os documentos em formato NeTEx são ficheiros informáticos que podem ser trocados por uma grande variedade de protocolos (HTTP, email, meios portáteis, etc). Os documentos de publicação NeTEx podem ser utilizados para definir ficheiros adequados para a troca de documentos XML que representam conjuntos de dados inteiros (por exemplo, todos os horários de um operador). Além disso, um protocolo NeTEx baseado em SIRI é especificado para uso por serviços *web online*. Este define mensagens de pedido e resposta NeTEx que podem ser usadas para solicitar e devolver dados em formato NeTEx, e também publicar mensagens para distribuição de impulsos. As respostas devolvem um documento NeTEx XML que satisfaz os critérios do pedido. Existe uma ligação *Web Services Description Language* (WSDL) para este serviço NeTEx para facilitar a implementação de serviços.

O NeTEx XML permite a serialização dos modelos de transportes públicos complexos em um formato de arquivo plano padrão que pode ser processado de forma barata e eficiente usando tecnologias modernas.

#### **4.2.1.1. NO CONTEXTO DOS TRANSPORTES**

A NeTEx foi desenvolvida sob a orientação do *Comité Européen de Normalisation* (CEN) e é a fase de desenvolvimento mais recente em mais de quinze anos de trabalho para sistematizar e harmonizar os dados europeus de informação sobre os passageiros.

O trabalho baseia-se numa série de normas nacionais existentes, tais como VDV452 (Alemanha), NePTUNE (França), TransXChange (Reino Unido), e aplica princípios sistemáticos da arquitetura da informação para construir modelos flexíveis que separam corretamente as diferentes preocupações de representação e gestão de dados. A fundação é o padrão CEN Transmodel, um modelo conceptual com uma ontologia associada e que representa conceitos de informação de transportes públicos para um vasto conjunto de áreas funcionais, podendo ser usado para comparar e entender diferentes modelos [27].

Os resultados dos projetos de modelos Transmodel foram previamente utilizados tanto para sustentar uma série de normas de dados concretas CEN, como o CEN SIRI. SIRI é uma norma técnica CEN que especifica uma norma europeia de *interface* para o intercâmbio de informações sobre o desempenho planeado, atual ou projetado das operações de transporte público em tempo real entre diferentes sistemas informáticos [28].

#### **4.2.1.2. NO CONTEXTO DO CORPO DE NORMALIZAÇÃO DO CEN**

O corpo de normalização do CEN Europeu divide o seu trabalho em comissões que abrangem diferentes aspetos da indústria e da tecnologia, com um processo bem definido e formatos de documentação.

#### **4.2.2. SIRI**

Como referido no capítulo 4.2.1.1, SIRI é uma norma técnica CEN e esta é dividida em cinco partes, cada uma em conformidade com a Transmodel CEN:

- Parte 1: Contexto e enquadramento (CEN/TS 15531-1:2015);
- Parte 2: Infraestrutura de comunicações (CEN/TS 15531-2:2015);
- Parte 3: *Interfaces* funcionais de serviço (CEN TS/15531-3:2015);
- Parte 4: *Interfaces* funcionais de serviço: Monitorização de instalações (CEN/TS 15531-4:2011);
- Parte 5: *Interfaces* de serviço funcionais – Permuta de Situações (CEN/TS 15531-05:2016).

A SIRI permite que os pares de computadores de servidores troquem informações estruturadas em tempo real sobre horários, veículos e ligações, juntamente com mensagens informativas gerais relacionadas com o funcionamento dos serviços. A informação pode ser usada para muitos fins diferentes, por exemplo:

- Para fornecer uma saída em tempo real da informação de paragem para exibição em paragens e sistemas de *internet*;
- Para fornecer informações sobre progressos em tempo real de veículos individuais;

- Para gerir a circulação de autocarros que circulam entre áreas abrangidas por diferentes servidores;
- Para gerir a sincronização das ligações garantidas entre os serviços de *fetcher* e *feeder*;
- Para trocar atualizações de horários planeadas e em tempo real;
- Para distribuir mensagens de estado sobre o funcionamento dos serviços;
- Para fornecer informações de desempenho ao histórico operacional e outros sistemas de gestão [28].

Já existem alguns casos de integração do protocolo SIRI, do âmbito do ITxPT, no produto da EFACEC.

Em resposta à solicitação do cliente de partilha dos dados do SAO para aplicações de outras entidades, a EFACEC implementou este protocolo que está ativo em vários projetos. A informação partilhada é não só de localização do veículo, mas também relativa ao serviço realizado, de que estação acabou de sair, a próxima estação do serviço e a quanto tempo se encontra desta, o destino final da viagem e a hora de chegada prevista, e outros.

A evolução do sistema atual no sentido de se aproximar dos requisitos do ITxPT pode permitir a aproximação a um mercado que cada vez mais pede esta conformidade.

No próximo capítulo, são revistas as possibilidades existentes, a nível de equipamentos, para a melhoria dos atuais sistemas oferecidos pela EFACEC aos seus clientes, sempre tendo em conta a sua conformidade com as normas de interoperabilidade.

# 5. EVOLUÇÃO E INTEROPERABILIDADE

Na área dos transportes, como em todas as restantes áreas técnicas, existe uma constante evolução a nível dos equipamentos, algo que a EFACEC tem de acompanhar e responder, propondo novos e mais sofisticados sistemas que respondem às diferentes necessidades dos seus clientes, confrontada com um mercado cada vez mais concorrencial. Com base em todo o estudo anterior, neste capítulo são descritas as possibilidades de evolução do sistema atual a nível da componente embarcada, com ênfase nas consolas e nos computadores de bordo.

## 5.1. CONSOLAS

À medida que os sistemas de transporte se tornam mais complexos, os controlos dos operadores devem ser mais fáceis de compreender e utilizar, a fim de reduzir o risco de erro humano.

Um MMI engloba todos os elementos que uma pessoa tocará, verá, ouvirá ou utilizará para interagir com uma máquina. Como outras tecnologias, esta continua a evoluir e para continuar a melhorar o produto/serviço para os clientes é necessária uma evolução por parte das empresas.

Como referido no subcapítulo 2.3.2, a consola atual encontra-se desatualizada e o seu software é baseado no Microsoft Windows CE 5.0. Assim, foi necessário realizar um estudo de mercado para descobrir os avanços que esta tecnologia sofreu ao longo dos anos e por esta via encontrar uma consola alternativa que se enquadre no sistema para eventualmente substituir a atual.

Para encontrar uma alternativa à consola atual foi preciso fazer um estudo de várias empresas que produzem consolas para a indústria ferroviária, mais conhecidas por “*Railway Panel PC*”. Neste estudo levou-se em consideração empresas recomendadas pela EFACEC e empresas que atualmente possuem soluções e produtos na indústria ferroviária, e por fim reduziu-se às empresas que tinham o produto mais próximo do desejável. Estas empresas que se destacaram foram a Advantech, Axiomtek, Adlink, Winmate, Pixy, Lex, iBASE e MOXA.

A seleção de uma consola depende de um processo exigente que incorpore todos os requisitos técnicos, ergonómicos e de comunicação. O impacto da MMI é muito mais significativo do que a sua funcionalidade básica. Os componentes e sistemas MMI são o principal ponto de contacto entre o utilizador e uma máquina. Assim, é necessário verificar se os produtos das empresas escolhidas cumprem os seguintes pontos:

- Cumprir as normas especificadas no subcapítulo 2.4;
- Possuir dimensões que tornem possíveis a sua implementação, pois o espaço destinado à consola é limitado;
- Possuir um SO moderno e compatível com as principais exigências do mercado atual;
- Possuir as *interfaces* físicas necessárias (ver subcapítulo 3.3).

Ou seja, pretende-se uma consola com um sistema operativo atual, com um ecrã com cerca de 5,7 polegadas com luz de fundo de alta luminosidade, que possa permitir que um condutor de veículo leia facilmente quaisquer mensagens de estado operacional, mesmo sob luz solar direta, e um *design* que facilite a utilização e manutenção. As partes eletrónicas dentro da consola devem estar perfeitamente protegidas de condições de funcionamento severas para poder resistir a altas vibrações, poeira, elevado nível de humidade e temperaturas, ou seja, conforme as normas referidas anteriormente.

Após analisar diversos produtos para descobrir os que mais se adequavam ao pretendido, destacam-se as consolas apresentadas nos subcapítulos seguintes.

### 5.1.1. LEX - SUPER 7" PPC

A consola da Figura 24 possui um ecrã tátil de 7", com 225 x 166 x 66 mm (WxHxL) de dimensões. A nível de SO contém o Windows 10 *Internet of Things* (IoT).



**Figura 24** Consola da Lex, SUPER 7" PPC [29].

Esta consola é um bom exemplo de uma consola que à primeira vista apresenta todos os requisitos necessários (incluindo a norma ferroviária EN 50155), mas, após uma análise mais aprofundada, verifica-se que o material utilizado na sua carcaça é de plástico ABS, o que significa que tem um ponto de fusão baixo, tornando esta consola inadequada para aplicações de alta temperatura, não cumprindo assim as normas europeias de fumo e fogo.

### 5.1.2. PIXY - SIP-32.xx:

A consola da Figura 25 apresenta um ecrã tátil de 6,5", com 192 x 133 x 62 mm (WxHxL) de dimensões. Relativamente ao SO contém o PIXY Linux.



**Figura 25** Consola da Pixy, SIP-32.xx [30].

A nível de *interfaces* possui duas entradas *Ethernet*, uma USB, uma CAN, uma de áudio e por fim, uma de alimentação de 24 VDC. Em termos de normas, possui EN 50155, EN 50121-3-2 e EN61373.

Esta consola tem todos os requisitos necessários, mas quer esta consola quer algumas das posteriores possuem botões de função fixos, solução que atualmente não é usada pelo software da EFACEC.

#### 5.1.3. **ADVANTECH - ITA-8100:**

A consola da Figura 26 apresenta um ecrã tátil de 10,4", com 310 x 214 x 70 mm (WxHxL) de dimensões. Em termos de SO existem 2 opções, o Linux e o Windows 10.



**Figura 26** Consola Advantech, ITA-8100 [31].

A consola em termos de *interfaces* possui duas entradas *ethernet*, uma USB, duas RS-422/485, uma de áudio e por fim, uma de alimentação de 24 VDC. No que diz respeito às normas, possui EN 50155:2017, EN 50121-3-2, EN 50121-4, IEC 60571, EN 45545-2.

A consola Advantech ITA-8100 é uma consola que cumpre todos os requisitos pretendidos, apresentando como único senão um ecrã de 10,4", o que a torna numa consola com maiores dimensões do que se deseja.

#### 5.1.4. **AXIOMTEK - GOT710-837:**

A consola da Figura 27 apresenta um ecrã tátil de 10,4", com 310 x 216 x 65 mm (WxHxL) de dimensões. No que diz respeito ao SO possui o Windows 10 IoT.

A consola a nível de *interfaces* tem duas entradas *ethernet*, uma USB, duas RS-232/422/485, uma DB9, um bloco com 6 entradas e 2 saídas digitais, uma de áudio e por fim, uma de alimentação de 24 VDC. No que diz respeito às normas, possui EN 50155 e EN 45545.



**Figura 27** Consola da Axiomtek, GOT710-837 [32].

A consola da Axiomtek encontra-se exatamente na mesma situação que a consola da Advantech, pois apresenta também um ecrã de 10,4” mas cumpre os restantes requisitos necessários.

#### 5.1.5. **ADLINK - DMI-1040:**

A consola da Figura 28 tem um ecrã tátil de 10,4”, com 300 x 250 x 80 mm (WxHxL) de dimensões. Em termos de SO contém o Linux 16.04.



**Figura 28** Consola da Adlink, DMI-1040 [33].

A consola em termos de *interfaces* contém três entradas *ethernet*, duas USB, uma RS-232 e outra RS-422, uma de áudio e por fim, uma de alimentação de 24 VDC. No que diz respeito às normas, possui EN 50155, EN 50153, EN 50124-1, EN 45545-2, EN 50121, EN 61000 e EN 61373.

Esta consola, apesar de cumprir todas as normas necessárias, excede as dimensões pretendidas, tais como algumas consolas anteriormente referidas.

#### 5.1.6. WINMATE - R10IB3S-VMP1:

A consola da Figura 29 dispõe de um ecrã tátil de 10,4", com 315 x 250 x 67 mm (WxHxL) de dimensões. Em termos de SO possui o Windows 10 IoT Enterprise.



**Figura 29** Consola Winmate, R10IB3S-VMP1 [33].

A consola em termos de *interfaces* contém duas entradas *ethernet*, duas USB, uma HDMI, uma RS-232/422/485 e outra RS-232, uma de áudio e por fim, uma de alimentação de 24 VDC. No que diz respeito às normas, possui EN 50155.

Devido à dificuldade encontrada na busca de uma consola com as dimensões necessárias no mercado atual, ou seja, de uma consola com um ecrã de cerca de 5,7", existe a possibilidade de colocar uma consola de 10,4" mas com um suporte para a tornar compatível com o espaço existente na componente embarcada.

## 5.2. OC

Um OC é essencialmente qualquer computador especializado que seja implementado como parte de um dispositivo maior, sistema inteligente ou instalação. Estes vêm numa infinita variedade de formas e tamanhos, desde os pequenos dispositivos baseados em *Advanced RISC Machines (ARM)* que equipam os *smartphones* de hoje, até soluções tudo-em-um. Também estão a desempenhar um papel fundamental na evolução da IoT permitindo as ligações entre máquinas, pessoas, lugares e a *cloud*.

Como referido no subcapítulo 2.3.1, o software do OC atual é suportado no Microsoft Windows CE 5.0 e o seu hardware é especialmente desenvolvido para aplicações

ferroviárias, ou seja, encontra-se na mesma situação da consola. Assim, foi necessário realizar outro estudo de mercado para descobrir os avanços que esta tecnologia sofreu ao longo dos anos e por esta via encontrar um OC alternativo que se enquadre no sistema para eventualmente substituir o atual.

Para encontrar uma alternativa ao OC atual foi preciso fazer um estudo de várias empresas que produzem OCs para a indústria ferroviária, mais conhecidos pela designação “Box PC”, “Gateway”, “Controller”, “Industrial PC”, entre outras. Neste estudo levou-se em consideração empresas recomendadas pela EFACEC e empresas que atualmente possuem soluções e produtos na indústria ferroviária, e, por fim, reduziu-se às empresas que tinham o produto mais próximo dos requisitos necessários. As empresas que se destacaram foram a Eurotech, Axiomtek, Syslogic, Kontron, Sintrones e MOXA.

A seleção de um OC depende de um processo exigente que incorpore todos os requisitos técnicos, ergonómicos e de comunicação. Assim, é necessário verificar se os produtos das empresas escolhidas cumprem os seguintes pontos:

- Cumprir as normas especificadas no subcapítulo 2.4;
- Possuir um hardware que cumpra as exigências da solução atual e adaptável a possíveis alterações;
- Possuir um SO compatível com as principais exigências do mercado atual e com possibilidade de evoluir no futuro;
- Possuir as *interfaces* físicas necessárias para a solução (ver capítulo 3.2).

Para o SO existe a escolha entre Windows e Linux. Ambos têm prós e contras e, portanto, tem de se considerar o tipo de aplicação e como será usado.

O Linux é um sistema de baixo custo, embora alguns componentes tenham pequenas taxas de distribuição. Além disso, também cobre quaisquer *upgrades* ou adaptações que sejam construídas a partir do código fonte Linux, pelo que estão disponíveis sem custos também. O Windows tem de ter uma licença para cada dispositivo, o que por vezes implica um custo inicial significativo. Neste caso, o preço de uma licença Windows em comparação ao preço do equipamento é apenas ligeiramente significativo, mas é algo a ter em consideração.

Tirar o máximo partido da tecnologia incorporada do Linux requer um envolvimento constante com a comunidade Linux. Haverá novidades que poderão melhorar o sistema incorporado, mas estas não funcionam da mesma forma que uma atualização do Windows. Assim, é necessário estar ativamente comprometido para descobrir o que está disponível e como tirar o melhor uso dele, ou seja, é necessário ter uma equipa de desenvolvimento experiente com o Linux ou ter tempo para investir no crescimento do seu conhecimento à medida que avança, utilizando assim mais recursos da empresa.

Após analisar diversos produtos para descobrir os que mais se adequavam ao pretendido, destacam-se os computadores de bordo descritos nas secções seguintes.

### 5.2.1. **EUROTECH - BOLTGATE 20-25**

A Figura 30 apresenta o OC BoltGATE 20-25 da Eurotech. Este oferece conectividade integrada de hardware e software para a *Cloud* e *Field*. Trata-se de um IoT *Edge Gateway* de múltiplos serviços, com certificado EN50155 e IP66, projetado para enfrentar os desafios das próximas gerações de aplicações para transporte inteligente e ferrovia conectada.

O BoltGATE 20-25 é uma unidade compacta e sem ventilador, baseada no processador Intel® Atom™ E38xx com até quatro núcleos, 4GB de RAM e 8GB de *Embedded MultiMediaCard* (eMMC) e que excede os requisitos do material circulante na classe de temperatura TX. Suporta até dois discos *Serial Advanced Technology Attachment* (SATA) internos ou removíveis e possui uma ranhura microSD, acessível ao utilizador, proporcionando assim muita capacidade de armazenamento. Usufri também de outras funcionalidades como vídeo, áudio, duas portas USB 2.0 protegidas, quatro *interfaces* série isoladas, *interfaces* de I/O digitais e *interfaces* de CAN bus. Uma ampla gama de capacidades de conectividade, incluindo duas entradas *ethernet*, um *cellular modem Long Term Evolution* (LTE) Cat 4, Wi-Fi, *Bluetooth Low Energy* (BLE) e um *Global Positioning System* (GPS) interno dedicado com *Dead Reckoning*.

A nível de software, existe a possibilidade de utilizar um SO moderno, o Windows 10 IoT Enterprise ou a versão de Linux Eurotech Everyware.



**Figura 30** Computador de bordo da Eurotech, BoltGATE 20-25 [35].

A Tabela 19 apresenta as especificações do OC da Eurotech, BoltGATE 20-25.

**Tabela 19** Especificações do OC da Eurotech, BoltGATE 20-25 [35].

<b>PROCESSOR</b>	
<b>CPU</b>	- E3845, 1.91 GHz, Quad Core; - E3827, 1.75 GHz, Dual Core; - E3815, 1.46 GHz, Single Core.
<b>MEMORY</b>	
<b>RAM</b>	Up to 4 GB 1333 MHz (DDR3L-ECC)
<b>STORAGE</b>	
<b>Embedded</b>	8 GB eMMC – Optional mSATA Module
<b>Drive Bay</b>	1x Removable Drive Bay for up to 2x 2.5” Drives (with Key Lock)
<b>Other</b>	1x microSD Slot (Service Panel)
<b>I/O INTERFACES</b>	
<b>Ethernet</b>	2x 10/100/1000 Mbps, M12 X-coded Connector
<b>USB</b>	2x USB 2.0 Noise and Surge Protected, 1x USB 2.0 (Service Panel)
<b>Serial</b>	2x RS-232/422/485 (9-wire) Isolated, 2x RS-485/RS-422 (5-wire), 1x TTL Console
<b>CAN 2.0B</b>	2x CAN bus 100 mA with 5 V Power Out, Isolated
<b>Digital I/O</b>	4x Digital Input, 4x Digital Output, 1x Odometer, 1x Ignition Key, 24V
<b>Video</b>	1x Micro High-Definition Multimedia Interface (HDMI) – Optional: 1x HDMI
<b>Audio</b>	1x Line IN, 1x 2 W Class D Stereo OUT – Factory Option: 1x Stereo Mic In, 1x Line OUT

<b>EXPANSION</b>	
<b>Mini Peripheral Component Interconnect express (PCIe) Slots</b>	3x Full/Half-Size Mini PCIe Slots (USB/mSATA, USB/PCIe, USB)
<b>RADIO INTERFACES</b>	
<b>Cellular</b>	1x LTE Cat 4 Modem
<b>GPS</b>	GPS/QZSS/GLONASS/BeiDou/Galileo with Dead Reckoning
<b>Wi-Fi / BT</b>	802.11 a/b/g/n, BLE 4.0
<b>Antennas (External)</b>	2x SMA Cellular, 2x RSMA Wi-Fi/BT, 1x SMA GPS
<b>OTHER</b>	
<b>RTC</b>	Yes, with SuperCAP (up up 2 Months Retain)
<b>Ext. Watchdog</b>	Yes
<b>EEPROM</b>	32 KB
<b>Trusted Platform Module (TPM)</b>	Factory Option: TPM 1.2/2.0
<b>Sensors</b>	Temperature, Accelerometer
<b>LEDs</b>	1x Power, 3x Activity (MiniPCIe Slots), 2x Programmable
<b>Buttons</b>	1x Reset, 1x Programmable (Service Panel)
<b>SIM Slot</b>	2x Single SIM, Switchable for Bandwidth Aggregation and Carrier/Cellular Backup (Service Panel)
<b>POWER</b>	
<b>Input</b>	9 - 137.5 VDC Wide Input Range, EN50155 Class S2 for 24VDC and 110VDC Nominal Voltage Inputs
<b>Consumption</b>	15 W Typ, 30 W Max
<b>ENVIRONMENT</b>	
<b>Operating Temp.</b>	TX according to EN50155 (-40 to +70 °C, -40 to +85 °C for 10 Minutes)
<b>Storage Temp.</b>	- 40 to +85 °C
<b>CERTIFICATIONS</b>	
<b>Regulatory</b>	CE
<b>Safety</b>	EN 62368
<b>Vertical</b>	EN 50155, EN 45545 (Fire and Smoke)

<b>Environmental</b>	RoHS2, REACH
<b>CERTIFICATIONS</b>	
<b>Wi-Fi / BT Radio</b>	CE (RED)
<b>Cellular Radio</b>	CE (RED)
<b>Ingress</b>	IP66
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Enclosure</b>	Material: Aluminium - Color: Black Anodized
<b>Dimensions</b>	268 x 141 x 85 mm (LxWxH) – With Connectors
<b>Weight</b>	3.7 kg
<b>SOFTWARE</b>	
<b>OS</b>	Eurotech Everyware Linux or Windows 10 IoT Enterprise
<b>SDK</b>	Yocto-based Eclipse Tooling, Azul Java
<b>IoT Framework</b>	Everyware Software Framework (Java/OSGi)

### 5.2.2. SYSLOGIC - RML COMPACT 81

A Figura 31 apresenta o OC RML Compact 81 da Syslogic, um sistema embarcado sem ventilador com um processador Intel Atom E3845 de quatro núcleos e 1.91 GHz, e com opção de escolha do SO, entre o Windows 10 IoT Enterprise, Linux Debian 7.0/8.0/9.0 e Linux Ubuntu 16.04.

O RML Compact 81 cumpre a norma EN 50155, classe TX. Além disso, o OC oferece uma ponte de falha de energia de até 10 milissegundos de acordo com a EN 50155, classe S2, bem como o cumprimento completo da norma EN 61373 no que diz respeito a choques e vibrações, EMC e requisitos de isolamento elétrico. Além disso, cumpre a norma de proteção contra incêndios para veículos ferroviários de acordo com a EN 45545.



**Figura 31** Computador de bordo da Syslogic, RML Compact 81 [36].

A Tabela 20 apresenta as especificações do OC da Syslogic, RML Compact 81.

**Tabela 20** Especificações do OC da Syslogic, RML Compact 81 [36].

<b>PROCESSOR</b>	
<b>CPU</b>	Intel® Atom™ E3845 1.91 GHz 64-bit - Quad Core
<b>MEMORY</b>	
<b>L2 cache</b>	1 MB
<b>DDR3 RAM</b>	4 GB
<b>CFast memory card</b>	128 GB
<b>COMMUNICATION INTERFACES</b>	
<b>DisplayPort</b>	Up to 2560 x 1600 px
<b>USB</b>	1x USB 2.0, 1x USB 3.0
<b>Ethernet</b>	1x 10/100 Mbit (I210-IT), 1x 10/100 Mbit (I210-IT) with 24 V, 500 mA Power
<b>Serial</b>	1x RS232 ESD protected, 1x RS422/485 ESD protected and galv. isolated
<b>CAN</b>	2x passive CAN (SJA1000 compatible, listen only) ESD protected, isolated
<b>Digital input</b>	3x 24/110 VDC isolated
<b>Counter input</b>	1x 24 V, 32 bit 1 kHz isolated
<b>Analog input</b>	2x 0-30 VDC accuracy ±2%
<b>EXPANSION</b>	
<b>MiniPCIe Slots</b>	1x Mini PCIe socket
<b>RADIO INTERFACES</b>	
<b>Cellular</b>	1x LTE Cellular Module with dual SIM Support
<b>GPS</b>	1x Positioning Wireless Module
<b>Wi-Fi / BT</b>	1x Bluetooth v4.0 with Bluetooth low energy
<b>OTHER</b>	
<b>RTC</b>	Yes, with SuperCAP (up up 2 Months Retain)
<b>Ext. Watchdog</b>	Yes
<b>TPM</b>	TPM 2.0
<b>Sensors</b>	Temperature
<b>POWER</b>	
<b>Input</b>	16.8 - 137.5 VDC Wide Input Range, EN 50155 Class S2 for 24 VDC and 110 VDC Nominal Voltage Inputs

<b>Consumption</b>	15 W Typ.
<b>ENVIRONMENT</b>	
<b>Operating Temp.</b>	-40 to +70 °C
<b>Storage Temp.</b>	-40 to +85 °C
<b>CERTIFICATIONS</b>	
<b>Shock</b>	EN 60068-2-27 / EN 61373
<b>Vibration</b>	EN 60068-2-64 / EN 61373
<b>EMI-Conformity</b>	EN -50121-3-2
<b>Safety</b>	EN 62368-1
<b>Fire protection</b>	DIN EN 45545-2
<b>Radio and Telecommunication</b>	CE (RED)
<b>MTBF</b>	100 000 h
<b>Ingress</b>	IP40
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Dimensions</b>	278 x 155 x 80 mm (LxWxH)
<b>Weight</b>	2.25 kg
<b>SOFTWARE</b>	
<b>OS</b>	Windows 10 IoT Enterprise, Linux Debian 7.0/8.0/9.0, Linux Ubuntu 16.04

### 5.2.3. **KONTRON - TRACE-B40x-TR**

Na Figura 32 é exibido o OC TRACe B40x-TR da Kontron. Trata-se de um computador ferroviário sem ventoinhas, conforme à norma EN50155, especificamente concebido para aplicações de material circulante onde são solicitadas elevadas capacidades de processamento, baixo consumo, robustez e pequena dimensão para corresponder aos requisitos do sistema. O Kontron TRACe B40x-TR é robusto e compacto, proporcionando elevado desempenho e elevada fiabilidade em ambientes ferroviários exigentes.

O seu *design* modular permite alternativas de configuração específicas capazes de corresponder aos requisitos do sistema, ou seja, possui a escolha entre 5 processadores diferentes e dependendo dessa mesma escolha, proporciona a sua variante do sistema de memória e do controlador gráfico.

O SO que se encontra pré-instalado no OC é o Linux Fedora, mas existe a possibilidade da instalação do Windows 10 IoT Enterprise.



**Figura 32** Computador de bordo da Kontron, TRAcE-B40x-TR [37].

A Tabela 21 apresenta as especificações do OC da Kontron, TRAcE-B40x-TR.

**Tabela 21** Especificações do OC da Kontron, TRAcE-B40x-TR [37].

<b>PROCESSOR</b>	
<b>CPU</b>	Intel Atom® x5-E3940 quad-core @ 1.6 GHz, 2 MByte L2 Cache Intel Atom® x5-E3930 dual-core @ 1.3 GHz, 2 MByte L2 Cache Intel Atom® x7-E3950 quad-core @ 1.6 GHz, 2 MByte L2 Cache Intel® Core™ i7-6600U dual-core @ 2.6 GHz, 4 MByte SmartCache Intel® Core™ i3-6100U dual-core @ 2.3 GHz, 3 MByte SmartCache
<b>MEMORY</b>	
<b>System memory</b>	8 GByte DDR4 memory-down for Core™ i7/i3 variants, 8 GByte DDR3L for Intel Atom® E39xx variants
<b>Storage flash</b>	32 GByte SLC eMMC soldered Flash
<b>GRAPHICS CONTROLLER</b>	
<b>Graphic Interface</b>	Integrated Intel® HD Graphics 520, Display Port / 4096x2304 @ 60 Hz for Core™ i7/i3 variants Integrated Intel® HD Graphics 500, Display Port / 4096x2304 @ 60 Hz for Intel Atom® E3930 and E3940 Integrated Intel® HD Graphics 505, Display Port / 4096x2304 @ 60 Hz for Intel Atom® E3950
<b>OPERATIONAL PLATE</b>	
<b>Power ethernet</b>	1x DC-IN on M12 A-coded connector 2x Ethernet 10/100/1000 Mb/s
<b>LEDs</b>	1x Power LED, 4x User LEDs

<b>MAINTENANCE PLATE</b>	
<b>Serial Port</b>	1 Serial Port
<b>USB</b>	1x USB 3.0/2.0, 1x USB 2.0
<b>Display</b>	1 Display Port
<b>LEDs</b>	2 User Leds, 1 Power Led, 1 Alarm Led, 1 Sys Led
<b>POWER SUPPLY</b>	
<b>Input</b>	Input Voltage Ultra-Wide Range 24 - 110 VDC (Class S2-C1, 10ms interruption)
<b>EXTENSIONS</b>	
<b>PCIe</b>	3x Mini PCIe sockets (USB 2.0, PCIe or USB 3.0 available)
<b>Cellular</b>	2x SIM card holders
<b>ENVIRONMENT</b>	
<b>Operating Temp.</b>	-40 °C up to +70 °C +10 min@ 85 °C EN50155 Class OT4 S1
<b>Storage Temp.</b>	-40 °C up to 85 °C
<b>CERTIFICATIONS</b>	
<b>Standards Approval</b>	EN 50155, EN 45545-2, CE, FCC part 15 class A
<b>Ingress</b>	IP50 (default). Optional IP54 or IP65
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Dimensions</b>	300 x 190 x 87mm (WxLxH)
<b>Weight</b>	2.25 kg
<b>SOFTWARE</b>	
<b>OS</b>	Pre-installed Linux Fedora (default), Windows 10 IoT Enterprise LTSC

#### 5.2.4. AXIOMTEK - tBOX324-894-FL

Na Figura 33 é apresentado o OC tBOX324-894-FL da Axiomtek, um sistema embarcado sem ventilador com a opção de escolha entre processadores Intel Core i7/i5/i3 e Celeron de 7ª/6ª geração, permitindo alternativas de configuração específicas capazes de corresponder aos requisitos do sistema.

Caso seja escolhido este equipamento, será necessário adicionar um modulo de I/O digitais devido a só ter capacidade para 4 entradas e 4 saídas digitais.

A nível de software existe a possibilidade de substituir o SO atual (Microsoft Windows 5.0 CE) pelo Windows 10 64-bit, Windows 7 64/32-bit (para processadores Intel de 6ª geração) e Linux.

Um fator a ter em consideração é que no *datasheet* deste OC não é especificada qual a versão do Windows, ou seja, se é a 10 ou a 10 IoT. A versão Windows 10 IoT é um membro da família Windows 10 que traz segurança e capacidade de gestão para a IoT. Aproveita a experiência incorporada do Windows, a conectividade do ecossistema e da *cloud*, permitindo que as organizações criem a sua IoT com dispositivos seguros que podem ser rapidamente provisionados, facilmente geridos e perfeitamente ligados a uma solução *cloud* [38].

Na variante do Windows 10 IoT existem 3 versões, a Enterprise, a Core e a Mobile. A versão Enterprise é a versão completa da plataforma IoT, esta edição pode executar aplicações de Windows Universal e de *desktop*. A versão Core que foi projetada para os dispositivos IoT mais básicos é de uso gratuito, mas esta edição é destinada a dispositivos de menor custo que exigem dimensões menores. E por fim, a versão Mobile que fornece uma plataforma de última geração para dispositivos móveis baseados no Windows 10 [39].



**Figura 33** Computador de bordo da Axiomtek, tBOX324-894-FL [40].

A Tabela 22 apresenta as especificações do OC da Axiomtek, tBOX324-894-FL.

**Tabela 22** Especificações do OC da Axiomtek, tBOX324-894-FL [40].

SYSTEM	
CPU	Intel® Core™ i7-7600U 2.8 GHz*/i7-6600U 2.6 GHz, TDP: 15W Intel® Core™ i5-7300U 2.6 GHz*/i5-6300U 2.4 GHz, TDP: 15W Intel® Core™ i3-7100U 2.4 GHz*/i3-6100U 2.3 GHz, TDP: 15W Intel® Celeron® 3965U 2.2 GHz*/3955U 2.0 GHz, TDP: 15W

<b>SYSTEM</b>	
<b>Chipset</b>	SoC integrated
<b>System Memory</b>	2 x DDR4-1866/2133 SO-DIMM, up to 32 GB
<b>BIOS</b>	AMI
<b>I/O</b>	
<b>Serial</b>	1 x DB9 isolated RS-232/422/485 2 x Terminal block isolated RS-232/422/485
<b>USB</b>	4 x USB 3.0
<b>Ethernet</b>	Railway: 4 x M12 A-coded 10/100/1000 Mbps Ethernet Marine/Vehicle: 4 x RJ-45 10/100/1000 Mbps Ethernet
<b>Display</b>	1 x DVI-I (up to 1920 x 1200 @60 Hz, 1 x VGA and 1 x DVI-D) 1 x VGA
<b>CANBus</b>	1 x DB9 isolated CANBus 2.0 A/B
<b>Digital I/O</b>	1 x Terminal block isolated DIO 4-in/4-out
<b>Audio</b>	1 x Mic-in, 1 x Line-out
<b>Others</b>	1 x Remote switch 3 x Antenna opening
<b>Expansion Interface</b>	3 x Full-size Rev.1.2 PCIe Mini Card slot 2 x USB/PCIe 1 x USB/PCIe with SIM socket
<b>STORAGE</b>	
<b>SATA Drive</b>	2 x Swappable 2.5" SATA drive, Intel® RAID 0/1 supported
<b>CFast</b>	1 x CFast™
<b>POWER</b>	
<b>Power Supply</b>	Railway: 1 x M12, 24/110 VDC Vehicle: 1 x terminal block, 12/24 VDC with ACC ignition Marine: 1 x terminal block, 24 VDC
<b>Power Consumption</b>	24 V/2.2 A, 110 V/0.7 A
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Construction</b>	Aluminum extrusion and heavy-duty steel, IP30
<b>Dimensions</b>	288.5 x 211.3 x 85.75 mm
<b>Mounting</b>	Wall mount
<b>Weight</b>	5000 g
<b>ENVIRONMENTAL</b>	
<b>Operating Temp.</b>	-40 °C to +70 °C (-40 °F to +158 °F) with W.T. peripheral
<b>Relative Humidity</b>	0% to 95%, non-condensing

ENVIRONMENTAL	
EMC	EN 50155
Vibration	EN 50155
Shock	EN 50155
SOFTWARE	
SO	Windows® 10 64-bit, Windows® 7 64/32-bit (for 6th gen Intel® CPU), Linux

### 5.2.5. SINTRONES - VBOX-3620-M12X

Na Figura 34 é exibido o OC VBOX-3620-M12X da Sintrones. Trata-se de um computador ferroviário sem ventoinhas com processadores Intel da 6 geração com a conformidade EN50155 e especificamente concebido para aplicações de material circulante onde são solicitadas elevadas capacidades de processamento, baixo consumo e robustez para corresponder aos requisitos do sistema.

Na escolha do SO para este computador existem 2 opções: o Ubuntu 16.04, ou o Windows 10, em que na escolha da versão Windows o *datasheet* não especifica se é a versão Windows 10 IoT, o que é um fator a considerar como referido no subcapítulo 5.2.4.



**Figura 34** Computador de bordo da Sintrones, VBOX-3620-M12X [41].

A Tabela 23 apresenta as especificações do OC da Sintrones, VBOX-3620-M12X.

**Tabela 23** Especificações do OC da Sintrones, VBOX-3620-M12X [41].

SYSTEM	
CPU	Intel Gen6 Core i7-6600U 2.6 GHz up to 3.4 GHz Intel Gen6 Core i5-6300U 2.4 GHz up to 3 GHz Intel Gen6 Core i3-6100U 2.3 GHz Intel Gen 6 Dual Core 3955U 2.0 GHz

<b>SYSTEM</b>	
<b>Memory</b>	2 x SO-DIMM DDR4 up to 32GB
<b>LAN Chipset</b>	2 x Intel I210AT and 1 x Intel i219LM
<b>Audio</b>	Realtek ALC662 HD Codec Onboard
<b>Watchdog</b>	Watchdog Timer Support, Offer 1 – 255 Step
<b>I/O</b>	
<b>Serial Port</b>	4 x RS-232/422/485, w/ isolation (Auto Direction Control)
<b>USB Port</b>	2 x USB 3.0 Ports, 2 x USB 2.0 Ports
<b>LAN</b>	3 x 10/100/1000 Mb/s w/ M12 x-code (1 port with iAMT)
<b>Video</b>	2 x DP Port, 1 x VGA (Support Triple Independent Display)
<b>Digital I/O</b>	8 x GPI and 4 x GPO w/ isolation
<b>Audio</b>	1 x Line-out and 1 x Mic-in (Line-in Optional)
<b>SIM Card Socket</b>	2 x SIM Card Sockets, supported onboard with eject 6 x SIM Card Sockets (Optional order No. SIM-6A)
<b>Expansion Bus</b>	3 x Mini-card slots 1 x M.2 A-E Key 2230 slot
<b>ENVIRONMENTAL</b>	
<b>Operating Temp.</b>	-40 °C ~ 70 °C, ambient w/ 0.6m/s airflow
<b>Storage Temp.</b>	-40 °C ~ 80 °C
<b>Relative Humidity</b>	10% RH – 90% RH (non-condensing)
<b>Vibration (random)</b>	IEC60068-2-64, random, 2.5G@5~500 Hz, 1hr/axis with Solid State Drive (SSD)
<b>Vibration Operating</b>	EN 50155 EN 61373
<b>Shock</b>	EN 50155 EN 61373
<b>Certifications</b>	CE, FCC Class A, EN50155, EN50121, E13
<b>POWER</b>	
<b>Input</b>	9V – 36 VDC Power Input with Isolation
<b>GRAPHICS</b>	
<b>Graphics</b>	Intel® HD Graphics 520 DirectX Video Acceleration (DXVA) for Accelerating Video Processing - Full AVC/VC1/MPEG2 HW Decode Supports DirectX 11/10.1/10/9 and OpenGL 4.0

<b>GRAPHICS</b>	
<b>Resolution</b>	Up to 4096 x 2304@60 Hz
<b>STORAGE</b>	
<b>Type</b>	2 x 2.5" Drive Bay for SATA Type HDD/SSD RAID 0, 1, 5 1 x SATA DOM
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Construction</b>	Aluminum Alloy
<b>Mounting</b>	Supports Both of Wall-mount/VESA-mount
<b>Weight</b>	1900 g
<b>Dimensions</b>	250 x 150 x 55 mm
<b>SOFTWARE</b>	
<b>OS</b>	Windows 10, Ubuntu 16.04 64bit

#### 5.2.6. MOXA - V2426A SERIES

Na Figura 35 pode-se observar um OC da MOXA. Este OC faz parte de uma série chamada V2426A. Os computadores incorporados nesta série baseiam-se no processador Intel de 3ª geração e contam com 4 portas série RS-232/422/485, portas LAN duplas, 3 portas USB 2.0 e saídas *dual* DVI-I. Além disso, os computadores da série V2426A cumprem os requisitos dos testes obrigatórios da norma EN 50155, tornando-os adequados para uma variedade de aplicações industriais.

As portas *dual megabit/gigabit ethernet* com conectores codificados M12X oferecem uma solução fiável para redundância de rede, prometendo uma operação contínua para comunicação e gestão de dados. Como uma conveniência adicional, os computadores V2426A têm 6 entradas digitais e 2 saídas digitais. Além disso, a entrada CFast, o conector SATA e as entradas USB fornecem aos computadores V2426A a fiabilidade necessária para aplicações industriais que requerem *buffering* de dados e expansão de armazenamento.

Os computadores V2426A vêm também com 2 ranhuras de expansão periférica para inserir diferentes módulos de comunicação, um módulo de entrada/saída digital de 8+8 portas e um módulo série de 2 portas, conferindo maior flexibilidade para a configuração de diferentes aplicações industriais.

No lado do software existem 2 opções de SO pré-instalados, o Linux Debian 7 e o Windows Embedded Standard 7. Ambas as opções não são as preferíveis, visto já existir em ambos os casos opções mais desenvolvidas como o Linux Debian 9 e o Windows 10 IoT.



**Figura 35** Computador de bordo da Moxa, V2426A Series [42].

A Tabela 24 apresenta as especificações do OC da Moxa, V2426A Series.

**Tabela 24** Especificações do OC da Moxa, V2426A Series [42].

SYSTEM	
<b>CPU</b>	V2426A-C2 Series: Intel® Celeron® Processor 1047UE (2 M cache, 1.40 GHz) V2426A-C7 Series: Intel® Core™ i7-3517UE Processor (4 M cache, up to 2.80 GHz)
<b>System Chipset</b>	Mobile Intel® HM65 Express Chipset
<b>Graphics Controller</b>	Intel® HD Graphics 4000
<b>System Memory Pre-installed</b>	4 GB DDR3
<b>System Memory Slot</b>	SODIMM DDR3/DDR3L slot x 1
<b>Storage Slot</b>	2.5-inch HDD/SSD slots x 1 CFast slot x 2
I/O	
<b>Ethernet Ports</b>	Auto-sensing 10/100/1000 Mbps ports (M12 X-coded) x2
<b>Serial Ports</b>	RS-232/422/485 ports x 4
<b>USB 2.0</b>	USB 2.0 hosts x 1, M12 D-coded connector USB 2.0 hosts x 2, type-A connectors
<b>Audio</b>	Line in x 1, Line out x 1, M12 D-coded
<b>Digital I/O</b>	Digital inputs x6, Digital outputs x2
<b>Video</b>	DVI-I x 2

<b>ENVIRONMENTAL</b>	
<b>Operating Temp.</b>	Standard Models: -25 to 55 °C Wide Temp. Models: -40 to 70 °C
<b>Storage Temp.</b>	-40 to 85 °C
<b>Relative Humidity</b>	5 to 95% (non-condensing)
<b>EMC</b>	EN 55032/24
<b>EMI</b>	CISPR 32, FCC Part 15B Class A
<b>EMS</b>	IEC 61000-4-2 ESD: Contact: 6 kV; Air: 8 kV IEC 61000-4-3 RS: 80 MHz to 1 GHz: 20 V/m IEC 61000-4-4 EFT: Power: 2 kV; Signal: 2 kV IEC 61000-4-5 Surge: Power: 2 kV IEC 61000-4-6 CS: 10 V IEC 61000-4-8 PFMF
<b>Railway</b>	EN 50121-4, IEC 60571
<b>Railway Fire Protection</b>	EN 45545-2
<b>Safety</b>	EN 60950-1, UL 60950-1
<b>Shock</b>	IEC 60068-2-27, IEC 61373, EN 50155
<b>Certifications</b>	CE, FCC Class A, EN50155, EN50121, E13
<b>Vibration</b>	IEC 60068-2-64, IEC 61373, EN 50155
<b>MTBF</b>	304,998 h
<b>POWER</b>	
<b>Input</b>	12 to 48 VDC
<b>Consumption</b>	47 W
<b>MECHANICAL</b>	
<b>Construction</b>	Aluminum
<b>IP Rating</b>	IP30
<b>Mounting</b>	DIN-rail mounting, Wall mounting
<b>Weight</b>	3000 g
<b>Dimensions</b>	250 x 86 x 154 mm
<b>SOFTWARE</b>	
<b>OS</b>	Linux Debian 7, Windows Embedded Standard 7 (32-bit, 64-bit)

No contexto das consolas, a sua seleção depende de um processo exigente que incorpore todos os requisitos técnicos, ergonómicos e de comunicação. Logo, existiu um grande desafio para encontrar consolas simultaneamente compatíveis com as normas da indústria ferroviária e com as dimensões desejadas devido ao espaço limitado existente para elas.

No que diz respeito aos OCs, ao contrário das consolas, o espaço dedicado a este não é um fator a considerar, pois este não se encontra no painel de controlo do veículo. Deste modo, encontrou-se várias opções que cumprem todos os requisitos necessários e podem ser implementadas.

No próximo capítulo é discutida uma tecnologia *ethernet* que assegura pela primeira vez a utilização rentável da *ethernet* em todos os aspetos da automação industrial. Uma tecnologia ideal para aplicações industriais na era da Indústria 4.0 e IIoT, aperfeiçoando assim, os sistemas atualmente oferecidos pela EFACEC aos seus clientes.

## 6. SPE

Todos os equipamentos inteligentes utilizam sensores e atuadores, os quais podem ser ligados por uma rede comum. Os dados que captam e transmitem ao centro de dados para análise e previsão são vitais, mas com tantos sensores e atuadores para acomodar, espaço, densidade de embalagem, custos, infraestruturas e facilidade de instalação e serviço tornam-se ainda mais importantes.

Os sistemas de *fieldbus*, incluindo *Profibus*, *AS-Interface*, *Modbus*, *CANOpen*, *DeviceNet*, *CC-Link* e *IO-Link* são geralmente demasiado volumosos ou requerem muitos recursos para utilizar a melhor implementação nos processos indústrias. A complexidade muitas vezes gera custos, o espaço na disposição do sistema de controlo não é ilimitado.

Agora, existe um cabo com dois fios (um único par trançado) chamado SPE, como demonstrado na Figura 36.



**Figura 36** Cabo SPE [43].

## 6.1. DESCRIÇÃO

SPE descreve a transmissão *ethernet* por apenas um par de fios de cobre. Além da transmissão de dados via *ethernet*, SPE também permite uma fonte de alimentação simultânea de dispositivos terminais via *Power over Data Line* (PoDL). Anteriormente, isso exigia dois pares para *fast ethernet* (100 MB) e quatro pares para *gigabit ethernet*. SPE agora abre possibilidades e campos de aplicação completamente novos para *ethernet* industrial.

Nas redes industriais, a *ethernet* no passado prevaleceu inicialmente do nível da empresa, através do nível de operação e processo, até o nível de controle. O último nível da pirâmide de automação, o nível de campo, é classicamente conectado através de vários sistemas BUS. Uma razão para isso é a ramificação fina e o grande número de dispositivos no nível do campo. Centenas a milhares de sensores e atuadores numa área de produção precisam ser conectados através de uma extensa rede de cabos. Ou seja, uma quantidade considerável de cabos e, conseqüentemente, com um custo elevado.

Recentemente, a necessidade de infraestruturas mais eficientes ao nível de campo aumentou significativamente. Cada vez mais sensores exigem taxas de transmissão que os sistemas BUS não conseguem fornecer. Ao mesmo tempo, a infraestrutura *ethernet* existente é muito cara e sobredimensionada para a maioria das aplicações de campo. Isto aplica-se aos cabos, conetores e componentes do dispositivo. Era necessária uma infraestrutura *ethernet* fina, leve e poderosa para permitir à indústria digitalizar-se ao nível do campo e, assim, entrar na *Industrial Internet of Things* (IIoT). É aqui que entra o SPE. [44]

## 6.2. NORMAS

A norma IEEE 802 compreende uma família de normas que cobre as especificações físicas de camadas de tecnologias desde a *ethernet* à sem fios. Esta é subdividida em 22 partes que cobrem aspetos físicos e de ligação de dados da rede, em que a parte que corresponde à tecnologia SPE é a da *ethernet*, ou seja, a norma IEEE 802.3.

Para responder às necessidades de todas as áreas industriais, as normas IEEE 802 estão em constante evolução e em expansão, tal como indica a Tabela 25 para a norma IEEE 802.3.

**Tabela 25** Cronologia da norma IEEE 802.3 [43].

<b>Cronologia IEEE 802.3</b>	<b>Norma IEEE 802.3</b>		<b>Distância máxima</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Largura de banda</b>	<b>Categoria ISO/IEC</b>	<b>Pares</b>
1990	IEEE 802.3i	10BASE-T	100 m	10 Mb/s	10 MHz	CAT 3	2
1995	IEEE 802.3u	100BASE-TX	100 m	100 Mb/s	100 MHz	CAT 5	2
1999	IEEE 802.3ab	1000BASE-T	100 m	1 Gb/s	100 MHz	CAT 5e	4
2006	IEEE 802.3an	10GBASE-T	55 m	10 Gb/s	250 MHz	CAT 6	4
					500 MHz	CAT 6A	4
			100 m		600 MHz	CAT 7	4
			1000 MHz		CAT 7A	4	
2015	IEEE 802.3bw	100BASE-T1	15m Unshielded Twisted Pair (UTP)	100 Mb/s	66 MHz	SPE	1
2016	IEEE 802.3bp	1000BASE-T1	40 m 15 m UTP	1000 Mb/s	600 MHz	SPE	1
2019	IEEE 802.3cg	10BASE-T1L	1000 m 15 m UTP	10 Mb/s	20 MHz	SPE	1
		10BASE-T1S					
2020	IEEE 802.3ch	Multi-Gigabit	(15m)	(2.5/5/10Gb/s)	-	SPE	1

### 6.3. VANTAGENS:

A introdução dos cabos SPE no mercado irá beneficiar várias indústrias. As suas principais vantagens são [45]:

- Cabos compactos e mais leves com metade do peso que os cabos tradicionais *fieldbus*, economiza espaço dentro de máquinas, paredes e pisos, enquanto permite uma infraestrutura mais ordenada e definida. Por fim, reduzem os requisitos de controlo de energia e temperatura;
- Tem uma instalação mais rápida e fácil, reduzindo os custos de instalação e os custos de mão de obra. Permitindo que dispositivos de campo, sensores e atuadores sejam facilmente integrados no ambiente *ethernet* existente, sem *gateways* e *interfaces* adicionais;
- Potencial para ter 10 vezes melhor alcance e cobertura, com a capacidade de suportar 10 Mbps a distâncias até 1000 metros e 10 vezes o desempenho de transmissão com opções existentes para 1 Gbps e *multi-gigabit* no horizonte;
- Possibilidade de ligar componentes de rede através de tecnologia BUS *multidrop* em que todos os componentes estão ligados a um cabo para curta distância;
- A norma SPE permite a partilha de cabos (quatro canais SPE num só cabo) e permite uma distribuição passiva simples e económica.

### 6.4. CASO DE USO

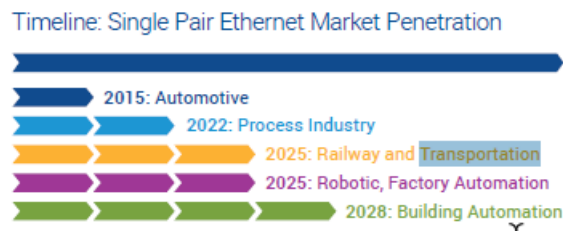
Os potenciais benefícios da utilização de cabos SPE são bastante intuitivos: peso reduzido, custo reduzido, menor pegada, instalação mais fácil. É claro que os inconvenientes potenciais podem ser igualmente intuitivos, ou seja, menos estrutura interna do cabo pode significar uma distância mais curta e taxas de dados mais baixas.

Apesar dos inconvenientes, existem algumas aplicações em que uma distância mais curta e taxas de dados mais baixas não são uma preocupação, como a cablagem de automóveis para transportar informações de sensores, diagnósticos e comunicações a bordo. Um automóvel moderno pode ter milhares de ligações com fios provocando um peso significativo no veículo, pelo que a substituição destas ligações por outras mais leves tem

pago enormes dividendos à indústria na redução dos custos de fabrico e na melhoria do desempenho. Uma vez que estas ligações tendem a correr curtas distâncias sob o corpo do carro e dentro do carro, e as exigências de dados tendem a ser mínimas, muitas vezes há poucas ou nenhuma desvantagens. Este foi onde o SPE foi provado pela primeira vez com sucesso.

## 6.5. INDÚSTRIA FERROVIÁRIA

No contexto da indústria dos transportes ferroviários, o SPE ainda não se encontra preparado devido à falta de normas, mas estas irão surgir num curto prazo. Segundo um estudo por parte da empresa Belden, o SPE irá penetrar o mercado da indústria dos transportes ferroviários em 2025, como se pode verificar na Figura 37.



**Figura 37** Cronologia da penetração do SPE no mercado [43].

Ainda num prazo mais curto, existem várias empresas que se encontram a trabalhar na criação de produtos que irão trazer o prometido das atuais e emergentes normas SPE à realidade. Com a existência de um novo cabo tem de haver novas infraestruturas para o suportar, incluindo conetores, interruptores, módulos de I/O, conjuntos de cabos e muito mais [46].

## 6.6. INFRAESTRUTURA *ETHERNET* EXISTENTE

Em relação à infraestrutura *ethernet* existente, o SPE provavelmente não a irá substituir, pelo menos não no seu estado atual de desenvolvimento e normalização. SPE transmite 1 GBit/s até uma distância máxima de 40 metros, enquanto um cabo *ethernet* de 8 fios pode transmitir até 100 metros. Além disso, um grande número de *interfaces* e dispositivos teria de ser convertido, o que não é necessário. *Ethernet* através de apenas um par de fios é usado onde as vantagens surgem através de enormes economias de espaço e peso. Trata-

se, por exemplo, de aplicações na indústria ferroviária, automóvel e aeronáutica. Aqui, menos peso significa um enorme potencial de poupança de custos.

A *ethernet* está a ganhar cada vez mais relevância na automação e está a tornar-se cada vez mais aceite como meio universal. Os sistemas BUS, por outro lado, estão constantemente a ser menos utilizados [44].

No próximo capítulo apresenta-se uma proposta de evolução da componente embarcada que existe na solução são da EFACEC.

# 7. PROPOSTA DE EVOLUÇÃO

Neste capítulo irá ser descrita uma proposta de evolução a partir dos equipamentos atuais, mais em concreto a consola e o OC. No capítulo 5 foram discutidos vários computadores e consolas possíveis, mas não qual dessas alternativas se encaixa e melhora a solução final.

## 7.1. CONSOLA

Na escolha da consola proponho a SIP-32.XX da Pixy, pois no que respeita às dimensões, é a melhor opção comparando às restantes consolas apresentadas no subcapítulo 5.1.

Um dos requisitos na procura de uma nova consola é esta possuir dimensões que tornem possíveis a sua implementação, pois o espaço que lhe é destinado é limitado. A consola utilizada atualmente pela EFACEC possui um ecrã de 5,7” e uma consola com estas dimensões e com as normas necessárias referidas no subcapítulo 2.4 são muito difíceis de se encontrar atualmente no mercado. A SIP-32.XX é uma consola compacta e apresenta um ecrã de 6,5”, mas continua a ser uma consola com dimensões ligeiramente superiores ao pretendido. Assim, é necessário verificar se é possível ajustar o painel de controlo do veículo para realizar a sua instalação.

Como referido anteriormente, um dos requisitos é o cumprimento das normas exigidas no subcapítulo 2.4 e a consola SIP-32.XX encontra-se em obediência a essas normas (EN 50155, EN 50121-3-2, EN 61373).

Em termos de *interfaces* físicas, cumpre as exigências de uma *interface* com a fonte de alimentação de 24 VDC e de uma *interface* com o *ethernet switch* para permitir comunicação IP entre a consola e o BUS *ethernet* do veículo e, conseqüentemente, o OC.

A nível de software utiliza o SO Linux, mais concretamente a versão Linux da Pixy (Pixy Linux) [47]. Este é um sistema operativo aberto, flexível e altamente fiável para ecrãs

baseados em computador. Pode ser adaptado às necessidades dos clientes, ou seja, o cliente tem muita liberdade na escolha da sua biblioteca gráfica ou outras adaptações.

Além dos requisitos necessários, a consola SIP-32.XX possui botões de função fixos, solução que atualmente não é usada pelo software da EFACEC, mas que poderá ser útil para futuros projetos.

## 7.2. OC

Na escolha do OC proponho o BoltGATE 20-25 da Eurotech, a EFACEC atualmente possui veículos com OCs da Eurotech, mas esta versão apresenta uma máquina mais poderosa e atual.

O BoltGATE 20-25 possui duas opções de SO, o Windows 10 IoT Enterprise e o Linux Eurotech Everyware. Atualmente o SO incorporado no OC da EFACEC é o Windows 5 CE, mas como este se encontra obsoleto proponho a escolha do Windows 10 IoT Enterprise. Para a migração do sistema, a solução Windows é uma solução mais *plug-and-play*. O Windows possui ferramentas de construção simples e suporte extensivo por parte do suporte da Microsoft para uma migração mais rápida e fácil, enquanto que o Linux é complexo e em constante evolução. A longo prazo isso pode ser uma vantagem, mas também traz uma grande curva de aprendizagem e um compromisso de tempo para dominar o sistema.

Em relação ao hardware, como se pode verificar na Tabela 19, existe a possibilidade de escolha entre 3 processadores, o E3815 de 1 núcleo e 1,46 GHz, o E3827 de 2 núcleos e 1,75 GHz e o E3845 de 4 núcleos e 1,91 GHz. Embora muitas tarefas não exijam muito mais do que um processador de 2 núcleos, existem benefícios de um processador com quatro núcleos. Os de 4 núcleos não só são mais rápidos e mais poderosos quando se trata de tarefas altamente intensivas, como também podem sair mais lucrativos a longo prazo. Como atualmente alguns programas estão direcionados para um sistema com mais núcleos, um computador de quatro núcleos pode ser considerado *entry-level* dentro de alguns anos.

Relativamente às *interfaces* físicas, ao comparar os requisitos necessários para a solução, referenciados no subcapítulo 3.2, com a tabela das especificações do BoltGATE20-25 (Tabela 19), verifica-se que este OC cumpre todos requisitos.

No que diz respeito ao requisito das normas exigidas no subcapítulo 2.4, o BoltGATE 20-25 encontra-se em obediência a essas normas (EN 50155, EN 45545).

### 7.3. OUTROS COMPONENTES

Tanto a nível de APs como de outros componentes da solução embarcada, foi efetuado um breve estudo. Todavia, existe uma oferta alargada no mercado e que não sendo necessária nenhuma especificidade particular, as soluções de mercado cumprem e permitem uma adaptação à evolução tecnológica sem grande dificuldade.

No caso dos *Beacon Readers*, não existe praticamente concorrência. Outrora existiam duas opções no mercado de RFIDs: a TagMaster e a Balogh. A TagMaster é a principal fornecedora de produtos RFID avançados e de câmaras *Automatic Number Plate Recognition* (ANPR), para identificação de veículos em soluções de tráfego e ferroviário e a Balogh é uma das pioneiras na tecnologia RFID. Em setembro de 2016, a TagMaster adquiriu o grupo francês Balogh [48], possuindo assim produtos RFID para a indústria ferroviária da linha TagMaster e Balogh.

Concluindo, na proposta de evolução da solução atual da EFACEC para o OC foi escolhido o BoltGATE 20-25 da Eurotech e para a consola foi escolhida a SIP-32.XX da Pixy. Contudo, para a escolha dos equipamentos não foi levado em consideração o seu preço visto que o mesmo é suscetível a vários fatores tais como: duração de contrato, alterações a serem efetuadas, apoio ao cliente, entre outros.

No próximo capítulo, é apresentado um desfecho para tudo que foi discutido ao longo do desenvolvimento da dissertação, assim como as suas soluções e análises.

## 8. CONCLUSÕES

Os principais objetivos deste documento foram a compreensão e estudo da solução SAO da EFACEC. Esta foi projetada para apoiar as empresas operadoras de serviços de transporte público, fornecendo um conjunto de ferramentas para esse fim. Essas ferramentas permitem a supervisão da operação, mas também a atuação em caso de desvios ao planeado, com vista a otimizar os recursos e os resultados dos serviços de transporte.

A solução SAO da EFACEC que existe é uma solução base que é replicada em todos os projetos e as alterações que ocorrem de projeto para projeto são devidas a certas funcionalidades/requisitos que os contratos e clientes exigem. Apesar desta solução base existir há muito tempo, teve pouca evolução. Comparando o projeto de Nottingham (de 2012) para o de Odense (de 2017), não existem grandes melhorias tirando o sistema de WIFI para os passageiros e o sistema de APC que foram impostos pelo cliente.

A associação ITxPT foi criada para cooperar ainda mais na implementação de padrões de sistemas de tecnologias de informação *plug-and-play* para transporte público, reduzindo custos e implementando padrões para uma total interoperabilidade. Ou seja, a ITxPT permite a interoperabilidade entre os sistemas informáticos nos transportes públicos, oferecendo especificações públicas da arquitetura informática baseadas em normas com *interfaces* para sistemas informáticos a bordo, *over-the-air* e *back-office*.

Um outro objetivo foi a busca de possibilidades de evolução do sistema atual a nível dos equipamentos da componente embarcada, que depende de um processo exigente que incorpore todos os requisitos técnicos, ergonómicos e de comunicação. Para os OCs foram encontradas várias opções em cumprimento de todos os requisitos necessários e que podem ser implementadas. A nível de consolas, existiu uma maior dificuldade devido às dimensões desejadas, pois o espaço existente é limitado. Posteriormente, foi efetuada uma

proposta de evolução desses equipamentos e foram selecionados o OC BoltGATE 20-25 da Eurotech e a consola SIP-32.XX da PIXY.

Por fim, foi efetuada uma procura de novas tecnologias que possam ser implementadas em futuros projetos da EFACEC. A tecnologia SPE descreve a transmissão *ethernet* por apenas um par de fios de cobre, uma tecnologia *ethernet* que assegura pela primeira vez a utilização rentável da *ethernet*, aperfeiçoando assim os sistemas atualmente oferecidos pela EFACEC aos seus clientes.

O futuro é o transporte coletivo, é o transporte ferroviário, pesado, ligeiro e, portanto, existe sempre a necessidade de melhorar o que existe e este processo não tem fim.

## Referências Documentais

- [1] N. Oliveira, “Interface Control Document - Rolling Stock,” EFACEC, 29-Nov-2019.
- [2] P. Elísio, “Hardware Specification - AVLS And Radio On Board CITADIS,” EFACEC, 28-Sep-2015.
- [3] P. Elísio, “HW Specification - INCENTRO AVLS Radio,” EFACEC, 16-Oct-2013.
- [4] F. Matos, “OBIF- WLAN System - Mechanical and Electrical Integration,” EFACEC, 29-Jun-2016.
- [5] N. Oliveira, “Transportation System (TS),” EFACEC, Nov-2019.
- [6] P. Soares, “SYRSAD – Subsystem Specification & Architecture – AVLS,” EFACEC, 30/09/2015.
- [7] N. Oliveira, “AVLS - System Specification,” EFACEC, 09-Oct-2019.
- [8] “MOL 81,” TagMaster, 23-Oct-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.tagmaster.com/rail-solutions/rfid-balogh/mol-81/>. [Acedido em: 21-Jan-2020].
- [9] “Tecnologia TETRA,” Alcon. [Em linha]. Disponível em: <http://alcon.com.br/site/tecnologia-tetra/>. [Acedido em: 21-Jan-2020].
- [10] “TETRA: TERrestrial Trunked Radio,” ETSI. [Em linha]. Disponível em: <https://www.etsi.org/technologies/tetra>. [Acedido em: 19-Dez-2019].
- [11] “Página Pessoal de Ivo Fernandes,” Tetra Introdução. [Em linha]. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/PLRM/TETRA.html>. [Acedido em: 16-Dez-2019].
- [12] E. Standards, “BS EN 45545-1:2013 Railway applications. Fire protection on railway vehicles General,” *standard.eu*, 30-Nov-2015. [Em linha]. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/bs-en-45545-1-2013-railway-applications-fire-protection-on-railway-vehicles-general/>. [Acedido em: 16-Dez-2019].
- [13] E. Standards, “BS EN 50121-3-2:2016 A1:2019 Railway applications. Electromagnetic compatibility Rolling stock. Apparatus,” *standard.eu*, 02-Maio-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/bs-en-50121-3-2-2016-a1-2019-railway-applications-electromagnetic-compatibility-rolling-stock-apparatus/>. [Acedido em: 16-Dez-2019].
- [14] E. Standards, “BS EN 61373:2010 Railway applications. Rolling stock equipment. Shock and vibration tests,” *standard.eu*, 31-Mar-2012. [Em linha]. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/bs-en-61373-2010-railway-applications-rolling-stock-equipment-shock-and-vibration-tests/>. [Acedido em: 16-Dez-2019].

- [15] E. Standards, “BS EN 50121-3-2:2016 A1:2019 Railway applications. Electromagnetic compatibility Rolling stock. Apparatus,” *standard.eu*, 02-Maio-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/bs-en-50121-3-2-2016-a1-2019-railway-applications-electromagnetic-compatibility-rolling-stock-apparatus/>. [Acedido em: 16-Dez-2019].
- [16] F. Matos, “OBIF - Electrical Interface with TETRA radio”, EFACEC, 29-Jun-2016.
- [17] N. Oliveira, “OBIF - APC System - Mechanical and Electrical Integration”, EFACEC, 29-Nov-2019.
- [18] “Open IT architecture for Public Transport,” ITxPT. [Em linha]. Disponível em: <https://itxpt.org/>. [Acedido em: 05-Mar-2020].
- [19] “FAQ,” ITxPT. [Em linha]. Disponível em: <https://itxpt.org/membership/faq/>. [Acedido em: 09-Mar-2020].
- [20] “Information Technology for Public Transportation,” ITxPT. [Em linha]. Disponível em: [https://wiki.itxpt.org/images/8/84/2019\\_ITxPT\\_Presentation.pdf](https://wiki.itxpt.org/images/8/84/2019_ITxPT_Presentation.pdf). [Acedido em: 09-Mar-2020].
- [21] “ITxPT Wiki,” ITxPT. [Em linha]. Disponível em: [https://wiki.itxpt.org/index.php?title=ITxPT\\_Wiki](https://wiki.itxpt.org/index.php?title=ITxPT_Wiki). [Acedido em: 09-Mar-2020].
- [22] “EBSF - European Bus System of the Future,” UITP. [Em linha]. Disponível em: <https://www.uitp.org/ebsf-european-bus-system-future>. [Acedido em: 24-Mar-2020].
- [23] “ITxPT Related Standards,” ITxPT. [Em linha]. Disponível em: [https://wiki.itxpt.org/index.php?title=ITxPT\\_Related\\_Standards#WG3-SG1:\\_On\\_Board\\_Data\\_Bus\\_Transmission\\_.28TS13149.29](https://wiki.itxpt.org/index.php?title=ITxPT_Related_Standards#WG3-SG1:_On_Board_Data_Bus_Transmission_.28TS13149.29). [Acedido em: 14-Maio-2020].
- [24] “General,” Transmodel. [Em linha]. Disponível em: <http://www.transmodel-cen.eu/faqs/general/>. [Acedido em: 23-Mar-2020].
- [25] “Welcome,” NeTEx. [Em linha]. Disponível em: <http://netex-cen.eu/> ref. [Acedido em: 23-Mar-2020].
- [26] “Overview,” NeTEx. [Em linha]. Disponível em: [http://netex-cen.eu/?page\\_id=11](http://netex-cen.eu/?page_id=11). [Acedido em: 23-Mar-2020].
- [27] “Standards Context,” NeTEx. [Em linha]. Disponível em: [http://netex-cen.eu/?page\\_id=58+ref](http://netex-cen.eu/?page_id=58+ref). [Acedido em: 24-Mar-2020].
- [28] “SIRI STANDARD,” Transmodel. [Em linha]. Disponível em: <http://www.transmodel-cen.eu/standards/siri>. [Acedido em: 23-Mar-2020].
- [29] “7" SUPER Fanless Bezel-free Panel PC,” Lex. [Em linha]. Disponível em: <https://www.lex.com.tw/products/7-SUPER-PPC.html>. [Acedido em: 18-Fev-2020].

- [30] "SIP-32.xx," PIXY. [Em linha]. Disponível em: <https://www.pixy.ch/railway/screenboard/product.asp?IDProdukt=29&IDProduktFilterSub=6&userlang=EN>. [Acedido em: 03-Mar-2020].
- [31] "ITA-8100," Advantech. [Em linha]. Disponível em: [https://www.advantech.com/products/1e299ab8-5f51-4c38-9957-376d781c7304/ita-8100/mod\\_39445224-0c29-43fa-83e3-b9e39aabe029](https://www.advantech.com/products/1e299ab8-5f51-4c38-9957-376d781c7304/ita-8100/mod_39445224-0c29-43fa-83e3-b9e39aabe029). [Acedido em: 18-Fev-2020].
- [32] "GOT710-837," Axiomtek. [Em linha]. Disponível em: <https://www.axiomtek.com/Default.aspx?MenuId=Products&FunctionId=ProductView&ItemId=6451&C=GOT710-837&upcat=337>. [Acedido em: 18-Fev-2020].
- [33] "DMI-1040," ADLINK. [Em linha]. Disponível em: <https://www.adlinktech.com/Products/RuggedRailwaySystems/PanelComputer/DMI-1040?lang=en#tab-27017>. [Acedido em: 18-Fev-2020].
- [34] "R10IB3S-VMP1," Winmate. [Em linha]. Disponível em: [https://www.winmate.com/Rugged/RuggedSpec.asp?Prod=09\\_0077&Typeid=B010415](https://www.winmate.com/Rugged/RuggedSpec.asp?Prod=09_0077&Typeid=B010415). [Acedido em: 18-Fev-2020].
- [35] "BoltGATE 20-25," Eurotech. [Em linha]. Disponível em: <https://www.eurotech.com/en/products/iot/multi-service-iot-edge-gateways/boltgate-20-25>. [Acedido em: 12-Nov-2019].
- [36] "RML Compact 81," Syslogic. [Em linha]. Disponível em: <https://www.syslogic.com/eng/en50155-rail-computer-compact-rml-91783.shtml?parentPagelId=92050>. [Acedido em: 12-Nov-2019].
- [37] "TRAcE-B40x-TR," Kontron. [Em linha]. Disponível em: <https://www.kontron.com/products/systems/transportation-computers/trace-railway-computers/trace-b40x-tr.html>. [Acedido em: 18-Maio-2020].
- [38] T. Warwick, "Overview of Windows 10 IoT - Windows IoT," Overview of Windows 10 IoT - Windows IoT | Microsoft Docs, 30-Jan-2018. [Em linha]. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/iot-core/windows-iot>. [Acedido em: 18-Jun-2020].
- [39] "What is the difference between Windows 10 IoT Core versions," IoTCoreSoft, 10-Mar-2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iotcoresoft.com/iot-knowlegde-center/whats-the-difference-between-windows-10-iot-core-versions>. [Acedido em: 26-Jun-2020].
- [40] "tBOX324-894-FL," Axiomtek. [Em linha]. Disponível em: <https://www.axiomtek.com/Default.aspx?MenuId=Products&FunctionId=ProductView&ItemId=23429&upcat=264>. [Acedido em: 22-Nov-2019].
- [41] "VBOX-3620-M12X," Sintrones. [Em linha]. Disponível em: <https://www.sintrones.com/VBOX-3620-M12X.html>. [Acedido em: 12-Nov-2019].

- [42] “V2426A Series,” Moxa. [Em linha]. Disponível em: <https://www.moxa.com/en/products/industrial-computing/x86-computers/v2426a-series#specifications>. [Acedido em: 12-Nov-2019].
- [43] “Single Pair Ethernet in the Industrial Field,” Belden. [Em linha]. Disponível em: <https://www.belden.com/resources/knowledge/white-papers/single-pair-ethernet-industrial-white-paper-lp>. [Acedido em: 19-Fev-2020].
- [44] “Techonology,” Technology | SPE Industrial Power Network. [Em linha]. Disponível em: <https://www.single-pair-ethernet.com/en/technology>. [Acedido em: 20-Fev-2020].
- [45] C. Zhang, “6 Advantages of Single-Pair Ethernet,” Belden, 21-Jan-2020. [Em linha]. Disponível em: <https://www.belden.com/blog/industrial-ethernet/six-advantages-of-single-pair-ethernet>. [Acedido em: 19-Fev-2020].
- [46] U. Widmann, “Single Pair Ethernet Drives Ahead,” Belden, 09-Jul-2019. [Em linha]. Disponível em: <https://www.belden.com/blog/industrial-ethernet/single-pair-ethernet>. [Acedido em: 19-Fev-2020].
- [47] “Pixy AG,” Screenboards, Display (HMI) für Cockpit im Schienenverkehr. [Em linha]. Disponível em: <https://www.pixy.ch/solutions/operating-systems/detail.asp?IDinfo=99>. [Acedido em: 25-Jun-2020].
- [48] J. Svensson, “TagMaster acquires Balogh,” Parking Network, 31-Aug-2016. [Em linha]. Disponível em: <https://www.parking-net.com/parking-news/tagmaster-ab/acquires-balogh>. [Acedido em: 25-Jun-2020].