



Implementação C-ITS nas Infraestruturas Rodoviárias da ASCENDI: Estudo e Análise de Viabilidade

BEATRIZ PINTO GONÇALVES

julho de 2025

Implementação de C-ITS nas Infraestruturas Rodoviárias da ASCENDI: Estudo e Análise de Viabilidade

Beatriz Pinto Gonçalves (1200571)

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia**

Orientador: Professor Doutor Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes

Júri:

Presidente:

Professor Doutor Fernando Maurício Teixeira de Sousa Dias, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Professor Doutor Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes, Professor Adjunto, ISEP

Professora Doutora Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira, Professor Adjunto, ISEP

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo e análise de viabilidade da implementação de *Cooperative Intelligent Transport Systems* (C-ITS) nas infraestruturas rodoviárias geridas pela Ascendi. Com o avanço das tecnologias de mobilidade conectada, a integração de soluções C-ITS representa uma oportunidade significativa para melhorar a segurança rodoviária, otimizar a gestão do tráfego e promover a sustentabilidade ambiental.

A dissertação foi estruturada em diversas fases. Iniciou-se com uma revisão aprofundada do estado da arte, onde estão especificadas as tecnologias C-ITS, como o *Intelligent Transport Systems - G5* (ITS-G5) e o *Cellular Vehicle-to-Everything* (C-V2X), bem como as mensagens *Cooperative Awareness Message* (CAM) e *Decentralized Environmental Notification Message* (DENM), que são essenciais para a comunicação em tempo real entre veículos e infraestrutura. Foram também analisadas as diretivas europeias mais recentes, incluindo a Diretiva 2023/2661, que orienta a interoperabilidade das soluções a nível europeu.

Seguidamente, foi elaborada uma arquitetura e três soluções distintas para a implementação do sistema. Duas dessas soluções basearam-se em tecnologias e arquiteturas já existentes no mercado. A terceira solução, por sua vez, consistiu numa proposta, com o desenvolvimento de uma arquitetura técnica específica para um sistema autónomo alimentado por energia solar, focado numa solução integrada para a *Road Side Units* (RSU). Esta proposta incluiu o dimensionamento detalhado dos principais componentes do sistema.

Com base nas três soluções desenvolvidas, foi realizada uma análise comparativa considerando critérios técnicos e financeiros, da qual resultou a proposta de uma solução para o projeto. Posteriormente, foi efetuada uma análise económico-financeira detalhada com o objetivo de avaliar a rentabilidade da implementação, englobando os custos associados, as amortizações e as estimativas de retorno do investimento. Esta abordagem permitiu fundamentar de forma mais rigorosa a tomada de decisão quanto à solução a adotar.

Este trabalho tem assim como principal objetivo fornecer uma base sólida para a implementação de soluções C-ITS no contexto das autoestradas da Ascendi, promovendo uma mobilidade mais segura, eficiente e sustentável.

Palavras-chave: C-ITS, ITS, V2V, V2X, V2I, ITS-G5, C-V2X, CAM, DENM

Abstract

This document presents the study and feasibility analysis of the implementation of Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS) in the road infrastructures managed by Ascendi. With the advance of connected mobility technologies, the integration of C-ITS solutions represents a significant opportunity to improve road safety, optimize traffic management and promote environmental sustainability.

The dissertation was structured in several phases. It began with an in-depth review of the state of the art, specifying C-ITS technologies such as ITS-G5 and C-V2X, as well as CAM and DENM messages, which are essential for real-time communication between vehicles and infrastructure. The latest European directives were also analysed, including Directive 2023/2661, which guides the interoperability and standardization of solutions at European level.

Next, an architecture and three different solutions were devised for implementing the system. Two of these solutions were based on technologies and architectures already on the market. The third solution, in turn, consisted of a proposal, with the development of a specific technical architecture for an autonomous solar-powered system, focused on an integrated solution for the RSU. This proposal included detailed sizing of the system's main components.

Based on the three solutions developed, a comparative analysis was carried out considering technical and financial criteria, which resulted in the proposal of a solution for the project. Subsequently, a detailed economic and financial analysis was carried out in order to assess the profitability of the implementation, including the associated costs, amortizations and return on investment estimates. This approach provided a more rigorous basis for making a decision on the solution to be adopted.

The main aim of this work is to provide a solid basis for implementing C-ITS solutions on Ascendi's highways, promoting safer, more efficient and sustainable mobility.

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao Professor Nuno Gomes por ter aceite ser meu orientador e por toda a ajuda e orientação prestadas ao longo da redação desta dissertação.

Agradeço também ao Luís Amorim, o meu orientador na Ascendi, por me ajudar a concretizar os objetivos propostos e por estar sempre presente no desenvolvimento do projeto.

À equipa SIO da Ascendi, o meu sincero agradecimento por me terem acolhido e integrado como parte da equipa, sendo os meus primeiros colegas de trabalho. Um agradecimento especial ao Diogo Teixeira, à Mara Silva e ao João Afonso, pelo apoio contínuo dentro da Ascendi, e, em particular, à Bárbara Rodrigues, por ter sido um pilar fundamental na minha integração e uma verdadeira amiga durante todos os meses do projeto.

Aos estagiários que integraram comigo o programa Talent4Future da Ascendi, agradeço pela amizade e apoio constantes durante toda a experiência na empresa.

Aos meus colegas de curso, que sempre me motivaram, com um agradecimento especial ao meu colega e amigo André Amorim, por todo o apoio, amizade e ajuda ao longo destes dois anos.

Aos meus amigos, que nunca me deixaram desistir e estiveram sempre do meu lado.

Aos meus pais, Clara e Mário, que foram as pessoas mais importantes para que este percurso corresse bem. Ao meu pai, que sempre foi a minha maior inspiração, e me fez acreditar que conseguia, agradeço por todo o apoio constante. À minha mãe, agradeço por ser sempre o meu colo e o meu porto de abrigo, especialmente nos momentos mais difíceis.

Por fim, quero agradecer à pessoa mais importante que o ISEP me deu, o meu melhor amigo. Durante estes cinco anos de licenciatura e mestrado, foste colega, amigo e namorado. Obrigada, Pedro, por estares sempre ao meu lado e por nunca me deixares desistir.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização do Documento	2
2	Suporte Teórico	5
2.1	Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS)	5
2.1.1	Arquitetura	5
2.1.2	Tipos de Aplicação <i>Intelligent Transport Systems</i> (ITS)	6
2.2	Sistemas de Transporte Inteligentes Cooperativos (C-ITS)	7
2.3	Plataforma C-ITS Europeia	7
2.4	Impacto das Mensagens de C-ITS nas Autoestradas	8
2.4.1	<i>Cooperative Awareness Message</i> (CAM)	9
2.4.2	<i>Decentralized Environmental Notification Message</i> (DENM)	9
2.5	Comunicações em C-ITS (Legislação)	9
2.5.1	Diretiva Europeia	10
2.6	Soluções Estudadas	11
2.6.1	Interoperabilidade	11
2.6.2	Tecnologias de Comunicação	12
2.6.2.1	DATEX II	12
2.6.2.2	Datex C-ITS	12
2.6.2.3	ITS-G5	12
2.6.2.4	C-V2X	13
2.6.3	Equipamentos de Via (RSE)	15
2.7	Implementação em Países Europeus	16
2.7.1	Bordéus	16
2.7.2	Hungria	18
3	Implementação da Solução	21
3.1	Casos de Estudo Utilizados	22
3.2	Arquitetura do Projeto	23
3.3	Definição dos Cenários	28
3.4	Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar	29
3.4.1	Desenvolvimento da Solução 3 (Fabricante 1 W/ Ascendi)	32
3.4.2	Dimensionamento do Sistema Autónomo da Solução 3	33
3.5	Proposta de Implementação	39
3.5.1	Planeamento Temporal do Projeto	42
3.5.2	Âmbito do Projeto	43

3.5.3	Fases de Implementação	44
3.5.3.1	Prova de Conceito (POC)	44
3.5.3.2	RollOut Ascendi - Fase 1	45
3.5.3.3	RollOut Ascendi - Fase 2	45
3.5.3.4	RollOut Ascendi - Fase 3	47
4	Análise de Investimento	51
4.1	Avaliação da Viabilidade da Solução	52
4.1.1	Custeio dos Produtos	52
4.1.2	Amortizações e Valor Residual do Imobilizado	54
4.1.3	Valor Residual	56
4.1.4	Demonstração de Resultados	58
4.1.5	Valor Residual	60
4.1.6	Cash-Flows	61
4.2	Análise Económico-Financeira	62
4.2.1	Cálculo do VAL	63
4.2.2	Cálculo do TIR	64
5	Análise Final da Solução	67
5.1	Perspetiva Global - Técnica	68
5.2	Perspetiva Global - Financeira	68
5.3	Escolha da melhor solução	70
6	Conclusão	71
	Referências	73
	Apêndice Anexo A Plano de Exploração	77
A.1	Soluções Possíveis	77
A.2	Encargos Gerais	78
A.3	Custo Anual com Energia Elétrica	79
A.4	Investimento	80
A.5	Estimativa do Valor de Feridos	81
A.6	Índice de Sinistralidade	82

Lista de Figuras

1	exemplo da Arquitetura dos Sistemas C-ITS	6
2	Arquitetura dos Sistemas C-ITS	7
3	Protocolo de Comunicação: ITS-G5.	13
4	Comparação do ITS-G5 e C-V2X.	14
5	Comunicação C-V2X no modo "Rede"[29].	15
6	Comunicação C-V2X no modo "Direto"[29].	15
7	Comunicação entre as RSU's.	16
8	Arquitetura e Plataforma Local Francesa de C-ITS	17
9	Arquitetura funcional dos projetos franceses de C-ITS.	18
10	Arquitetura C-ITS na Hungria.	19
11	Sinalização Rodoviária.	23
12	Arquitetura Geral.	24
13	Arquitetura do Modelo C-ITS.	26
14	Mensagens de C-ITS.	27
15	Mensagens de C-ITS.	33
16	Sistema autónomo para cargas DC.	34
17	Esquema do Sistema Autónomo para RSU.	36
18	Painel Fotovoltaico de 50W.	37
19	Regulador de Carga.	37
20	Bateria de 100Ah.	37
21	Conversor DC/DC 12/48V.	38
22	Injetor PoE.	38
23	Mensagens de C-ITS.	39
24	Mensagens de C-ITS.	40
25	Mensagens de C-ITS.	40
26	Mensagens de C-ITS.	41
27	Instalação da RSU no Mastro.	41
28	Desenho da Solução.	42
29	Planeamento Temporal do Projeto.	42
30	Cálculo do Índice de Sinistralidade.	43
31	Índice de Sinistralidade da A29.	43
32	Componente Técnica.	68
33	VAL	69
34	TIR	69
35	Payback	70
36	Soluções Possíveis para OBU's.	77

37	Soluções Possíveis para RSU's.	77
38	Fabricantes que já utilizam esta tecnologia.	78
39	Custo Anual de Equipamentos.	78
40	Custo Anual de Equipamentos.	78
41	Custo Anual de Equipamentos.	79
42	Pressupostos do Custo de Eletricidade.	79
43	Custo Energético Anual para a Capacidade Máxima de Funcionamento.	79
44	Custo Energético Total Anual.	79
45	Custo Energético Anual por Produto.	79
46	Investimento Total - Solução 1(Fabricante 1).	80
47	Investimento Total - Solução 2(Fabricante 2).	80
48	Investimento Total - Solução 3(Fabricante 1 w/Ascendi).	81
49	Estimativa do Valor de Feridos.	81
50	Índice de Sinistralidade - Concessão Norte.	82
51	Índice de Sinistralidade - Concessão Beiras Litoral e Alta.	82
52	Índice de Sinistralidade - Concessão Costa de Prata.	83
53	Índice de Sinistralidade - Concessão Grande Lisboa.	83
54	Índice de Sinistralidade - Concessão Grande Porto.	83
55	Índice de Sinistralidade - Pinhal Interior.	84

Lista de Tabelas

1	Tabela das Principais Alterações Introduzidas Pela Diretiva Europeia de 2023.	11
2	Casos de Estudo	22
3	Definição de Cenários.	28
4	Matriz Multicritério.	30
5	Definição de Cenários.	32
6	Definição de Cenários.	44
7	Autoestrada A29.	45
8	Concessão Costa de Prata.	46
9	Concessão Norte.	47
10	Concessão Beiras Litoral e Alta.	48
11	Concessão Grande Porto.	49
12	Concessão Grande Lisboa.	49
13	Concessão Pinhal Interior.	50
14	Custo Anual dos Equipamentos da Solução 1.	52
15	Custo Anual dos Equipamentos da Solução 2.	52
16	Custo Anual dos Equipamentos da Solução 3.	53
17	Taxa de Inflação Anual considerada para as Soluções 1,2 e 3.	53
18	Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 1 (Fabricante 1).	53
19	Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 2 (Fabricante 2).	54
20	Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 3 (Fabricante 1 W/Ascendi).	54
21	Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 1.	54
22	Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 2.	55
23	Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 3.	56
24	Valor Residual Líquido para a Solução 1.	57
25	Valor Residual Líquido para a Solução 2.	57
26	Valor Residual Líquido para a Solução 3.	58
27	Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 1.	59
28	Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 2.	59
29	Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 3.	60
30	Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 1.	61
31	Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 2.	61
32	Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 3.	61
33	Cash Flow - Solução 1.	62
34	Cash Flow - Solução 2.	62
35	Cash Flow - Solução 3.	62
36	Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 1.	63

37	Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 2	63
38	Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 3	64
39	Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 1	64
40	Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 2	65
41	Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 3.	65

Acrónimos e Siglas

Lista de Acrónimos e Siglas

C-ITS *Cooperative Intelligent Transport Systems.*

C-V2X *Cellular Vehicle-to-Everything.*

CA *Cooperative Awareness.*

CAM *Cooperative Awareness Message.*

CCAM *Cooperative, Connected and Automated Mobility.*

CE *Comissão Europeia.*

DENM *Decentralized Environmental Notification Message.*

DSRC *Dedicated Short-Range Communications.*

ETSI *European Telecommunications Standards Institute.*

HMI *Human Machine Interface.*

ITS *Intelligent Transport Systems.*

ITS-G5 *Intelligent Transport Systems - G5.*

ITS-S *Intelligent Transport Systems - Stations.*

MANET *Mobile Ad-hoc Network.*

MPTT *Maximum Power Point Tracking.*

NIA *National ITS Architecture.*

OBU *On Board Units.*

PMV *Painel de Mensagem Variável.*

POC Prova de Conceito.

PoE *Power over Ethernet.*

PTZ *Panoramic, Tilt, Zoom.*

PWM *Pulse Width Modulation.*

RSE *Road Side Equipment.*

RSU *Road Side Units.*

SAGT Sistema de Gestão do Tráfego.

TIR Taxa Interna de Rentabilidade.

UE União Europeia.

V2I *Vehicle-to-Infrastructure.*

V2V *Vehicle-to-Vehicle.*

V2X *Vehicle-to-Everything.*

VAL Valor Atualizado Líquido.

VANET Vehicular Ad-hoc Network.

1 Introdução

A mobilidade cooperativa e os avanços tecnológicos na gestão das infraestruturas rodoviárias têm vindo a desempenhar um papel crucial no desenvolvimento de soluções para enfrentar os desafios da segurança, eficiência e sustentabilidade no setor dos transportes. Neste contexto, o presente capítulo apresenta o enquadramento, objetivos e descrição detalhada do projeto, que visa a explorar e avaliar as potencialidades destas tecnologias no âmbito das operações da Ascendi. Em complemento, neste estudo procura-se responder às necessidades emergentes do setor, promovendo a inovação e o alinhamento com as metas globais de sustentabilidade e segurança rodoviária [1].

1.1 Contextualização

A proposta para a realização deste projeto surgiu com o objetivo de alinhar a Ascendi com iniciativas semelhantes já em desenvolvimento a nível europeu. Paralelamente, a empresa está a procurar reforçar a sua posição no mercado, acompanhando os avanços das empresas concorrentes, que já se encontram em fase de testes em projetos desta natureza.

O projeto foi desenvolvido na sede da Ascendi, situada na Boavista, em horário semanal das 9h às 17h, integrando a equipa de Telemática da empresa.

A evolução do mercado de *Cooperative Intelligent Transport Systems* (C-ITS) tem impulsionado o desenvolvimento e a implementação de tecnologias inovadoras, com o objetivo de melhorar a operação, segurança, eficiência e sustentabilidade das infraestruturas rodoviárias. Estes sistemas, que integram veículos, infraestruturas e utilizadores por meio de uma conectividade avançada, estão a revolucionar a forma como os sistemas de transporte interagem, proporcionando uma gestão mais inteligente e responsiva [1].

A implementação de soluções C-ITS é crucial para enfrentar desafios globais na segurança rodoviária, na qual se mantém uma preocupação significativa. Com cerca de 1,3 milhões de mortes e 50 milhões de feridos anuais em acidentes rodoviários, a ONU estabeleceu metas ambiciosas, incluindo a redução em 50% das mortes e lesões até 2030. Este plano reforça a necessidade de uma interação segura entre infraestrutura, pessoas e veículos [2].

A Ascendi, como gestora de infraestruturas rodoviárias, está comprometida em liderar a transição para uma mobilidade mais segura e sustentável, investindo na inovação e na implementação de sistemas avançados. Assim, os *Intelligent Transport Systems* (ITS), que combinam tecnologias de monitorização, recolha e processamento de dados para otimizar a gestão do tráfego e a segurança, têm sido essenciais para proporcionar viagens mais eficiente e seguras.

Estes sistemas permitem não apenas melhorar o conforto dos utilizadores, mas também atender aos requisitos contratuais e legais. No entanto, a integração de tecnologias como os C-ITS,

apresentam desafios técnicos significativos. A Ascendi enfrenta a necessidade de garantir uma disponibilidade contínua e uma resolução rápida de incidentes relacionados aos sistemas ITS, bem como a manutenção preventiva e corretiva. Estes esforços são cruciais para assegurar a segurança dos utilizadores e manter a competitividade no mercado [1].

Assim, este projeto, enquadra-se nesta estratégia, procurando avaliar as soluções disponíveis e identificar os benefícios e desafios associados. Este estudo contribuirá para a melhoria dos processos internos, mas também posicionará a Ascendi como uma referência na adoção de tecnologias avançadas para uma mobilidade mais segura.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é estudar, analisar e desenvolver uma solução tecnológica que integre os C-ITS com tecnologias *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) e *Vehicle-to-Everything* (V2X), promovendo melhorias na segurança, eficiência e experiência dos utilizadores das autoestradas.

A solução proposta deverá incluir a integração de dispositivos de comunicação com veículos *On Board Units* (OBU)'s, unidades de comunicação nas infraestruturas rodoviárias *Road Side Units* (RSU)'s e uma plataforma centralizada para a gestão e análise da informação gerada.

A abordagem do projeto inclui três etapas principais:

- Suporte Teórico: Revisão detalhada dos requisitos técnicos e funcionais aplicáveis, bem como das tecnologias e produtos disponíveis no mercado, incluindo normas, protocolos de comunicação e legislação em vigor;
- Desenvolvimento da solução: Elaboração do design da arquitetura do sistema, especificação dos equipamentos necessários, definição das concessões rodoviárias onde a implementação será mais vantajosa e tecnologias de comunicação;
- Análise de investimento: Realização de uma análise de custo-benefício detalhada para avaliar a viabilidade económica da solução.

Por fim, este projeto contribuirá diretamente para a elaboração da Dissertação, consolidando os resultados e promovendo uma implementação estruturada e bem-sucedida dos sistemas C-ITS com as tecnologias V2V, V2I e V2X, nas autoestradas geridas pela Ascendi.

1.3 Organização do Documento

A escrita deste projeto será desenvolvida em seis capítulos distintos, cada um deles aborda aspetos específicos do projeto desenvolvido.

No primeiro capítulo, encontra-se a introdução, onde é feita uma breve abordagem do projeto, incluindo a contextualização. Além disso, estão presentes os objetivos a serem alcançados ao longo do desenvolvimento do projeto, e é ainda realizada a descrição do projeto assim como a respetiva calendarização.

O segundo capítulo aborda um suporte teórico, e encontra-se subdividido em seis secções. Cada uma destas secções abrange os conceitos teóricos relativamente aos sistemas C-ITS, inclui também as soluções estudadas que vão ser essenciais para o desenvolvimento do projeto, adicionalmente, são descritas também algumas das implementações que já foram desenvolvidas em alguns países/cidades Europeias.

1.3. Organização do Documento

O capítulo 3 é dedicado à implementação da solução, este está organizado em cinco subcapítulos. Nele são apresentados os casos de estudo utilizados, a arquitetura do projeto, a definição dos cenários de aplicação, bem como as fases de implementação da proposta final.

No capítulo 4 realiza-se uma análise de investimento relativamente às três soluções desenvolvidas. É avaliada a viabilidade técnica e financeira de cada solução, através do cálculo de indicadores económicos como o Valor Atualizado Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR). Esta análise visa fundamentar a escolha da solução mais vantajosa do ponto de vista económico.

O capítulo 5 apresenta uma análise final comparativa das soluções propostas, considerando as suas vertentes técnicas e financeiras. Com base nesta avaliação, é realizada uma síntese conclusiva, na qual se identifica a solução considerada mais adequada para implementação no contexto das infraestruturas geridas pela Ascendi.

O último capítulo, refere-se à conclusão deste trabalho. Neste, são apresentados os principais pontos abordados ao longo do desenvolvimento do projeto, análise dos resultados obtidos e a avaliação do impacto do projeto no contexto estudado.

2 Suporte Teórico

Neste capítulo apresenta-se uma base teórica para o projeto, apresentando uma revisão da literatura que abrange os principais temas relacionados à integração dos ITS e dos C-ITS. Serão abordadas as diretivas e normas atualizadas sobre o tema, os principais equipamentos utilizados, bem como as tecnologias e protocolos de comunicação mais relevantes. Com a compreensão aprofundada destes tópicos, torna-se mais simples avançar para a fase de desenvolvimento do trabalho.

2.1 Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS)

Os ITS representam um avanço significativo na gestão e operação dos sistemas de transporte. Eles utilizam tecnologias de comunicação, sensores e processamento de dados para otimizar o tráfego, e melhorar a segurança nas estradas. Integrando veículos, infraestruturas e utilizadores, os ITS visam reduzir os impactos negativos do trânsito, como congestionamentos, além de melhorar a experiência dos utilizadores nas vias. Estas tecnologias são aplicadas em diversos cenários, desde a gestão de tráfego em centros urbanos até à segurança em autoestradas [3].

O principal objetivo dos ITS é melhorar a segurança e a mobilidade, além de reduzir os efeitos negativos do trânsito. Isso é alcançado por meio da integração de tecnologias de comunicação nos veículos e nas infraestruturas urbanas. Os sistemas ITS não se limitam a melhorar o fluxo dos veículos, o que provoca a mitigação dos inconvenientes causados pelos congestionamentos nas estradas, mas também ajudam a tornar o setor dos transportes mais seguro, sustentável, por exemplo com a diminuição de combustível e conseqüentemente as emissões de CO₂[4].

Para compreender melhor a dinâmica das pessoas, os ITS geram uma grande quantidade de dados, auxiliando pesquisadores e profissionais no desenvolvimento de ferramentas interativas de visualização e expandindo as suas pesquisas. A melhoria da infraestrutura de transporte é crucial para o desenvolvimento económico. Neste contexto, os ITS surgem como soluções para a mobilidade sustentável, utilizando tecnologias de informação, comunicação e controlo que aumentem o desempenho e a eficiência das operações na rede de transporte, promovendo maior conforto e segurança, além de melhorar a qualidade de vida e preservar o meio ambiente [4] [3].

2.1.1 Arquitetura

A arquitetura dos ITS é projetada para garantir a integração eficiente dos seus componentes e permitir uma comunicação contínua entre veículos, infraestruturas e utilizadores. Esta arquitetura pode ser dividida em quatro elementos principais: centros de controlo, infraestrutura rodoviária, veículos e utilizadores finais, representado na figura 1. Os centros de controlo (Central C-ITS Platform, figura 1), funcionam como o núcleo do sistema, sendo responsáveis pela gestão centralizada dos dados e pela coordenação de serviços, como o ajuste dinâmico de semáforos e a

gestão de emergências. A infraestrutura rodoviária inclui dispositivos como sensores, câmeras e unidades de comunicação instaladas ao longo das vias, conhecidas como RSU's, que recolhem e transmitem informações críticas sobre o tráfego e as condições das estradas. Os veículos desempenham um papel fundamental na arquitetura, sendo equipados com sistemas OBU's que permitem a comunicação com outros veículos V2V e com a infraestrutura V2I. Finalmente, os utilizadores têm acesso a informações relevantes através de aplicações móveis e dispositivos conectados, que facilitam a tomada de decisões em tempo real [5].

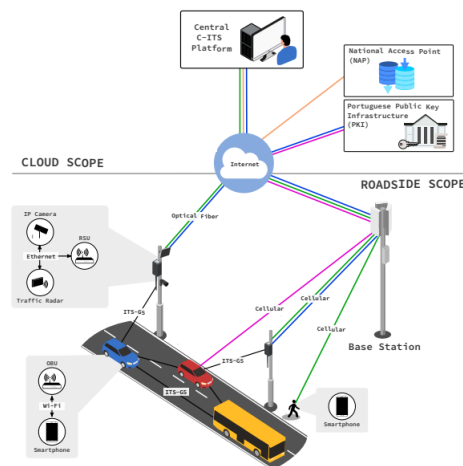


Figura 1: Exemplo da Arquitetura dos Sistemas C-ITS [6].

No contexto global, diferentes arquiteturas foram desenvolvidas para atender às especificidades e necessidades dos utilizadores. Por exemplo, a arquitetura norte-americana *National ITS Architecture* (NIA), concentra-se na definição clara das funções de cada componente do sistema, enquanto que a arquitetura europeia (ITS ISO CALM) destaca-se pela integração da comunicação, como 3G/4G/5G e Wi-Fi. Já a arquitetura japonesa, desenvolvida no âmbito do projeto Smartway, enfatiza a comunicação eficiente entre veículos e infraestrutura, utilizando protocolos de comunicação como o DSRC (Dedicated Short-Range Communications). Apesar das diferenças, todas estas arquiteturas compartilham o objetivo de criar sistemas flexíveis que possam evoluir com o avanço da tecnologia [7].

2.1.2 Tipos de Aplicação ITS

Os ITS englobam uma ampla gama de aplicações que visam resolver desafios da mobilidade. Entre as principais aplicações destaca-se a gestão de tráfego, que utiliza tecnologias avançadas para monitorizar e controlar o fluxo de veículos em tempo real. Sistemas de sincronização inteligente de semáforos e Painel de Mensagem Variável (PMV)'s que fornecem informações atualizadas aos condutores, permitindo que tomem a melhor decisão sobre rotas e horários, reduzindo congestionamentos e economizando tempo e combustível [7].

Além disso, os ITS desempenham um papel crucial na segurança rodoviária. Tecnologias como sistemas de alerta de colisão, deteção de pessoas na via e o controlo automatizado da velocidade têm demonstrado uma significativa redução de acidentes. Estes sistemas utilizam sensores e algoritmos avançados para identificar perigos potenciais e notificar os condutores com antecedência, contribuindo para uma condução mais segura [8].

Assim, é realmente importante que os governos passem a tomar decisões mais conscientes quando se trata da implementação dos sistemas ITS nas vias. Estes sistemas não promovem

2.2. Sistemas de Transporte Inteligentes Cooperativos (C-ITS)

apenas um ambiente mais seguro para todos os que utilizam as vias, como também contribuem para uma mobilidade mais organizada [8][3].

2.2 Sistemas de Transporte Inteligentes Cooperativos (C-ITS)

Existem muitas pesquisas sobre tecnologias destinadas a melhorar a eficiência, segurança e desempenho dos transportes rodoviários, os sistemas C-ITS, têm como principal objetivo melhorar os sistemas de comunicação entre veículos.

Estes sistemas são estudados para garantir um conjunto de serviços que aumentem a segurança nas estradas e otimizem a gestão do tráfego. Assim, os C-ITS são definidos como sistemas que permitem uma interação direta de dois ou mais subsistemas, normalmente a comunicação V2V, V2I, bem como a comunicação entre veículos e peões ou ciclistas V2X, permitindo assim a oferta de um serviço ITS com maior qualidade e nível de desempenho, em comparação com o mesmo serviço fornecido por apenas um desses subsistemas, como é possível observar na figura 2 [7] [9].

Conforme descrito pela Plataforma de Implantação de C-ITS da Comissão Europeia (CE), que promoveu o diálogo, intercâmbio de conhecimentos técnicos e cooperação entre a comissão, os stakeholders públicos dos Estados Membros bem como fabricantes de veículos, os sistemas C-ITS utilizam tecnologias de comunicação de curta distância ad hoc (como o ETSI ITS G5), além de tecnologias complementares de comunicação de longa distância (como 3G, 4G e, no futuro, 5G). [10] Estas tecnologias viabilizam a comunicação entre veículos, sinais de trânsito, infraestrutura rodoviária e outros utilizadores da via. As estações C-ITS são um conjunto de componentes de hardware e software necessários para recolher, armazenar, processar, receber e transmitir mensagens seguras, estas estações podem ser móveis instaladas num veículo ou sob a forma de um dispositivo pessoal portátil [11].

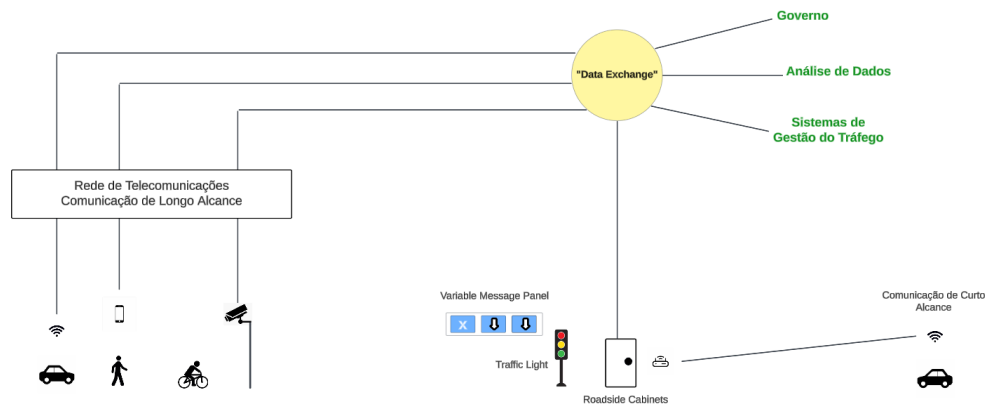


Figura 2: Arquitetura dos Sistemas C-ITS.

2.3 Plataforma C-ITS Europeia

A CE está a fazer esforços significativos no campo da comunicação C-ITS, com o objetivo de criar uma estrutura de referência para apoiar as políticas de *Cooperative, Connected and Automated Mobility* (CCAM). A questão é bastante complexa, pois apresenta várias implicações a serem consideradas. Em particular, a estratégia dos sistemas C-ITS da UE visa a desenvolver uma visão comum sobre este tema, a fim de reunir os esforços dos diferentes intervenientes envolvidos.

Para este propósito, a CE, no início de 2014, criou a Plataforma C-ITS, concebida como uma estrutura cooperativa com vista ao desenvolvimento de uma visão partilhada para a implementação interoperável de sistemas C-ITS na UE. Mais tarde, em 2016, os Estados-Membros lançaram a Plataforma C-Roads, que é constituída por vários países europeus, para coordenar as atividades de implementação dos C-ITS em toda a União Europeia [11].

2.4 Impacto das Mensagens de C-ITS nas Autoestradas

As mensagens dos sistemas C-ITS desempenham um papel crucial nas autoestradas, promovendo uma maior segurança, e suporte à integração de veículos autónomos. Estas mensagens, que facilitam a comunicação V2V, V2I, e V2X, esta é uma das partes fundamentais do bom funcionamento dos sistemas C-ITS's [12][8].

Assim, a estratégia europeia no que diz respeito aos sistemas C-ITS's, engloba alguns serviços, neste trabalho abordar-se-á os que são mais pertinentes para as autoestradas como:

- Aproximação de um Veículo de Emergência (EVA): Quando um veículo de emergência (ambulância, polícia, bombeiros) se aproxima, este serviço permite que os veículos saibam antecipadamente, dando-lhes tempo para se afastarem de modo a facilitar-lhes a passagem [13];
- Veículo(s) Lento(s) ou Imóvel(is) (SSV): este é um serviço muito útil relativamente às autoestradas, pois pode alertar os condutores sobre veículos lentos ou mesmo imobilizados à frente, deste modo previne-se o tráfego lento que leva ao congestionamento na autoestrada, e por isso um melhor aproveitamento da mesma [13];
- Notificação de Localização Perigosa (HLN): Deste modo pode-se alertar os condutores para perigos específicos em autoestradas, como curvas acentuadas, zonas de risco devido a condições meteorológicas adversas ou obstáculos na via [13];
- Alerta de Obras na Estrada (RWW): Em autoestradas, as obras podem interromper a fluidez do tráfego. Este serviço alerta os condutores sobre trabalhos em andamento, permitindo que ajustem sua velocidade e comportamento para evitar acidentes [13];
- Condições Meteorológicas (WTC): Este serviço é muito relevante nas autoestradas, onde as condições meteorológicas, como gelo ou ventos fortes, podem afetar significativamente a segurança dos condutores. Ao fornecer informações meteorológicas em tempo real, o serviço ajuda os motoristas a tomar decisões informadas sobre a condução [13];

Como demonstrado pelos serviços que a União Europeia (UE) pretende implementar, as mensagens C-ITS têm um impacto direto na redução de acidentes e no aumento da segurança rodoviária. É previsível que, com o tempo, os veículos autónomos se tornem cada vez mais comuns e circulem com maior frequência nas vias. Durante testes realizados em Portugal pela plataforma europeia C-Roads, em autoestradas como a A9-CREL, por exemplo, verificou-se que veículos autónomos ajustaram automaticamente a sua velocidade ao se aproximarem de zonas de perigo, o que permitiu uma resposta mais rápida e contribuiu para a minimização de riscos.

Além de auxiliar os veículos autónomos, estas mensagens também ajudam a reduzir o erro humano, um dos principais fatores que contribuem para acidentes de trânsito. Ao fornecer informações precisas, o sistema promove um ambiente de condução mais previsível. Durante os testes realizados em Portugal, foi demonstrado que os veículos recebiam as mensagens das unidades instaladas na infraestrutura RSU's e reagem conforme o esperado [12].

Assim, *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) definiu dois tipos diferentes de mensagens, nomeadamente as *Cooperative Awareness Message* (CAM) e as *Decentralized Environmental Notification Message* (DENM), com diretrizes de disseminação relacionadas [13][12].

2.4.1 Cooperative Awareness Message (CAM)

As CAM são trocadas na rede ITS entre *Intelligent Transport Systems - Stations* (ITS-S), que são unidades do sistema que fazem parte do sistema ITS e podem estar localizadas em veículos, infraestruturas, centros de controlo, entre outros. Estas mensagens contêm informações do estado e atributos da ITS-S que as origina, com o conteúdo variando de acordo com o tipo de ITS-S, ou seja, se for por exemplo entre um semáforo e um veículo, a mensagem enviada do semáforo será "Posição X, Luz Verde, dimensões X", esta informação, vai assim ser recebida pelo veículo que deve atuar segundo a mensagem recebida, neste caso deve avançar sem precisar de travar ou parar, por outro lado, as CAM's também são utilizadas nas autoestradas para garantir um fluxo de tráfego mais suave. Por exemplo, se um veículo à frente começar a desacelerar ou parar, ele pode enviar uma mensagem para os outros veículos. Com isso, os veículos que recebem a mensagem poderão começar a desacelerar de forma gradual, evitando a necessidade de parar completamente. Esta abordagem ajuda a reduzir o congestionamento e melhora a fluidez do tráfego [14][15].

A *Cooperative Awareness* (CA) é um sistema responsável por gerar as CAM's, conforme descrito na norma ETSI EN 637-2 V1.3.1 [16], Além disso, as mensagens podem ser usadas noutras camadas do sistema, como as camadas de rede e transporte, para a disseminação de mensagens dependentes de posição, como as DENM. Este processo pode ser realizado por meio de tecnologias como o GeoBroadcastin, que permite a distribuição de mensagens com base na localização geográfica dos veículos e outros elementos da infraestrutura [15].

2.4.2 Decentralized Environmental Notification Message (DENM)

As DENM referem-se a mensagens que são geradas e enviadas de forma descentralizada para notificar sobre eventos ambientais ou situações de risco. Estas mensagens são utilizadas principalmente em sistemas de comunicação de veículos e de sensores, como parte de ITS [13][15].

A ativação de uma DENM ocorre quando é detetado um evento significativo que possa afetar a segurança, a mobilidade ou o ambiente, como acidentes, condições meteorológicas adversas, obras rodoviárias, ou qualquer outro incidente que exija uma intervenção imediata. A principal característica das DENM é a sua capacidade de ser gerada de maneira autónoma e distribuída, sem depender de um centro de controle centralizado, utilizando por exemplo, redes de comunicação [14].

O objetivo das DENM é garantir que as partes interessadas, como motoristas, veículos, sistemas de tráfego ou entidades responsáveis pela gestão da segurança, recebam informações relevantes e atualizadas sobre o evento, possibilitando uma resposta rápida e eficaz [14].

2.5 Comunicações em C-ITS (Legislação)

Para que os sistemas C-ITS sejam implementados com sucesso, é fundamental que sigam normas específicas, geralmente estabelecidas por entidades como as normas ETSI, as ISO e as diretivas europeias. Estas normas definem os requisitos necessários para a implementação dos sistemas, incluindo aspetos como a regulamentação das frequências utilizadas pelos equipamentos. Além disso, no contexto da rede transeuropeia C-ITS, as normas ETSI desempenham um papel crucial.

Por exemplo, a norma ETSI EN 302 637-3 V2.3.1 [17] especifica as DENM's, as mensagens utilizadas em redes V2X para notificações descentralizadas de eventos, como já referidas anteriormente no subcapítulo 2.3.2.

Outro exemplo relevante é a norma ETSI TS 102 637-2 V1.2.1 (2011) [18], que descreve o CA, referido no capítulo 2.3.1, esta especificação regula como as mensagens CAM's, explicado também no capítulo 2.3.1, devem ser geradas, transmitidas e utilizadas para melhorar a interação e a cooperação entre veículos e veículos com a infraestrutura.

Relativamente por exemplo à norma ETSI EN 302 663 [19], esta aborda o protocolo de comunicação ITS-G5, que o define como um protocolo de comunicação sem fio de curta distância para sistemas de transporte inteligentes, que será abordado de uma forma mais concisa, no capítulo 2.5.2. Esta norma oferece a base tecnológica para garantir comunicações confiáveis e rápidas, essenciais para suportar aplicações de segurança nos sistemas C-ITS.

Uma das diretivas mais relevantes atualmente no campo dos sistemas C-ITS é a Diretiva Europeia 2023/2661 [20], que trouxe alterações significativas à Diretiva 2010/40/UE [21]. Esta atualização será abordada com mais detalhes no capítulo seguinte, com o objetivo de detalhar de forma mais aprofundada como estes sistemas devem ser implementados e quais os requisitos que devem ser tidos em conta para garantir a sua eficácia e conformidade.

2.5.1 Diretiva Europeia

A Diretiva (UE) 2023/2661 [20], é uma atualização da Diretiva (UE) 2010/40/UE [21], algumas das alterações desta diretiva estão descritas na tabela 1. Esta diretiva tem como principais metas transformar o sistema de transporte rodoviário na União Europeia, esta norma é por isso muito importante no que diz respeito a sistemas C-ITS, e os seus principais objetivos são:

- Implementação de sistemas ITS: A diretiva procura promover a adoção coordenada de tecnologias inteligentes e interoperáveis no transporte rodoviário, fomentando uma mobilidade intermodal que seja conectada e automatizada [20];
- Promoção da Mobilidade Sustentável: Em sintonia com a Estratégia de Mobilidade Sustentável e Inteligente, o objetivo é tornar o transporte europeu mais eficiente e seguro, com a meta de reduzir significativamente as mortes no trânsito até 2050 [20];
- Simplificação na Apresentação de Relatórios: Para facilitar a comunicação entre os Estados-Membros e a Comissão Europeia, a diretiva propõe um modelo de relatório único a cada três anos, substituindo diversas obrigações existentes;
- Fortalecimento da Cooperação Internacional: Há também um incentivo para que a Comissão e os Estados-Membros colaborem com países terceiros, incluindo candidatos à adesão à UE, ampliando o impacto das políticas de mobilidade;
- Delegação de Competências à Comissão: A diretiva concede à Comissão a responsabilidade de criar e atualizar programas de trabalho e modelos de relatórios, garantindo uma implementação uniforme e eficaz entre os países-membros;

Tabela 1: Principais Alterações Introduzidas Pela Diretiva Europeia de 2023.

Alteração Introduzida (2023/2661)	Descrição da Alteração	Relação com os Sistemas C-ITS
Integração Intermodal e Sustentabilidade	Promove a integração dos sistemas rodoviários com outros modos de transporte, como ferroviário e mobilidade ativa, alinhado com os objetivos climáticos.	Facilita a comunicação entre modos de transporte e promove a sustentabilidade nos sistemas C-ITS.
Maior Disponibilidade e Qualidade de Dados	Estímulo ao uso de pontos de acesso nacionais (NAPs) para organizar e reutilizar dados de transporte, assegurando a interoperabilidade na UE.	Assegura que dados essenciais para a operação de serviços C-ITS sejam amplamente acessíveis e reutilizáveis.
Segurança Rodoviária e Automatização	Introdução de tecnologias cooperativas (C-ITS) para aumentar a segurança, automatização e comunicação segura entre veículos e infraestrutura.	Permite uma maior segurança em serviços cooperativos através da comunicação em tempo real.
Harmonização e Redução de Fragmentação	Resolve a fragmentação na implementação dos serviços, garantindo continuidade geográfica e melhor cooperação entre os Estados-Membros.	Garante que os serviços C-ITS sejam contínuos e interoperáveis em toda a União Europeia.
Ampliação dos Objetivos	Inclui tecnologias emergentes como inteligência artificial e sistemas avançados de assistência ao condutor.	Incorpora funcionalidades avançadas e tecnologias inovadoras nos sistemas C-ITS.
Obrigatoriedade na Disponibilização de Dados e Serviços	Exige que certos dados e serviços sejam fornecidos em formatos digitais legíveis por máquina, promovendo uniformidade em toda a UE.	Estabelece que existam dados digitais para serviços C-ITS, assegurando a sua disponibilidade e uniformidade.

2.6 Soluções Estudadas

Com o avanço da tecnologia, torna-se cada vez mais urgente encontrar soluções para proporcionar viagens mais seguras e com menos acidentes, assim tem aumentado substancialmente a crescente procura por sistemas de transporte mais eficientes e mais seguros. Este capítulo apresenta as principais tecnologias que têm vindo a ser usadas na atualidade, e que se irão manter no futuro, apresenta-se o conceito da interoperabilidade entre sistemas, protocolos de comunicação e equipamentos de via, conhecidos como *Road Side Equipment (RSE)*.

2.6.1 Interoperabilidade

A interoperabilidade é a capacidade de diferentes sistemas ou componentes de trocar informações. Num contexto tecnológico, a interoperabilidade refere-se à habilidade de sistemas distintos, que podem ter diferentes arquiteturas e tecnologias, de interagir, sem interrupções ou falhas. Esta integração é fundamental, especialmente em cenários complexos, como os sistemas C-ITS, onde múltiplos dispositivos, devem trabalhar em conjunto. No contexto europeu, a interoperabilidade, tem sido impulsionada pela iniciativa C-ROADS. Este projeto contempla a implementação de serviços que asseguram a comunicação entre veículos e infraestrutura [13].

Assim, a interoperabilidade é assegurada por meio de protocolos de comunicação que permitem a troca de dados entre veículos e infraestruturas de forma confiável. A importância da interoperabilidade no setor dos transportes é indiscutível, não só possibilita a comunicação eficiente entre sistemas e dispositivos, mas também é essencial para a criação de soluções de transporte inteligentes, que podem responder em tempo real a variáveis como congestionamentos, acidentes ou condições meteorológicas. Além disso, como já abordado anteriormente, assegura que os sistemas de diferentes fabricantes e países possam trabalhar em conjunto, promovendo um ambiente de colaboração internacional [22].

2.6.2 Tecnologias de Comunicação

Os protocolos de comunicação que são utilizados, para fazer a comunicação a nível europeu, ou seja a troca de dados entre os vários sistemas, é o ITS-G5 e o C-V2X. No entanto, outros dois tipos de linguagens são também usados na europa, não se destinando à comunicação entre veículos e veículo com a infraestrutura mas sim entre sistemas centrais, o Datex II e o Datex C-ITS.

2.6.2.1 DATEX II

O DATEX II insere-se numa norma europeia que facilita a troca de dados e informações de tráfego, independentemente do idioma ou formato utilizado, a nível europeu. Este é usado para conectar diferentes sistemas de controlo de tráfego ao longo da Europa, garantindo a interoperabilidade e a comunicação sem falhas entre diversos centros de controlo. Isto é especialmente importante em sistemas como o ITS, onde a troca rápida e precisa de informações é essencial. Com a crescente presença de veículos autónomos, o DATEX II tornou-se ainda mais relevante, oferecendo uma base confiável para o fornecimento de instruções a estes veículos. A maior vantagem desta linguagem universal, é a sua importância num cenário de troca de informação entre centros de controlo de tráfego e plataformas de gestão de transporte [23].

2.6.2.2 Datex C-ITS

O DATEX C-ITS é uma extensão do DATEX II, desenvolvido para atender às necessidades específicas dos C-ITS. Este formato desempenha um papel importante na comunicação entre infraestruturas fixas, como centros de controlo de tráfego, com veículos e unidades de infraestrutura rodoviária RSU's. Ele atua como uma ponte intermediária, convertendo informações provenientes de formatos tradicionais de gestão de tráfego em dados compatíveis com os requisitos dos sistemas cooperativos.

O principal objetivo do DATEX C-ITS é garantir que as informações de tráfego sejam interpretadas de forma clara, possibilitando a sua transmissão para veículos e outros dispositivos por meio de tecnologias, como o ITS-G5.

Assim, tanto o DATEX II como o DATEX C-ITS podem ser considerados "linguagens" de comunicação em redes de veículos. No entanto, eles não são utilizados para a comunicação V2V ou V2I. Em vez disso, são usados na troca de informações entre os sistemas que antecedem essas comunicações, como centros de controlo de tráfego e plataformas de gestão, que processam e preparam os dados para serem enviados posteriormente aos veículos [24].

2.6.2.3 ITS-G5

Dois dos principais protocolos de comunicação de veículo que utilizam a faixa de frequência de 5,9 GHz surgiram nos últimos anos: por um lado, o protocolo *Dedicated Short-Range Communications* (DSRC), desenvolvido nos EUA, e, por outro, o protocolo (ITS)-G5, desenvolvido pelo ETSI. Como neste projeto apenas se vai estudar um projeto que posteriormente poderá ser desenvolvida na Europa, o protocolo que vai ser abordado ao longo do projeto é o ITS-G5[25].

O ITS-G5 é uma tecnologia de comunicação sem fio projetada especificamente para sistemas C-ITS. Esta tecnologia é compatível com a norma europeia, baseado no WiFi, conhecida como IEEE 802.11p. O ITS-G5 foi desenvolvido com o fim de oferecer comunicações que não exijam uma alta cobertura, e em curtas distâncias, de até 1000 metros, e utiliza uma faixa de frequência dedicada de 5,9 GHz, reservada para aplicações de segurança rodoviária e eficiência no tráfego[25][24].

2.6. Soluções Estudadas

Nesta arquitetura as informações são enviadas pelo operador em formato DATEX II, que será abordado neste capítulo, para o PFro, que é um sistema de gestão de dados. O PFro transmite os dados em formato CITS DATEX para as RSU's, que dizem respeito aos equipamentos que estão instalados nas infraestruturas, que convertem esses dados em mensagens C-ITS em ITS-G5, como está demonstrado na figura 3 [24].

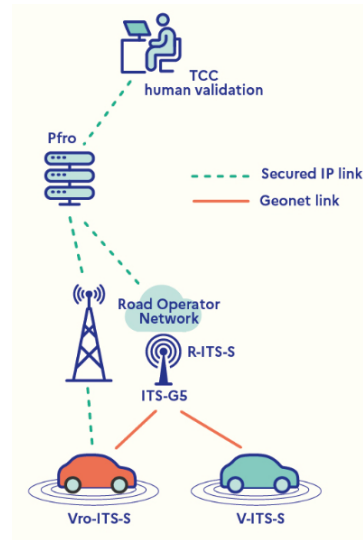


Figura 3: Protocolo de Comunicação: ITS-G5 [24].

Conforme ilustrado na Figura 3, o esquema apresenta diversos elementos, entre os quais se destaca o componente "TCC Human Validation", responsável pela supervisão e validação dos dados recebidos, garantindo a sua integridade e fiabilidade antes de serem processados pelas restantes camadas do sistema, este está conectado diretamente com o "Pfro", que atua como uma camada intermediária para processar as informações, antes de transmitir para as infraestruturas da rede, que por sua vez se conecta à "Road Operator Network", que representa a infraestrutura de comunicação que conecta os diferentes elementos do sistema. Por fim, apresenta-se o "R-ITS-S", uma estação ITS, que utiliza o protocolo ITS-G5. Assim, a comunicação será feita a partir desta estação ITS para os veículos, ambos têm que estar habilitados para poder receber esta informação [14].

Um dos aspetos relevantes a destacar na figura 3 diz respeito aos tipos de comunicação estabelecidos entre os diferentes sistemas. De acordo com a legenda, a linha verde tracejada representa uma ligação segura via IP, denominada "Secured IP link", que estabelece a comunicação entre o TCC (Traffic Control Center) e a R-ITS-S (Roadside ITS Station), utilizando o protocolo IP (Internet Protocol), apropriado para comunicações de longo alcance.

Por outro lado, a comunicação entre a estação R-ITS-S e os veículos é realizada através do protocolo ITS-G5, adequado para comunicações de curto alcance e em tempo real. A escolha de cada protocolo baseia-se, portanto, na distância e na natureza da interação: o protocolo IP é utilizado para ligações centralizadas e remotas, enquanto que o ITS-G5 é aplicado para a comunicação local direta entre os veículos, garantindo uma resposta rápida e eficaz às condições da via [14][24].

2.6.2.4 C-V2X

Como já foi abordado anteriormente o protocolo ITS-G5, baseado na norma europeia IEEE 802.11P, surgiu pela crescente procura por sistemas ITS e C-ITS, assim o *Cellular Vehicle-to-Everything* (C-V2X), que tem por base a norma 3GPP Release 14 [26], refere-se a uma versão

das especificações técnicas publicadas pelo 3rd Generation Partnership Project (3GPP), uma associação responsável por definir padrões para redes de telecomunicações. A tecnologia C-V2X é considerada uma alternativa viável para comunicações entre veículos, pelo facto da sua arquitetura de rede ser simplificada para gerir recursos que posteriormente proporcionam um menor custo e uma maior eficiência de desempenho [25].

Na figura 4, está representada uma comparação das duas tecnologias, ITS-G5 e C-V2X, com base num estudo feito, [24] em que era avaliado o desempenho das camadas MAC (Medium Access Control) de abos os sistemas.

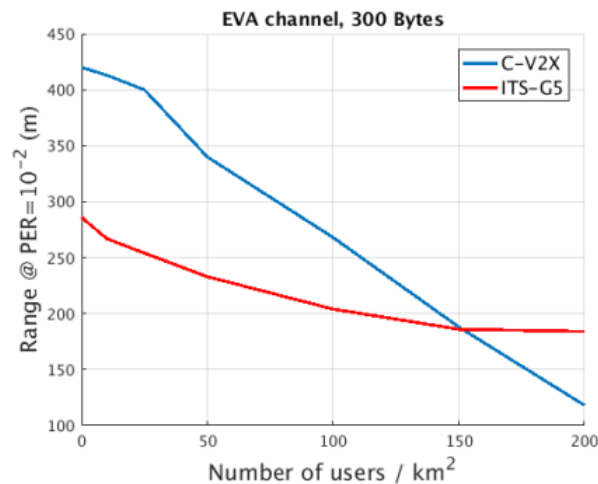


Figura 4: Comparação do ITS-G5 e C-V2X [25].

Assim, na figura 4, é representado o alcance obtido (com $PER=10^{-2}$) em relação ao nível de congestionamento da rede, medido em utilizadores por quilómetro quadrado. Deste modo, como é possível verificar, o C-V2X apresenta uma maior perda de alcance quando comparado ao ITS-G5. Contudo, em situações de baixa densidade de utilizadores, o C-V2X demonstra um alcance superior, principalmente devido à diferença nas taxas de dados, que se refere à quantidade de informação digital que pode ser transmitida por unidade de tempo, sendo 4,76 Mb/s para o *Intelligent Transport Systems - G5* (ITS-G5) e 2,4 Mb/s para o C-V2X. Já em cenários de alta densidade de utilizadores (acima de 150 usuários/km²), a tecnologia ITS-G5 acaba por se destacar [25].

Por fim, conclui-se que analisando o protocolo ITS-G5 e o C-V2X, em termos de congestionamento da rede, o C-V2X supera o ITS-G5, a nível de densidade de utilizadores menores que 150 utilizadores/km², no entanto o seu desempenho diminui significativamente com o aumento da densidade. Quanto ao tempo de resposta entre a emissão de uma mensagem e a sua receção, este é mais alto no ITS-G5 [25][27].

Uma das principais vantagens da tecnologia C-V2X é a sua arquitetura híbrida, que combina dois modos distintos de operação. O primeiro, denominado modo "Rede", ilustrado na figura 5, utiliza a infraestrutura das redes móveis existentes, como 4G e 5G, para estabelecer a comunicação entre o veículo e a rede central, possibilitando o acesso a serviços baseados na nuvem e oferecendo assim uma cobertura mais ampla.

O segundo modo, designado como modo "Direto", apresentado na figura 6, permite a comunicação direta entre veículos (V2V) e entre veículos e a infraestrutura rodoviária (V2I), sem depender de uma rede móvel intermediária. Este modo opera na frequência dedicada de 5,9 GHz, sendo ideal para aplicações que exigem baixa cobertura e elevada fiabilidade em ambientes locais. [27][28].

2.6. Soluções Estudadas



Figura 5: Comunicação C-V2X no modo "Rede"[29].

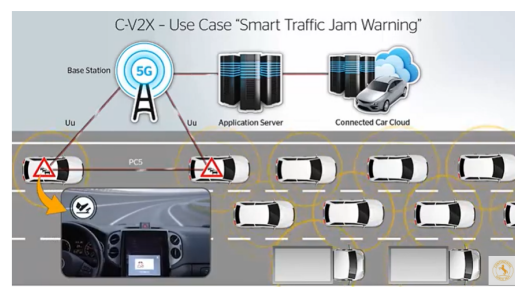


Figura 6: Comunicação C-V2X no modo "Direto"[29].

2.6.3 Equipamentos de Via (RSE)

A implementação de um sistemas como ITS e C-ITS, requer uma integração eficaz entre diversos componentes para assegurar a troca de informações em tempo real e a gestão eficiente do tráfego. Dentro deste contexto, destacam-se equipamentos fundamentais, que fazem com que esta comunicação exista. Assim, a descrição que a seguir se segue diz respeito a alguns destes equipamentos, em que cada um desempenha um papel específico na comunicação e processamento de dados, formando uma arquitetura que faz a conexão entre os veículos, infraestruturas e sistemas centrais de gestão.

- *"Traffic Management Support System"* (TMS (ou OSS): É o Sistema de Suporte à Gestão de Tráfego ou Terminal de Gestão (MT) informatizado, sob responsabilidade dos operadores de infraestrutura. Os dados são enviados ou recebidos no formato DATEX II [30].
- A *"Platform for Road Operators"* (PFro): Esta plataforma que anteriormente era conhecida como plataforma SCOOP, atua como um intermediário entre o TMS e as RSU's, tanto no envio como o recebimento das informações. Ela também traduz mensagens do TMS para adaptá-las à comunicação dos veículos [30].
- *"On-Board-Unit's"* (OBU's): Estas são estações ITS que estão instaladas nos veículos dos utilizadores. Estas estações conectam-se a uma interface homem-máquina (HMI) ou ao sistema de condução automatizada no caso de se tratar de um veículo autónomo. São capazes de transmitir mensagens automaticamente e manualmente pelo condutor via (HMI). O objetivo dos OBU's é receber informações de outros veículos ou estações que estão instaladas na beira da estrada e processarem as mensagens para desta forma transmitirem a informação ao condutor. Os OBU's não podem se comunicar diretamente com o PFro [30].
- *"Road-Side-Units's"* (RSU): Recebem informações do PFro, que posteriormente vão transmitir localmente para os veículos. Também recebem informações e solicitações dos veículos, que são processadas e enviadas ao TMS via PFro para tratar as informações de tráfego. Dependendo da rede, podem ser RSU's de retransmissão, que apenas recolhem dados de veículos, ou RSU's multifuncionais, que também recolhem os dados dos equipamentos em redor (semáforos, PMV's, etc.) ou sensores (câmeras, etc.) [30].

Um aspeto relevante a considerar é que a comunicação V2V pode dar origem à formação de redes móveis ad-hoc, conhecidas como Vehicular Ad-hoc Network (VANET). Estas redes constituem uma subcategoria das Mobile Ad-hoc Network (MANET), um tipo de rede de comunicação sem fios caracterizada pela ausência de uma infraestrutura centralizada.

O principal objetivo das VANET é permitir a comunicação direta entre veículos, sem a necessidade de recorrer a uma estação base central ou a um controlador. Entre os principais

elementos que compõem estas redes estão as RSU's responsáveis por facilitar a troca de informações entre os veículos e a infraestrutura, conforme ilustrado na Figura 7. [31].

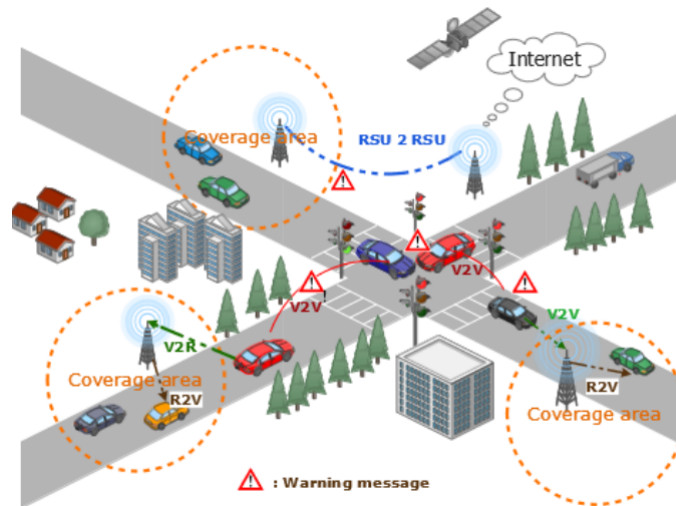


Figura 7: Comunicação entre as RSU's [31].

2.7 Implementação em Países Europeus

Como já foi mencionado anteriormente, a plataforma C-Roads é uma iniciativa europeia que reúne vários países com o objetivo de promover a implementação dos sistemas C-ITS. Os principais membros da plataforma C-Roads são autoridades estatais e operadores de infraestruturas, que trabalham em conjunto para garantir a implementação de serviços C-ITS interoperáveis e sem falhas, permitindo uma experiência fluida para os utilizadores europeus, mesmo em deslocções transfronteiriças [32].

Assim, neste capítulo serão abordados, três exemplos de implementação em dois países/cidades europeias: Bordéus e Hungria, importante referir que para efeitos desta tese apenas serão abordados estes dois países, no entanto participaram nesta iniciativa, mais de 50 cidades europeias [32].

2.7.1 Bordéus

A cidade de Bordéus desempenha um papel significativo no contexto da implementação do programa C-Roads Platform na Europa, sendo um dos locais escolhidos para testar soluções C-ITS. Estas iniciativas são essenciais para promover a mobilidade inteligente, aumentar a segurança rodoviária e reduzir os impactos ambientais associados ao transporte [32].

Bordéus tem investido em soluções avançadas de mobilidade para enfrentar problemas de tráfego, destacando-se o sistema "TMS Gertrude", um dos primeiros ITS Adaptativos em Tempo Real, e o lançamento de um serviço de elétrico em 2003. Atualmente, o transporte urbano integra 4 linhas de elétrico, uma rede de autocarros de alta capacidade, o sistema de bicicletas partilhadas "Vcub", barcos públicos no rio Garona (Batcub) e serviços de partilha de carros, formando uma cadeia intermodal [33].

2.7. Implementação em Países Europeus

Desde 2021, um novo plano de mobilidade urbana cobre o período 2020-2030, com metas como reduzir viagens de carro em 10% e fomentar o transporte público (incluindo 7 linhas de autocarros expressos e soluções intermodais). O objetivo é também promover modos de transporte sustentáveis, como ciclismo e caminhadas, adaptando a logística urbana e descarbonizando a mobilidade com uma Zona de Emissão Reduzida (LEZ) prevista para 2025 [33].

Complementando estas iniciativas, Bordéus tem testado soluções C-ITS em larga escala, que permitem comunicação entre veículos e infraestruturas. Estas soluções visam reduzir o uso de carros privados na área urbana (de 49% para 33% até 2030), diminuir impactos ambientais e fomentar o desenvolvimento digital, alinhando-se às orientações da metrópole [33] [34].

Um projeto-piloto foi criado com uma aplicação para smartphones, que atua como uma estação C-ITS, "Coopits", figura 8. A integração futura com veículos permitirá a exibição de informações em tempo real. Estudos do governo francês demonstram que o uso seguro de smartphones na condução pode reduzir acidentes e emissões. Com o avanço do 5G, estas soluções tornar-se-ão ainda mais eficazes, mostrando viabilidade económica e benefícios sustentáveis [33].

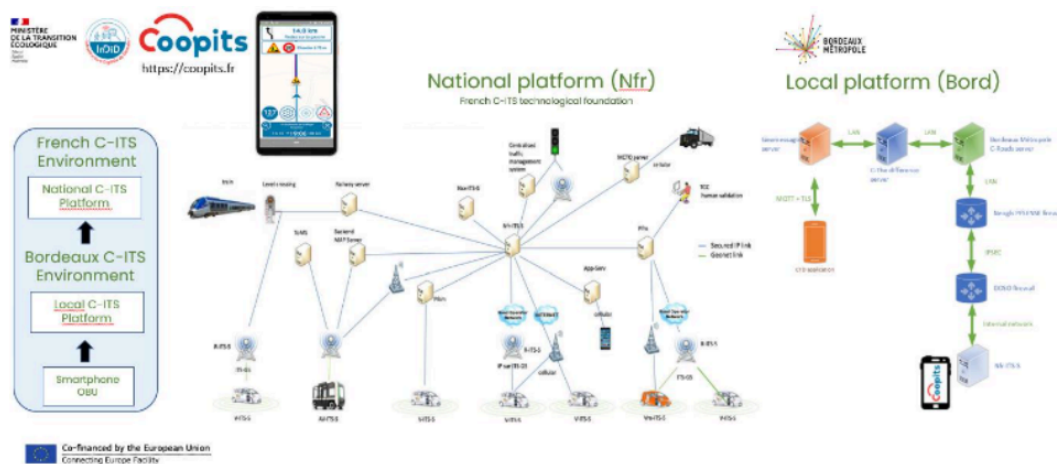


Figura 8: Arquitetura e Plataforma Local Francesa de C-ITS [33].

De uma maneira geral, as principais considerações do projeto em Bordéus incluem a introdução de soluções tecnológicas que otimizem o fluxo de tráfego, reduzam congestionamentos e melhorem a eficiência dos transportes públicos. Assim, a cidade apostou fortemente nas tecnologias V2X, que permitem a comunicação entre veículos e infraestruturas, como semáforos inteligentes e PMV's, criando um ambiente mais seguro e eficiente. Além disso, foi dada atenção à gestão inteligente de tráfego, com o uso de plataformas que monitorizam e gerem o tráfego em tempo real. Por fim, também foram integradas soluções de conectividade urbana, com sensores e dispositivos que apoiam os transportes públicos, proporcionando maior previsibilidade para os cidadãos [33].

Na figura 9 está representada a arquitetura e plataforma local francesa de C-ITS.

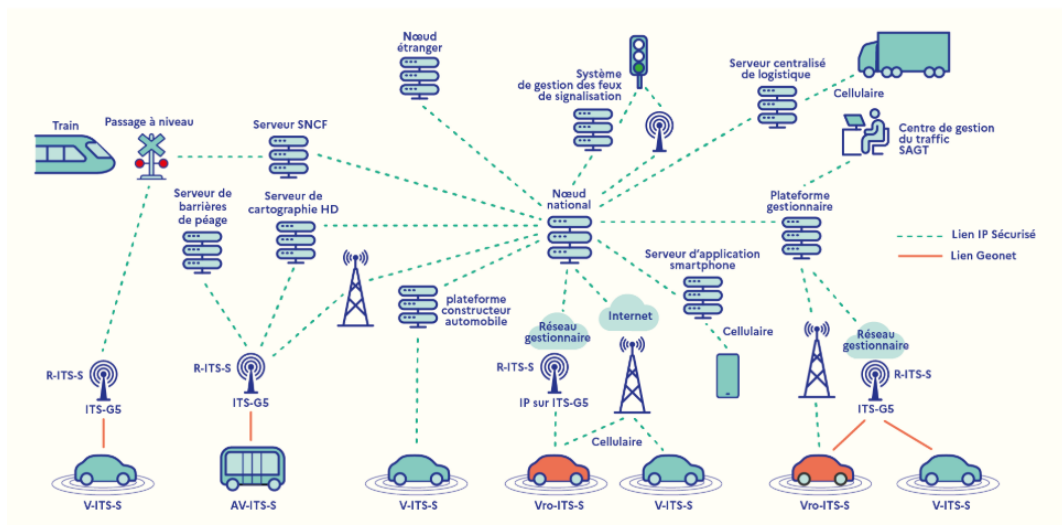


Figura 9: Arquitetura funcional dos projetos franceses de C-ITS.[24][23]

Como está demonstrado na figura 9, a arquitetura dos sistemas C-ITS implementados em França baseia-se em três tipos distintos de comunicação. Inicialmente, o operador, através do Sistema de Gestão do Tráfego (SAGT), envia as informações no formato DATEX II para a plataforma PFro. Esta, por sua vez, converte os dados para o formato C-ITS DATEX e encaminha-os para as RSU's, representadas na figura 10 por torres de telecomunicações interligadas aos veículos.

Em seguida, as RSU's processam essas informações e convertem-nas em mensagens C-ITS, que são transmitidas para veículos compatíveis, através da tecnologia de comunicação ITS-G5. [24].

Outro dos exemplos, que se pode verificar na figura 9, é a comunicação entre veículos que não estão habilitados ao uso de ITS-G5, assim esta comunicação é baseada em redes móveis como 4G e 5G. Deste modo, o operador SAGT envia informações em DATEX II para a PFro, depois as mensagens são transmitidas para o Nó Nacional, onde as mensagens são convertidas em mensagens C-ITS assinadas, seguidamente os dados são enviados pela rede móvel o destinatário, quer seja um veículo, smartphone, etc [24].

A nível da arquitetura completa e a conexão com outros sistemas, outros servidores podem ser ligados ao Nó Nacional, por exemplo o servidor SNF, tem o objetivo de transmitir o estado das passagens de nível, outro exemplo é o Sistema de Gestão dos Cruzamentos Semaforizados que podem transmitir os tipos de cruzamentos que os veículos podem encontrar e o estado dos semáforos associados, e ainda a plataforma de gestão que está ligada ao nó nacional [24][23].

Assim, nestas arquiteturas, a informação pode estar em formatos específicos e é transmitida ao nó nacional em C-ITS DATEX ou como mensagem C-ITS diretamente através de uma ligação segura à Internet[24].

2.7.2 Hungria

Na Hungria, a implementação do C-ITS começou no âmbito do projeto CROCODILE Fase I em 2015, com foco principal na melhoria da segurança rodoviária, especialmente em zonas de trabalho [34].

Foi selecionada uma distância de 136 km de uma autoestrada entre a Áustria e Budapeste, para a implementação de um projeto piloto de serviços C-ITS. Foram colocados veículos de manutenção

2.7. Implementação em Países Europeus

que podem operar de forma autónoma, e foram instalados RSU's . A comunicação entre RSU's e os OBU's é, até ao momento, baseada exclusivamente na comunicação ITS-G5. O esquema que está representado na figura 10, representa a arquitetura do sistema que foi implementado na Hungria, assim os três principais elementos representados são infraestrutura central, a infraestrutura rodoviária e os veículos [34].

Esta infraestrutura central é representada pelo Sistema de Gestão de Tráfego, que monitoriza o trânsito, fornecendo alertas sobre congestionamentos. Este sistema é conectado à Estação Central ITS (C-ITS-S), que serve como um ponto de comunicação centralizado. Nas infraestruturas rodoviárias, as estações ITS de Estrada (R-ITS-S), são instaladas aos longo das vias e comunicam com os veículos e com a estação central. A comunicação entre estas estações e os veículos é feita através do ITS-G5. Os veículos, por sua vez, estão equipados com Estações ITS de Veículos (V-ITS-S), que permitem a interação dos veículos com as estações rodoviárias e o centro de tráfego, figura 10 [34] [24].

O sistema está em conformidade com as especificações do ECO-AT (European Corridor – Austrian Testbed for Cooperative Systems), incluindo avisos de congestionamento à frente, notificações de locais perigosos, avisos de obras na estrada, entre outros [34].

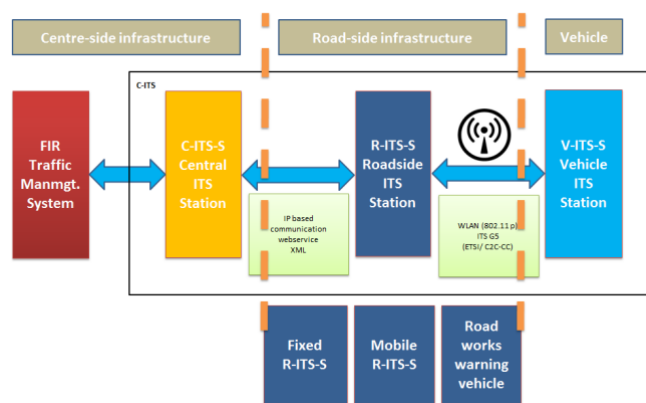


Figura 10: Arquitetura C-ITS na Hungria [34].

3 Implementação da Solução

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do projeto, organizado em cinco subcapítulos que descrevem as várias etapas do trabalho realizado.

No primeiro subcapítulo, são descritos os principais casos de estudo analisados, os quais serviram de base para avaliar a viabilidade da implementação do projeto em contextos reais.

O segundo subcapítulo apresenta a arquitetura proposta para o projeto, construída a partir da análise das arquiteturas existentes. Esta secção detalha as tecnologias de comunicação utilizadas e a forma como os diferentes sistemas e componentes interagem entre si dentro dos sistemas C-ITS.

No terceiro subcapítulo procede-se à definição dos diversos cenários possíveis de implementação, com base nas tecnologias atualmente disponíveis no mercado e naquelas com potencial utilização futura. O objetivo é identificar a configuração mais adequada às necessidades do projeto, tendo em conta fatores como eficiência e compatibilidade dos equipamentos.

No quarto subcapítulo realiza-se uma análise comparativa entre três soluções distintas: duas inspiradas em soluções já existentes no mercado, e uma terceira concebida especificamente no âmbito deste estudo. Esta comparação tem por base os cenários definidos anteriormente, permitindo avaliar os pontos fortes e limitações de cada alternativa.

Por fim, o quinto subcapítulo propõe a implementação de um projeto piloto, estruturado em três fases sequenciais. Cada fase contempla um período e extensão definidos, possibilitando uma implementação gradual, que facilita a avaliação de resultados e a adaptação progressiva do sistema.

3.1 Casos de Estudo Utilizados

Para que o projeto possa ser testado após a sua implementação, tornou-se essencial definir previamente os casos de estudo a utilizar, não apenas na fase de testes, mas também ao longo de todo o processo de desenvolvimento.

Assim, foram selecionados casos de estudo com base em diversos projetos europeus analisados no Capítulo 2.6, e que se encontram descritos com maior detalhe no Anexo 1. A Tabela 2 apresenta os principais casos de estudo identificados como relevantes para aplicação no âmbito deste projeto.

Tabela 2: Casos de Estudo

HLN - Notificação de Locais Perigosos	RWW - Aviso de Obras Rodoviárias	IVS - Sinalização de Veículo
Zona de acidentes	Encerramento de via	Sinais rodoviários
Deteção de engarrafamento (Trânsito)	Encerramento de estrada	Otimização dos fluxos de tráfego
Veículo parado	Manutenção de inverno	—
Avisos de condições meteorológicas	—	—
Animal ou pessoa na via	—	—
Obstáculo na via	—	—
Veículo em contramão	—	—
Aproximação de veículo de emergência	—	—

Relativamente à tabela 2, apresenta-se na primeira coluna as notificações de locais perigosos (HLN), estas englobam:

- As zonas de acidentes, que de forma geral, tem como objetivo alertar os condutores sobre áreas de risco à frente ou ao redor da sua posição, contribuindo assim para o aumento da segurança rodoviária;
- Deteção de trânsito, o objetivo é identificar situações de congestionamento e informar os condutores, fornecendo a localização e a direção do engarrafamento;
- A deteção de veículos parados, que tem como principal função alertar os condutores que se aproximam de veículos imobilizados ou avariados, os quais representam um potencial perigo para a circulação. Trata-se de um serviço de segurança preventiva, uma vez que os condutores são informados com antecedência e podem adaptar o seu comportamento a tempo.
- Aviso de condições meteorológicas e obstáculos na via: neste caso de estudo, os condutores são informados sobre o estado da estrada e potenciais perigos. Por exemplo, se um condutor detetar a presença de animais na via, poderá reportar a situação através da interface *Human Machine Interface* (HMI) do veículo, enviando um alerta aos restantes utilizadores da estrada. Da mesma forma, quando um operador rodoviário identifica obstáculos numa ou mais faixas de rodagem, pode emitir essa informação em tempo real, contribuindo para uma condução mais segura e preventiva.

3.2. Arquitetura do Projeto

- Aviso de veículos de emergência, o objetivo é alertar os condutores para a presença de um veículo que se encontra em marcha de urgência, permitindo que os outros condutores reajam a tempo.
- Por último, na última linha da primeira coluna tem-se, a deteção de veículos em contramão, o objetivo é alertar os condutores da possibilidade de encontrarem um veículo a circular na direção errada. O foco principal não é avisar o condutor que está em contramão, mas sim os que podem ser afetados por essa situação.

Relativamente às notificações de avisos de obras rodoviárias (RWW), a tabela apresenta:

- O encerramento de vias ou estradas, com o objetivo de alertar os condutores sobre interrupções na circulação;
- E a manutenção de inverno, onde o veículo responsável pela intervenção envia mensagens que sinalizam a sua atividade na via.

Por fim, na última coluna da tabela 2, tem-se a sinalização de Veículo (IVS) estes incluem:

- Sinais rodoviários, cujo propósito é informar os condutores sobre todos os sinais de trânsito, sejam eles estáticos ou dinâmicos;
- E a otimização dos fluxos de tráfego, que visa a fornecer tempos de viagem atualizados em função do nível de congestionamento, contribuindo também para a redução do consumo de combustível e, consequentemente, para a diminuição das emissões de gases poluentes para a atmosfera.

A sinalização rodoviária que tem a ver com o terceiro caso de estudo apresentado (Sinalização do veículo), está demonstrado na figura 11.

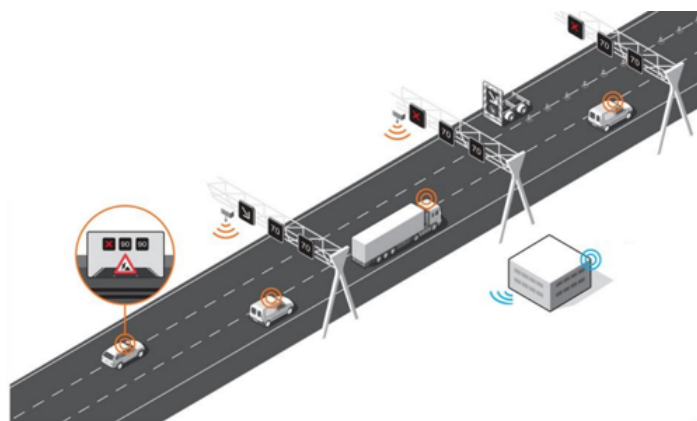


Figura 11: Sinalização Rodoviária.

Assim, na figura 11, pode-se constatar que os veículo mesmo antes de atravessarem a faixa pelo PMV, recebem o alerta no seu veículo, estes PMV's, como já foi especificado anteriormente no capítulo 2, são uma sinalização móvel, mas o intuito deste caso de estudo é que os veículos recebam alertas até dos sinais estáticos.

3.2 Arquitetura do Projeto

Para o desenvolvimento da arquitetura do projeto, foi primeiramente necessário identificar os componentes que iriam comunicar entre si. A arquitetura proposta baseia-se na interação entre

a infraestrutura e o veículo, considerando os tipos de comunicação possíveis, as mensagens a serem trocadas e os equipamentos que devem estar instalados na via para garantir o correto funcionamento do sistema.

Para esse fim, foi desenvolvida a arquitetura representada nas Figuras 12 e 13. A figura 12 apresenta a arquitetura do sistema do ponto de vista da gestão das concessões, enquanto que na figura 14 está representada a arquitetura específica de cada um dos modelos C-ITS que poderão ser implementados nas infraestruturas da Ascendi.

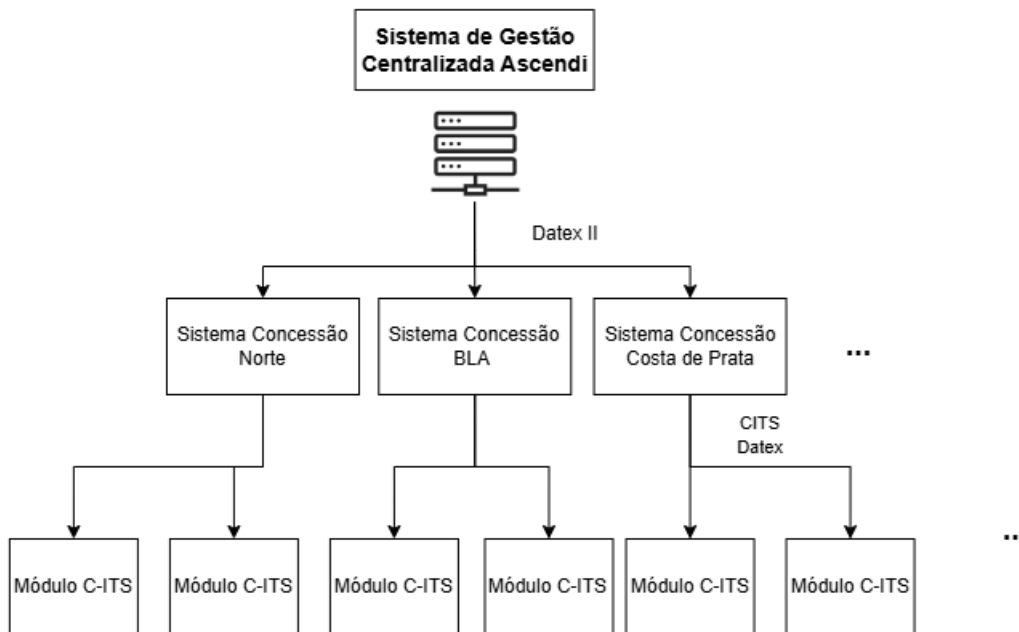


Figura 12: Arquitetura Geral.

Inicialmente, foi desenvolvida uma solução com o objetivo de ser uma gestão centralizada dos dados provenientes de todas as autoestradas, conforme representado na figura 12. Esta abordagem assenta na utilização de uma plataforma de gestão centralizada, capaz de consolidar e monitorizar, em tempo real, a informação recolhida das diferentes concessões.

O sistema centralizado poderá estar alojado num servidor físico ou numa *cloud*, sendo responsável por agregar, armazenar e disponibilizar os dados provenientes de todas as concessões.

Para cada concessão, existe igualmente um sistema de gestão local que atua de forma autónoma, mas interligado ao sistema central. A figura 12 exemplifica esta arquitetura onde se pode observar, por exemplo, as concessões Norte, BLA, Costa de Prata, entre outras. A comunicação entre os sistemas locais e o sistema centralizado é realizada com base no protocolo DATEX II, um protocolo europeu que foi abordado no capítulo 2.

Cada sistema local, que poderá ser implementado num servidor local, centraliza os dados recolhidos pelos diferentes "módulos C-ITS" instalados ao longo das respetivas autoestradas. Estes módulos, estrategicamente distribuídos, recolhem dados em tempo real e transmitem-nos para o sistema da concessão através do protocolo C-ITS DATEX, protocolo também abordado anteriormente no capítulo 2.

3.2. Arquitetura do Projeto

Esta arquitetura assegura uma gestão eficiente e estruturada da informação, permitindo uma visão global da operação a nível nacional, ao mesmo tempo que garante uma resposta local precisa e adaptada às necessidades específicas de cada concessão.

Com o objetivo de implementar um sistema C-ITS, foi desenvolvida uma arquitetura capaz de interligar dispositivos instalados na infraestrutura rodoviária com os sistemas centrais de gestão e com os veículos em circulação, figura 13. Esta arquitetura permite não só a recolha e tratamento de dados em tempo real, como também a partilha destas informações com todos os intervenientes da via.

A base da arquitetura é composta por "módulos C-ITS", instalados em pontos estratégicos da infraestrutura rodoviária.

Cada módulo integra diversos componentes, nomeadamente as RSU's, os PMV's e as câmaras *Panoramic, Tilt, Zoom* (PTZ), equipamentos já existentes na infraestrutura.

Como representado na figura 13, a comunicação entre a RSU e os dispositivos da infraestrutura, como os PMV's e as câmaras PTZ, é realizada através do protocolo de comunicação TCP/IP (camada protocolar de transporte do modelo OSI). Por se tratar de um protocolo global amplamente adotado, o TCP/IP facilita a integração com outros sistemas e equipamentos, garantindo maior interoperabilidade da solução.

O principal objetivo desta arquitetura é assegurar que todos os equipamentos como, RSU's, os PMV's e as câmaras PTZ, estejam interligados numa rede local (LAN), preferencialmente através de uma ligação física por cabo, de modo a garantir maior estabilidade e desempenho. Todos os dispositivos envolvidos são compatíveis com o protocolo TCP/IP, o que permite uma comunicação fiável, essencial para a troca eficiente de dados no sistema.

Contudo, acima da camada de transporte, é necessário que a RSU envie comandos numa linguagem que possa ser corretamente interpretada pelo dispositivo de destino, seja um PMV ou uma câmara PTZ. Esta linguagem corresponde ao protocolo de aplicação específico de cada fabricante, que define a estrutura e o formato dos comandos adequados a cada tipo de equipamento. Como ilustrado na figura 13, é importante salientar que a comunicação com os PMV's e as câmaras PTZ é unidirecional, ou seja, os comandos são enviados da RSU para os dispositivos, sem que estes enviem de volta.

Assim, estes dispositivos comunicam entre si e com o sistema através de protocolos definidos pelos respetivos fabricantes, sendo essa comunicação gerida por um serviço dedicado, o RSU Service. Esta camada assegura a tradução e normalização dos protocolos proprietários, promovendo a interoperabilidade entre equipamentos.

Ao nível da integração com o sistema de gestão, a solução será desenvolver um plug-in específico para o módulo C-ITS, que agrega os dados provenientes dos diversos dispositivos e os disponibiliza ao sistema da concessão rodoviária, que pode ser por exemplo um servidor, através do protocolo C-ITS Datex. Esta comunicação permite a centralização e análise de dados operacionais, bem como a supervisão em tempo real de toda a infraestrutura.

Paralelamente, seria desenvolvida uma aplicação web (Web App) que assegura a interface com os operadores e técnicos, permitindo a consulta e controlo remoto do estado dos dispositivos e eventos, esta comunicação é feita via protocolo HTTPS, este é um protocolo de comunicação que está na camada de aplicação do modelo OSI, é um protocolo usado para enviar dados entre um navegador da web e um servidor.

Do lado do utilizador da via, a arquitetura prevê a instalação de OBU's nos veículos, sempre que estes não estejam originalmente equipados com capacidade de comunicação C-ITS. No entanto, caso o veículo já venha de fábrica preparado para este tipo de comunicação, a instalação adicional da OBU torna-se desnecessária. No Anexo 1 encontram-se listados os fabricantes de veículos, que já produzem veículos com suporte para tecnologia C-ITS, não sendo necessária a instalação prévia do OBU.

Relativamente aos OBU's, estas unidades comunicam com as RSU's via C-V2X ou ITS-G5, que são dois protocolos de comunicação usados me C-ITS, e já abordados no capítulo 2.

Em alternativa, pode ser utilizada comunicação via LTE, uma tecnologia sem fios baseada em rede móvel (4G). Neste caso, os dados são transmitidos através da infraestrutura móvel e podem ser posteriormente encaminhados para uma interface HMI, normalmente um dispositivo móvel, como um smartphone ou tablet. Esta comunicação entre a unidade OBU e o HMI é geralmente realizada por meio de uma ligação Wi-Fi, disponibilizada por um router instalado no veículo, como é possível observar na figura 13.

Um exemplo prático da aplicação desta arquitetura seria a deteção, por parte da OBU, de uma situação que requer a redução da velocidade do veículo. Esta informação seria transmitida para a RSU mais próxima, que a encaminharia para o sistema de gestão da respetiva concessão. Posteriormente, os dados seriam enviados para a plataforma de gestão centralizada da Ascendi, onde seriam analisados e processados. A partir daí, o fluxo de informação seguiria no caminho inverso: a mensagem seria reenviada para a RSU e apresentada aos restantes condutores através de um PMV instalado na via, alertando-os para a alteração nas condições do tráfego e promovendo uma resposta mais segura.

Outro exemplo de interação possível nesta arquitetura é a comunicação com as câmaras PTZ. Através do sistema, seria possível ajustar automaticamente o ângulo de visão da câmara para uma posição mais vantajosa, em função de determinado evento ou necessidade operacional, permitindo assim uma monitorização mais eficaz da via.

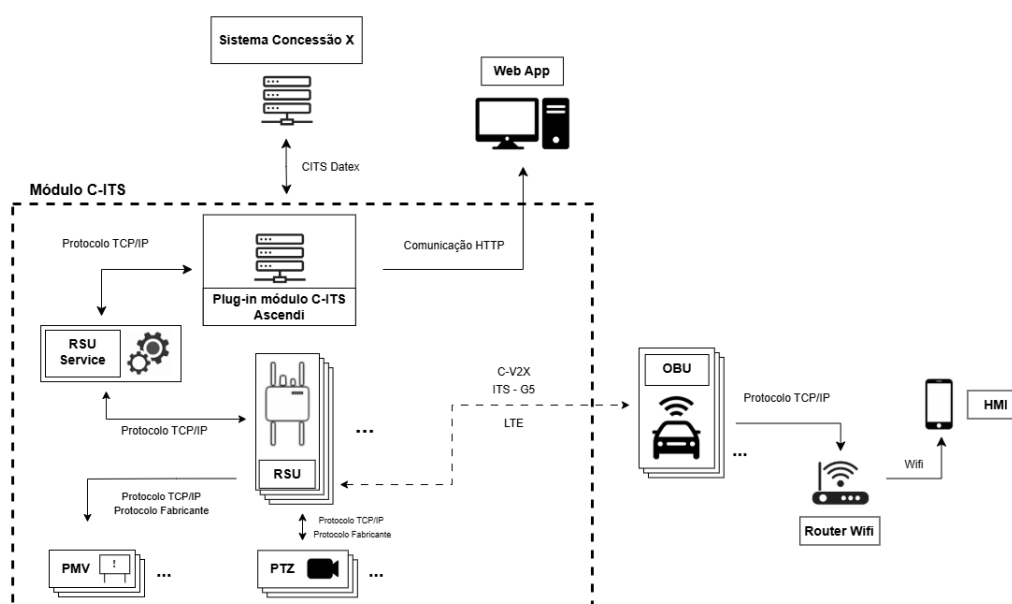


Figura 13: Arquitetura do Modelo C-ITS.

3.2. Arquitetura do Projeto

Relativamente à arquitetura de comunicação, no que diz respeito ao tipo de mensagens enviadas entre a infraestrutura e os veículos, esta está representada na figura 14.

Como já foi referido anteriormente, cada veículo, se não tiver habilitado a esta comunicação, contém um OBU, que comunica com as RSU's instaladas ao longo da via. Esta comunicação é feita através da troca de mensagens do tipo CAM e DENM, já apresentadas no capítulo 2.

As mensagens DENM são unidirecionais, figura 14, ou seja, são enviadas da infraestrutura (RSU), para o veículo. São utilizadas em situações excecionais, como um acidente, um veículo imobilizado ou más condições meteorológicas, estas mensagens desempenham a função de alertar os condutores para perigos específicos na estrada.

Relativamente às mensagens CAM, figura 14, estas são bidirecionais, e são trocadas tanto do veículo para a infraestrutura como no sentido inverso. Estas mensagens são enviadas de forma periódica e contêm informações como a posição, velocidade e direção do veículo. A sua principal função é manter uma perceção constante e partilhada daquilo que se passa na via, permitindo uma maior segurança e uma gestão mais eficiente do tráfego.

Um exemplo prático desta interação pode ser observado quando um veículo deteta um obstáculo inesperado, como um animal a atravessar a estrada, uma situação que se enquadra na categoria de notificação de local perigoso (HLN), abordada no subcapítulo 3.1. Nesta situação, o OBU do veículo gera automaticamente uma mensagem DENM, que é enviada para a RSU mais próxima, a RSU reencaminha esta informação para o sistema de concessão local, que depois a transmite para a plataforma de gestão centralizada. Em simultâneo, a RSU pode também alertar outros veículos que circulam na mesma zona, permitindo que estes reduzam a velocidade ou adotem outras medidas de precaução.

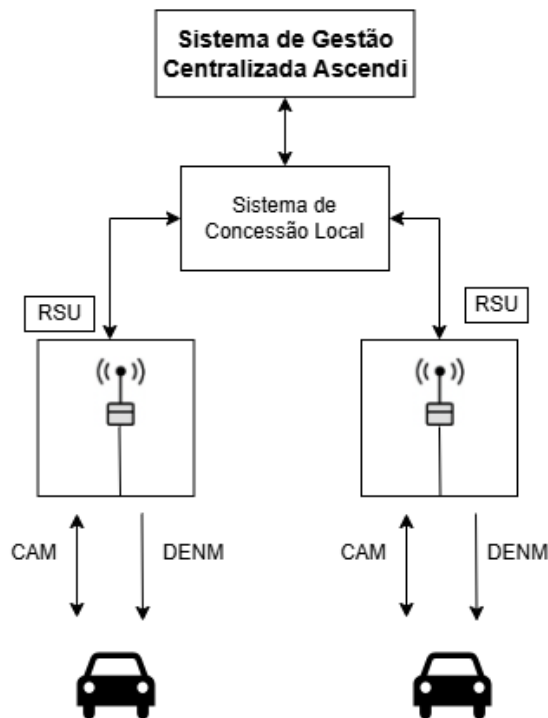


Figura 14: Mensagens de C-ITS.

Este tipo de comunicação cooperativa em tempo real é fundamental para tornar a condução mais segura e permitir uma resposta rápida e coordenada a qualquer situação inesperada na estrada.

3.3 Definição dos Cenários

Após o desenvolvimento da arquitetura do projeto, no que diz respeito às comunicações entre equipamentos, à identificação dos dispositivos necessários, aos métodos de comunicação e aos casos de estudo aplicáveis, bem como aos tipos de mensagens a serem transmitidas, tornou-se essencial definir cenários de implementação. Estes cenários visam garantir que a solução proposta seja capaz de responder de forma eficaz a todos os fatores considerados críticos para o sistema.

Dessa forma, foram definidos diferentes cenários, apresentados na tabela 3. Cada cenário contempla um determinado tipo de veículo, distinguindo entre os que estão ou não preparados para comunicação C-ITS. Tal como indicado na coluna “Equipamento do veículo” e já abordado no Subcapítulo 3.2, os veículos que não possuam capacidades de comunicação C-ITS deverão ser equipados com uma OBU, possibilitando, assim, a interação com a infraestrutura rodoviária.

A coluna seguinte da tabela diz respeito à tecnologia de comunicação utilizada em cada cenário. Foram considerados quatro tipos principais: ITS-G5 e C-V2X, ambos protocolos específicos para sistemas C-ITS, já abordados no Capítulo 2; LTE, que corresponde à comunicação através de rede móvel 4G; e Satcom, referente à comunicação via satélite. Embora esta última ainda não esteja amplamente implementada a nível europeu, foi incluída como uma possibilidade futura devido à sua elevada fiabilidade. Ao contrário das redes móveis ou de outras tecnologias terrestres, a comunicação por satélite apresenta a vantagem de não depender da cobertura de sinal em solo, sendo particularmente útil em cenários críticos ou zonas remotas, onde a continuidade de comunicação é essencial.

Na coluna relativa à alimentação dos equipamentos, foram consideradas duas possibilidades: Ethernet e Painel fotovoltaico. A opção por “Ethernet” implica que tanto a comunicação como a alimentação elétrica são fornecidas através de um canal técnico já existente na infraestrutura. Por outro lado, a utilização de painéis fotovoltaicos reduz significativamente a dependência da infraestrutura da rede Ascendi, representando uma vantagem importante, sobretudo em locais de difícil acesso ou em zonas onde não existe canal técnico disponível, como é o caso de vários nós nas autoestradas da Ascendi.

Por fim, a última coluna indica o tipo de mensagens utilizadas, sendo elas DENM e CAM, conforme já identificado na arquitetura do sistema.

Tabela 3: Definição de Cenários.

Opção 1					
Veículo	Equipamento do Veículo	Equipamento da Estrada	Tecnologia	Alimentação	Mensagens
Habilitado/ Não habilitado	—/OBU	RSU	ITS-G5/C-V2X	Ethernet	DENM; CAM
Opção 2					
Veículo	Equipamento do Veículo	Equipamento da Estrada	Tecnologia	Alimentação	Mensagens
Habilitado/ Não habilitado	—/OBU	RSU	LTE	Ethernet	DENM; CAM
Opção 3					
Veículo	Equipamento do Veículo	Equipamento da Estrada	Tecnologia	Alimentação	Mensagens
Habilitado/ Não habilitado	—/OBU	RSU	SATCOM	Ethernet	DENM; CAM
Opção 4					
Veículo	Equipamento do Veículo	Equipamento da Estrada	Tecnologia	Alimentação	Mensagens
Habilitado/ Não habilitado	—/OBU	RSU	ITS-G5/C-V2X/LTE/SATCOM	Ethernet	DENM; CAM
Opção 5					
Veículo	Equipamento do Veículo	Equipamento da Estrada	Tecnologia	Alimentação	Mensagens
Habilitado/ Não habilitado	—/OBU	RSU	ITS-G5/C-V2X/LTE/SATCOM	Ethernet/Painel Fotovoltaico	DENM; CAM

Após uma análise detalhada da tabela 3, concluiu-se que a “Opção 5” é a que melhor responde ao conjunto de requisitos identificados. Por esse motivo, a solução desenvolvida ao longo deste trabalho teve como base esse cenário, conforme será demonstrado nos subcapítulos seguintes.

3.4 Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar

Com o objetivo de identificar a solução mais adequada para a escolha da RSU, foi realizada uma pesquisa de mercado e um processo de benchmarking, com base em critérios técnicos e financeiros. Este levantamento encontra-se detalhado no Anexo 1, seção A.1 (“Soluções possíveis”) figura 40, onde são apresentados os fabricantes analisados. Como resultado deste processo, foram selecionados dois fabricantes que se destacam no mercado pelas suas características e fiabilidade: Fabricante 1 e Fabricante 2, por não se dispor da autorização dos respetivos fabricantes para a utilização dos valores reais, optou-se por identificar os intervenientes apenas como Fabricante 1 e Fabricante 2.

Após esta seleção inicial, foram analisados os RSU’s de cada um dos dois fabricantes, o modelo C2X do Fabricante 1e o MK6 da Fabricante 2. A análise incluiu o estudo dos respetivos datasheets, para chegar à melhor solução a nível técnico.

No entanto, para dar resposta à “Opção 5”, descrita anteriormente no subcapítulo 3.3, verificou-se a necessidade de desenvolver uma solução, que, após várias pesquisas, constatou-se que ainda não existe atualmente no mercado. Com base em todos os critérios técnicos avaliados, como será evidenciado na tabela 4, a solução do Fabricante 1 revelou-se a mais adequada para o cenário ideal. Assim, surgiu a proposta de desenvolver uma solução em parceria com a Fabricante 1, que consistiria na integração da sua RSU com um sistema de alimentação autónomo com base em painéis fotovoltaicos, esta solução é demonstrada no subcapitulo 3.4.1.

Após a identificação das soluções com maior potencial para responder às necessidades do projeto, tornou-se necessário determinar qual delas seria a mais vantajosa para avançar com a implementação. Para apoiar este processo de decisão, foi elaborada uma matriz multicritério, apresentada na Tabela 4. Inicialmente, foram definidas as três opções em análise: Solução 1, correspondente à proposta da Fabricante 1; Solução 2, referente à proposta da Fabricante 2; e Solução 3, que representa uma solução integrada desenvolvida em conjunto entre o Fabricante 1 e a Ascendi.

Seguidamente estabeleceram-se quatro critérios principais, que estão demonstrados na tabela 4. O primeiro foi o critério técnico, ao qual se atribuiu um peso de 30%. Dentro deste critério, foram considerados os seguintes subcritérios: capacidade de processamento, com um peso de 5%; “input power”, 3%; consumo de energia, 4%; capacidade de comunicação V2X, 5%; módulo LTE, 4%; antenas, 3%; sistema de alimentação, 4%; e alcance, 2%, sendo este último relativo ao alcance da antena C-V2X.

O segundo critério considerado foi o critério financeiro, ao qual foi atribuído o maior peso na análise, representando 40% do total. Este critério foi subdividido em três subcritérios: custo inicial de aquisição (20%), custo de instalação (10%) e custo associado ao software (10%).

O terceiro critério foi o critério material, no qual se englobaram aspetos relacionados com as características físicas do equipamento. Neste caso, os subcritérios foram: resistência (5%); dimensões (3%); e faixa de temperatura de funcionamento (2%).

Por fim, foi estabelecido o critério de desenvolvimento, que contempla o potencial de evolução e impacto sustentável da solução. Neste critério foram definidos dois subcritérios: desenvolvimento tecnológico/ inovação, com um peso de 15%; e fator sustentabilidade, com um peso de 5%.

Tabela 4: Matriz Multicritério.

Critério	Subcritério	%	Solução 1: Fabricante 1	Solução 2: Fabricante 2	Solução 3: Fabricante 1w/Ascendi
Técnica (30%)	Processamento	5,00%	Quad-core 1200 MHz	i.MX 8 Quad 800 MHz	Quad-core 1200 MHz
	"Input Power"	3,00%	48V - PoE	Sem dados	48V - PoE
	Consumo de Energia	4,00%	12W	25.5W	12W
	Capacidade de Comunicação V2X	5,00%	DSRC/802.11p + C-V2X	DSRC + C-V2X	ITS-G5 + C-V2X
	Módulo LTE	4,00%	5G/4G/3G/2G	4G/3G/2G	5G/4G/3G/2G
	Antenas	3,00%	GNSS, WIFI, DSRC, C-V2X, LTE, Bluetooth, 5.9GHz	GNSS, WIFI, DSRC, C-V2X, LTE Bluetooth, 5.9GHz	GNSS, WIFI, DSRC, C-V2X, LTE, Bluetooth, 5.9GHz
	Sistema Alimentação	4,00%	Rede Elétrica	Rede Elétrica	Painel Fotovoltaico
Alcance	2,00%	2500m, open-field, line-of-sight	2000m, open-field, line-of-sight	2500m, open-field, line-of-sight	
Total (%)			30,00%		
Peso Financeiro (40%)	Custo Inicial de Aquisição	20,00%	4 600,00 €	2 500,00 €	4600€ + 349,50€
	Custo de Instalação	10,00%	25 000,00 €	20 000,00 €	25 000,00 €
	Custo de Software	10,00%	50 000,00 €	30 000,00 €	50 000,00 €
Total (%)			40,00%		
Material (10%)	Resistência	5,00%	IP66, IP67, NEMA 6P	IP67	IP66, IP67, NEMA 6P
	Dimensões	3,00%	30 x 28 x 10 cm	29,3 x 23,3 x 10,4 cm	
	Faixa de Temperatura de Operação	2,00%	-40ºC a 85ºC	-40ºC a 74ºC	-40ºC a 85ºC
Total (%)			10,00%		
Desenvolvimento (20%)	Desenvolvimento Tecnológico/ Inovação	15,00%	Bom	Médio	Muito Bom
	Fator Sustentabilidade	5,00%	Médio	Médio	Muito Bom
Total (%)			20,00%		

Após a construção da matriz multicritério, foi necessário atribuir pontuações qualitativas a cada uma das três soluções, solução 1 (Fabricante 1), solução 2 (Fabricante 2) e solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi). A avaliação baseou-se numa escala de 1 a 5, sendo 5 o valor atribuído à solução com melhor desempenho em cada subcritério, e os restantes valores atribuídos proporcionalmente, esta matriz está representada na tabela 5.

Relativamente ao critério técnico (30%) tem-se que:

- No caso do processamento (5%), as soluções 1 e 3 apresentam processadores Quad-core de 1200 MHz, enquanto que a Solução 2 possui um processador inferior, de 800 MHz. Dado o melhor desempenho das soluções 1 e 3, ambas foram classificadas com 5, enquanto que a solução 2 foi classificada com 4.
- No "Input Power" (3%), as soluções 1 e 3 funcionam com alimentação de 48V, enquanto que a solução 2 não apresenta dados sobre este parâmetro. Dado o desconhecimento e a possível limitação, foi atribuído o valor de 3, à solução 2, e o valor de 5 às restantes duas soluções (1 e 3).
- No consumo de energia (4%), as soluções 1 e 3 apresentam o menor consumo (12W), seguida da solução 2 com 25,5W. Assim à solução 1 e 3 foi atribuída a classificação de 5 e à solução 2 a classificação de 3.
- Relativamente à capacidade de comunicação V2X (5%), Todas as soluções suportam a comunicação DSRC/802.11p e C-V2X logo são classificadas com 5. O mesmo acontece para o Módulo LTE (4%), todas as soluções oferecem suporte a múltiplas redes de comunicação móvel (5G/4G/3G/2G). Dado o desempenho equivalente, todas foram classificadas com 5.
- Em relação às antenas (3%), as três soluções oferecem suporte a muitas interfaces sem fios (GNSS, WIFI, DSRC, C-V2X, LTE, Bluetooth), com funcionamento em 5,9GHz. Foi atribuída a pontuação máxima de 5 a todas, dada a equivalência das especificações.
- O sistema de alimentação aqui tem a ver com o fornecimento de energia, se é da rede ou autónomo, neste parâmetro, as soluções 1 e 2 utilizam alimentação por Ethernet, enquanto que a solução 3 é alimentada via energia solar através de um painel fotovoltaico. Este último representa uma solução mais sustentável e autónoma, razão pela qual foi classificada com 5, enquanto que as restantes foram classificadas com 4.
- Relativamente ao alcance das antenas, as soluções 1 e 3 apresentam um alcance de até 2500 metros em campo aberto, enquanto que a solução 2 atinge apenas 2000 metros. Assim, as soluções 1 e 3 foram classificadas com 5 e a solução 2 com 4.

3.4. Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar

O critério financeiro, foi classificado com uma percentagem de (40%), superior ao técnico devido a ser um critério que é normalmente mais tido em conta no que toca à implementação de um projeto:

- Primeiramente no custo inicial de aquisição (20%), a solução 2 apresenta o valor mais baixo (3500€), seguida da solução 1 com um custo de 4600€, e por último a solução 3 com o valor de aquisição mais elevado de (4600€ + 349,50€ = 4949,50€). Assim, foram atribuídos 5 pontos à solução 2, 3 pontos à solução 3, e 4 pontos à solução 1.
- No custo de instalação (10%), novamente, a solução 2 apresenta um custo mais reduzido (20000€), seguida pela solução 1 e 3 (25000€). A pontuação atribuída foi, respetivamente, 5, 4 e 4.
- Relativamente ao custo de software (10%), a solução 2 apresenta o custo mais baixo (30000€), sendo lhe dado um peso de 5. A Solução 1, e 3 que têm o mesmo custo de software (50000€), foram classificados com 4.

Em relação ao critério material (10%):

- No subcritério resistência (5%), as soluções 1 e 3 apresentam proteção IP66/IP67 e certificações NEMA 6P, enquanto que a solução 2 apenas tem IP67. Assim, as soluções 1 e 3 foram avaliadas com 5, e a solução 2 com 4.
- Na componente, dimensões (3%), a solução 3 apresenta as dimensões mais compactas (30 x 28 x 10 cm), seguida da solução 2 (29,3 x 23,3 x 10,4 cm). A solução 1 apresenta as mesmas dimensões da 3. Assim, a solução 1 e 3 foram avaliadas com 4 pontos, e a solução 2 com 5, aqui teve-se em conta o tamanho do equipamento, um equipamento menor tem a melhor pontuação.
- A faixa de temperatura de operação (2%), foi também uma componente que se teve em conta na tomada de decisão da melhor solução, assim, as soluções 1 e 3 operam numa faixa mais ampla (-40°C a +85°C), enquanto que a solução 2 opera num intervalo inferior (-40°C a +74°C). Por isso, as soluções 1 e 3 foram avaliadas com 5, e a solução 2 com 4.

O último critério a ser avaliado foi o critério de desenvolvimento, com uma percentagem de (20%). Assim, foram distinguidas duas componentes:

- Na componente de desenvolvimento tecnológico / inovação (15%), a solução 3 é claramente a mais inovadora, pois integra a alimentação por painel fotovoltaico, e não existe no mercado. Foi por isso avaliada com 5, a solução 1, com bom nível tecnológico, foi pontuada com 4, enquanto que a solução 2, sendo inferior tecnologicamente às outras duas, obteve 3.
- Relativamente ao fator sustentabilidade, (5%), aqui teve-se em consideração a sustentabilidade a todos os níveis, sendo um deles a alimentação do equipamento, assim, novamente, a solução 3 destaca-se por apresentar uma solução mais sustentável, no que diz respeito ao tipo de alimentação, foi avaliada por isso com 5 pontos, as outras duas soluções foram avaliadas com 3 pontos, devido a não terem um impacto tão significativo a nível sustentável.

Tabela 5: Definição de Cenários.

Critério	Subcritério	%	Solução 1: Fabricante 1	Solução 2: Fabricante 2	Solução 3: Fabricante 1 W/ Ascendi	Solução 1: Fabricante 1	Solução 2: Fabricante 2	Solução 3: Fabricante 1 W/ Ascendi
Técnica (30%)	Processamento	5,00%	5	4	5	0,25	0,2	0,25
	"Input Power"	3,00%	5	3	5	0,15	0,09	0,15
	Consumo de Energia	4,00%	5	3	5	0,2	0,12	0,2
	Capacidade de Comunicação V2X	5,00%	5	5	5	0,25	0,25	0,25
	Módulo LTE	4,00%	5	4	5	0,2	0,16	0,2
	Antenas	3,00%	5	4	5	0,15	0,12	0,15
	Sistema Alimentação	4,00%	4	4	5	0,16	0,16	0,2
	Alcance	2,00%	5	4	5	0,1	0,08	0,1
	Custo Inicial de Aquisição	20,00%	4	5	3	0,8	1	0,6
Peso Financeiro (40%)	Custo de Instalação	10,00%	4	5	4	0,4	0,5	0,4
	Custo de Software	10,00%	4	5	4	0,4	0,5	0,4
	Resistência	5,00%	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Material (10%)	Dimensões	3,00%	4	5	4	0,12	0,15	0,12
	Faixa de Temperatura de Operação	2,00%	5	4	5	0,1	0,08	0,1
	Desenvolvimento Tecnológico/ Inovação	15,00%	4	3	5	0,6	0,45	0,75
Desenvolvimento (20%)	Fator Sustentabilidade	5,00%	3	3	5	0,15	0,15	0,25
	Total (%)					4,28	4,21	4,37

Para a realização dos cálculos, iniciou-se por atribuir uma classificação, numa escala de 1 a 5, a cada subcritério definido, como foi explicado anteriormente. Em seguida, essa pontuação foi ponderada de acordo com a percentagem previamente estabelecida para cada subcritério. Por exemplo, no caso do subcritério "processamento", a classificação de 5 foi multiplicada pela sua ponderação (5%), resultando num valor de 0,25. Este método foi aplicado de forma sistemática a todos os subcritérios.

Após o cálculo individual de cada componente, procedeu-se à soma dos valores ponderados, obtendo-se assim um resultado final para cada uma das soluções em avaliação.

Como resultado, obteve-se um total de 4,28 para a solução 1 (Fabricante 1), 4,21 para a solução 2 (Fabricante 2) e 4,37 para a solução 3 (Fabricante 1w/Ascendi).

Desta forma, a solução 3 apresentou o melhor desempenho global, seguida da solução 1 e, por fim, a solução 2. Com base nesta análise da matriz multicritério prevê-se que a melhor solução a ser implementada seria a solução 3, parceria entre o Fabricante 1e a Ascendi.

No subcapítulo seguinte, 3.4.1, será desenvolvida com maior detalhe a solução 3, proposta neste capítulo. Esta solução, já analisada na matriz multicritério, foi identificada como a mais equilibrada entre as alternativas consideradas, tendo sido, por isso, até esta fase do projeto, selecionada para a implementação do projeto.

3.4.1 Desenvolvimento da Solução 3 (Fabricante 1 W/ Ascendi)

Para se desenvolver a solução 3, foi necessário pensar na arquitetura do sistema, a figura 15 apresenta um esquema da arquitetura interna da RSU para esta solução, alimentada por um painel fotovoltaico e suporta comunicações tanto em C-V2X como ITS-G5. Este tipo de solução é particularmente útil para a instalação em ambientes remotos ou locais onde não existe acesso direto à rede elétrica, garantindo assim maior flexibilidade na cobertura das infraestruturas rodoviárias.

A energia produzida pelo painel fotovoltaico é regulada por dois conversores integrados no sistema. O primeiro é um conversor DC/DC (12/48V), responsável por adaptar a tensão de saída de forma a satisfazer os requisitos de funcionamento dos diversos componentes internos da RSU. O segundo é um conversor *Power over Ethernet* (PoE), que fornece alimentação através dos cabos Ethernet, para a RSU.

No interior da RSU encontra-se o processador quad-core a 1200 MHz, responsável pela execução do sistema operativo e das aplicações ITS. Em termos de memória, o sistema dispõe de 3 GB de RAM DDR para suportar o processamento em tempo real e a gestão de dados, bem como 16 GB de memória flash destinada ao armazenamento local.

3.4. Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar

A RSU está equipada com algumas interfaces de comunicação. Para suporte às comunicações C-V2X, possui duas antenas dedicadas, ligadas a um modem LTE Cat 4 4G, que permite a ligação à rede móvel. Inclui também um módulo GNSS com antena, essencial para a sincronização temporal e para garantir uma localização precisa.

Adicionalmente, estão incluídas antenas para Wi-Fi e Bluetooth, destinadas a permitir ligações locais, mais próximas, como por exemplo a ligação a uma interface humana (. Em termos de conectividade, a RSU dispõe de duas portas Ethernet, uma de 1 Mbit e outra de 2 Mbit, sendo que uma delas suporta PoE. Esta interface PoE, permite a alimentação direta da RSU, ou seja permite que a RSU, seja diretamente alimentada pelo painel fotovoltaico através do conversor PoE ligado ao painel.

Por fim, tendo em conta os requisitos de segurança associados aos sistemas C-ITS e que estão contidos na diretiva europeia abordada no capítulo 2 [20], a RSU integra dois módulos dedicados a este fim. O TPM que garante a integridade do sistema, por exemplo, a verificação da confiabilidade do que é executado no arranque do sistema (BIOS), enquanto que o HSM é responsável pela gestão pela segurança e autenticação das mensagens CAM e DENM.

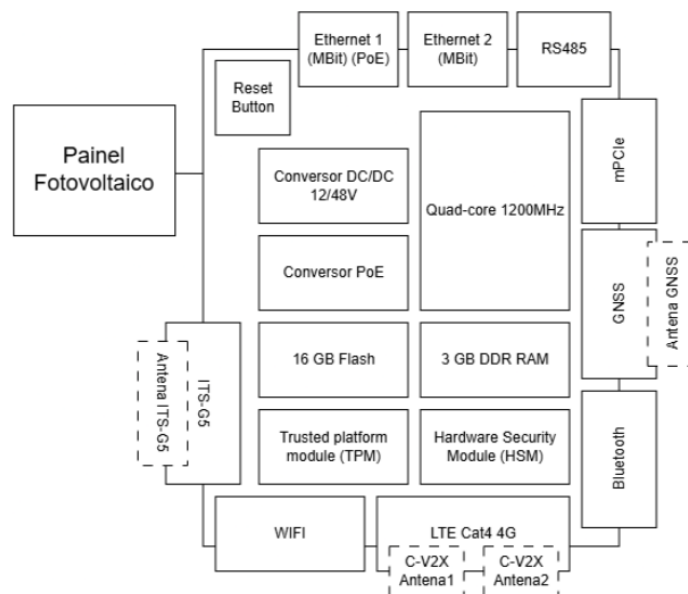


Figura 15: Mensagens de C-ITS.

3.4.2 Dimensionamento do Sistema Autónomo da Solução 3

Relativamente ao painel fotovoltaico e à bateria que irão alimentar a RSU, foi necessário conceber o sistema como uma solução fotovoltaica autónoma. Esta abordagem justifica-se pelo objetivo de tornar a instalação totalmente independente da rede elétrica. O principal propósito desta solução é permitir a implementação das RSU's em locais onde não é viável o acesso ao canal técnico da infraestrutura, como é o caso de determinados nós nas autoestradas da Ascendi.

Este sistema é projetado para fornecer energia a cargas isoladas da rede elétrica, garantindo o seu funcionamento ao longo de todo o ano. O dimensionamento deste tipo de sistema baseia-se, geralmente, na radiação solar disponível no mês com menor número de horas solares equivalentes, garantindo assim a sua operação mesmo nas condições menos favoráveis.

Além dos painéis solares, o sistema deve incluir os seguintes componentes essenciais[35]:

- Baterias: responsáveis por armazenar energia para alimentar as cargas durante os períodos sem radiação solar, como à noite ou em dias nublados;
- Controlador de carga: a sua principal função consiste em efetuar a gestão da carga das baterias;
- Inversor: necessário quando as cargas funcionam em AC; sua função é converter a energia em DC, gerada pelos painéis e armazenada nas baterias, em AC com características compatíveis com os equipamentos.

Como é possível verificar na figura 16, e como também será o caso na implementação, não será necessário realizar uma conversão de corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC). Isto porque o equipamento será alimentado via PoE, o que elimina a necessidade de um inversor. Dessa forma, será necessário apenas um conversor DC/DC, este vai ser utilizado para ajustar a tensão elétrica para o nível de tensão exigido pelo equipamento que será alimentado, conforme será descrito a seguir.

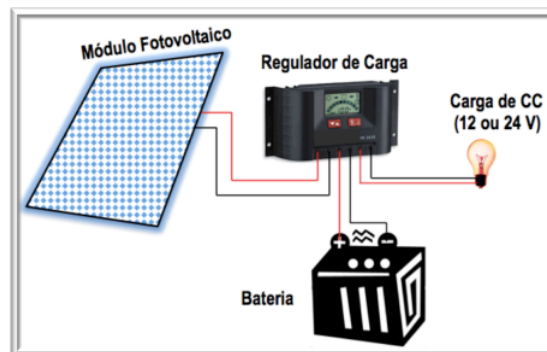


Figura 16: Sistema autónomo para cargas DC [35].

Como foi verificada através da tabela 5, da matriz multicritério, referida no subcapítulo 3.4, o equipamento apresenta uma potência consumida de 12W, assim foi necessário proceder ao dimensionamento do painel fotovoltaico com base nestes dados. Neste caso como a alimentação é feita via PoE, não será necessário um inversor, apenas um conversor DC/DC para a RSU ser alimentada com 48V, como foi descrito anteriormente.

Primeiramente, foi necessário verificar qual o consumo de uma RSU de 12W, para um funcionamento contínuo de 24h, assim fez-se a seguinte equação:

$$12W \times 24h = 288Wh \quad (3.1)$$

Em Portugal, segundo o "portal das energias renováveis"[36], o número de horas de radiação solar por dia é de 6h assim, a potência do painel nestas condições deverá ser de 48W:

$$\frac{288Wh}{6h} = 48W \quad (3.2)$$

Desta forma, optou-se pela utilização de um painel com potência nominal de 50W.

Para que o sistema tenha uma autonomia de 3 dias, a capacidade da bateria deverá ser suficiente para alimentar o consumo da RSU neste período. Deste modo a capacidade da bateria deverá ser igual ou superior a 864Wh:

3.4. Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar

$$288Wh \times 3 = 864Wh \quad (3.3)$$

Por fim, para o dimensionamento da bateria, foi aplicado um fator de segurança de 30%, considerando possíveis variações no consumo de energia, perdas no sistema e a degradação natural da bateria ao longo do tempo, resultando num total de:

$$864Wh \times 1,3 = 1123,2Wh \quad (3.4)$$

Para o dimensionamento da bateria, foi necessário converter a energia em capacidade, assumindo-se o uso de uma bateria de 12V. Optou-se por esta tensão devido ao custo mais acessível destas baterias, o que representa um investimento mais viável para o projeto. Além disso, baterias de 12V são amplamente disponíveis no mercado, o que facilitou a escolha.

$$\frac{1123,2Wh}{12V} = 93,6Ah \quad (3.5)$$

Assim, após o dimensionamento, verificou-se que a bateria necessária teria uma capacidade de 93,6Ah. Optou-se, portanto, por uma bateria comercial de 12V e 100Ah, amplamente disponível no mercado. Para garantir a proteção adequada da bateria, é necessária a utilização de um regulador de carga entre o painel fotovoltaico e a bateria de 12V. Este regulador de carga desempenha funções essenciais, entre as quais se destacam:

- Evitar sobrecarga da bateria, ou seja impede que a bateria continue a receber energia após estar totalmente carregada, o que poderia danificar ou reduzir sua vida útil;
- Evitar a descarga total, desliga automaticamente a carga quando a tensão da bateria atinge um nível muito baixo.

Assim, os reguladores de carga podem ser classificados em dois tipos principais:

- *Pulse Width Modulation* (PWM) - Mais simples e económico, ideal para sistemas pequenos.
- *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) – Mais eficiente, ajusta a operação do painel para extrair a potência máxima, ideal para sistemas maiores.

Para o caso em concreto, como se está a utilizar um painel solar de 50W, com baixa potência total no sistema e uma bateria de 12V, o regulador PWM é suficiente e mais económico. A eficiência adicional de um MPPT não compensa o custo adicional neste caso.

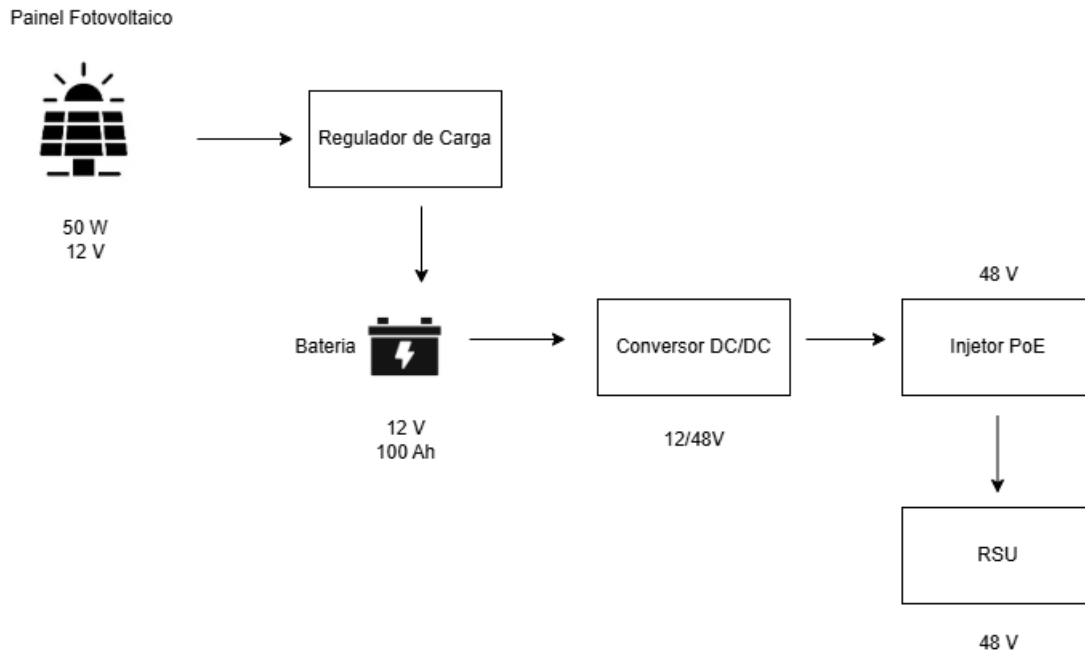


Figura 17: Esquema do Sistema Autônomo para RSU.

Na figura 17 está representado o esquema do sistema autônomo para a RSU. Este esquema demonstra a montagem completa do sistema de alimentação correspondente à solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi).

Como se pode observar, o painel solar de 50W está ligado diretamente ao regulador de carga de 12V, cuja função é ajustar a tensão de entrada e proteger a bateria. O regulador, por sua vez, está ligado à bateria de 12V, que armazena a energia gerada.

A bateria alimenta a RSU através de um conversor DC/DC que eleva a tensão de 12V para 48V, uma vez que a RSU opera a 48V. Antes de chegar à RSU, a energia passa por um conversor PoE de 48V, uma vez que a alimentação da unidade é feita via PoE.

Relativamente aos componentes a serem utilizados pensou-se em usar os seguintes componentes:

- Painel Fotovoltaico: Foi utilizado um painel solar policristalino, [37]de 50W – 12V, com potência máxima de 50W e dimensões de 710 × 541 × 35 mm. A designação policristalino refere-se ao tipo de silício utilizado na sua fabricação, composto por múltiplos cristais fundidos. Este tipo de painel é geralmente mais económico, devido ao processo de fabricação mais simples e com menores perdas de material. Na figura 18 está representado o possível painel para instalação:

3.4. Análise Comparativa das Possíveis Soluções a Implementar



Figura 18: Painel Fotovoltaico de 50W [38].

- Regulador de Carga: O regulador de carga utilizado é do tipo PWM, com corrente máxima de carga/descarga de 10A e compatível com sistemas de 12V/24V. As suas dimensões são de 215 × 120 × 52 mm. Na figura 19 está representado o regulador de carga:

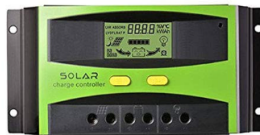


Figura 19: Regulador de Carga[39].

- Bateria: Para a escolha da bateria, optou-se por uma bateria de lítio LiFePO₄ com capacidade de 100Ah e tensão de 12,8V, modelo Ecosolar Compact 100Ah 12,8V. Esta bateria destaca-se pelo seu design compacto, sendo especialmente adequada para aplicações em que o espaço disponível é limitado e é necessário maximizar a densidade energética.

A escolha por uma bateria de lítio foi motivada pelas suas diversas vantagens face às baterias tradicionais de chumbo-ácido, nomeadamente a maior vida útil e a elevada eficiência energética, o que contribui para um melhor aproveitamento da energia armazenada, figura 20.



Figura 20: Bateria de 100Ah [40].

- Conversor DC/DC: O conversor utilizado será um conversor DC/DC do tipo Boost 12V/48V. Este tipo de conversor tem como principal função elevar a tensão de entrada para um nível de tensão de saída mais elevado. Assim, recebe uma tensão contínua (DC) mais baixa,

como 12V, e fornece uma tensão contínua mais alta, neste caso 48V, adequada à alimentação da RSU, figura 21.

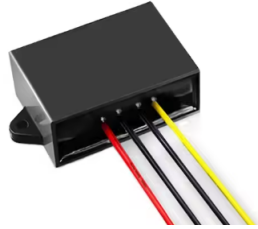


Figura 21: Conversor DC/DC 12/48V [41].

- Injetor PoE: Relativamente ao injetor PoE, este é um injetor de 48V devido à tensão de entrada da RSU, figura 22.



Figura 22: Injetor PoE[42].

3.5 Proposta de Implementação

Após a aplicação da matriz multicritério, que teve como objetivo comparar diversas soluções de comunicação para as RSU's com base nos critérios técnicos, operacionais e económicos, a solução 3, Fabricante 1 W/ Ascendi, destacou-se como a mais vantajosa, obtendo a pontuação mais elevada, como se verificou no subcapítulo 3.4.

Contudo, reconhecendo o valor técnico e a fiabilidade da solução 1, Fabricante 1, que obteve a segunda melhor classificação na matriz, foi considerada uma estratégia de implementação combinada. Após uma pesquisa, concluiu-se que se forem intercaladas as duas soluções ao longo das vias rodoviárias, vão existir benefícios operacionais e económicos, sem comprometer a cobertura e a qualidade do serviço.

Esta abordagem permite, a redução de custos em relação a uma implementação 100% baseada na solução 3, e também o aproveitamento das vantagens específicas de cada solução em função da localização e necessidades da infraestrutura.

De seguida, foi necessário analisar o posicionamento das RSUs em relação à via. Para tal, procedeu-se ao cálculo da distância entre equipamentos consecutivos, de forma a garantir uma cobertura eficiente ao longo do troço. Além disso, avaliou-se a necessidade de instalar duas RSUs em determinados pontos, uma de cada lado da estrada, para assegurar a comunicação com veículos em ambos os sentidos. Esta análise baseou-se no estudo da cobertura das antenas das RSU's, conforme representado nas Figuras 23, 24 e 25.

Assim, na figura 23, é possível observar a disposição da antena num plano XY. Verifica-se que o padrão de cobertura da antena apresenta uma forma aproximadamente circular, evidenciando uma distribuição simétrica do sinal em torno do ponto central.

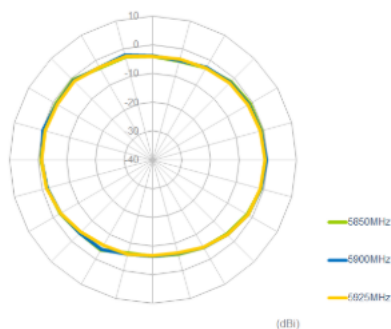


Figura 23: Mensagens de C-ITS.

Na figura 24, pode-se observar a disposição da antena segundo um eixo XZ.

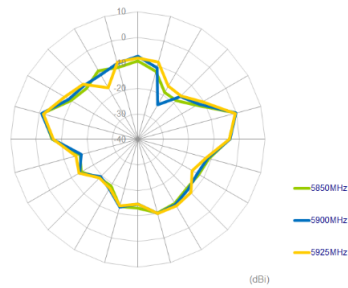


Figura 24: Mensagens de C-ITS.

Na figura 25, pode-se observar a disposição da antena segundo um eixo YZ.

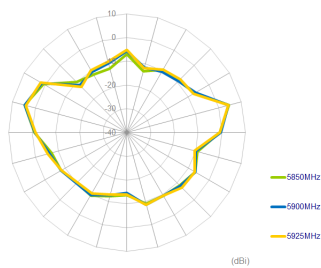


Figura 25: Mensagens de C-ITS.

Após a análise da cobertura das antenas e da sua disposição, foi possível definir a localização das RSUs ao longo da via. Como mencionado no subcapítulo 3.4, tanto a solução 1 como a solução 3 recorrem a antenas com um alcance de aproximadamente 2500 metros.

Inicialmente, foi considerada uma separação de 5 km entre cada RSU. No entanto, com base em experiências anteriores conduzidas pela Ascendi, verificou-se que a redundância na cobertura é um fator importante para garantir a fiabilidade do sistema. Nesse sentido, optou-se por reduzir a distância entre as RSU's para 4 km, de forma a assegurar a sobreposição de cobertura e maior robustez da comunicação.

Por fim, foi também necessário avaliar se seria indispensável instalar uma RSU de cada lado da estrada. Para essa análise, recorreu-se ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), uma ferramenta desenvolvida pela Ascendi que agrega dados detalhados sobre toda a infraestrutura sob a sua gestão, incluindo equipamentos, obras de arte, elementos ambientais, mapas de risco, entre outros. Através do SIG, foi possível medir com precisão a largura da faixa de rodagem, ou seja, a distância entre os extremos das vias em ambos os sentidos, conforme demonstrado na figura 26.

3.5. Proposta de Implementação



Figura 26: Mensagens de C-ITS.

Como é possível verificar pela figura 26, a distância entre as duas faixas de rodagem de um extremo ao outro como é de mais ou menos 30 metros, por isso, a instalação da RSU, seria feita dum lado na berma.

Relativamente à instalação da RSU, esta deverá de ser instalada num mastro com uma altura de pelo menos 4,5 metros e a sua colocação deverá ser feita segundo a figura 27.

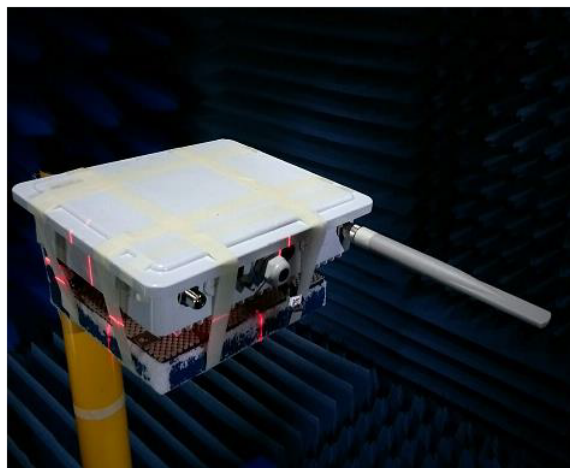


Figura 27: Instalação da RSU no Mastro.

No que diz respeito à disposição proposta para a instalação das RSUs ao longo da via, figura 28, prevê-se a colocação dos equipamentos com um espaçamento regular de 4 km e considerando uma largura de faixa de rodagem de 30 metros. Conforme ilustrado, a estratégia adotada contempla a alternância entre dois tipos de RSUs: a solução 1, fornecida pelo Fabricante 1, e a solução 3, desenvolvida em parceria entre o Fabricante 1 e a Ascendi. Esta abordagem visa essencialmente a reforçar a redundância do sistema e garantir uma maior fiabilidade na monitorização e comunicação ao longo da via.

Com base na informação extraída do SIG, sabe-se que nas vias da Ascendi existem atualmente 179 nós de ligação, os quais podem ser utilizados como pontos estratégicos para a instalação das RSU's da solução 3, visto que nestes nós de ligação não existe canal técnico, como foi referido no subcapítulo anterior.

No cenário representado na figura 28, observa-se que a solução 1 (Fabricante 1) não integra o painel fotovoltaico, como já se tinha falado anteriormente, no subcapítulo 3.4, por isso, depende totalmente do canal técnico da Ascendi para alimentação elétrica e comunicações. Por outro lado, a solução 3 foi projetada para funcionar de forma autónoma, incorpora um painel fotovoltaico e utiliza comunicações via LTE, eliminando assim qualquer dependência do canal técnico.

Esta independência torna-se especialmente relevante em situações de falha de rede elétrica ou de corte de fibra ótica, uma vez que as RSUs da solução 3 permanecem operacionais até um máximo de três dias, garantindo a continuidade da monitorização e do funcionamento do sistema durante esse período.

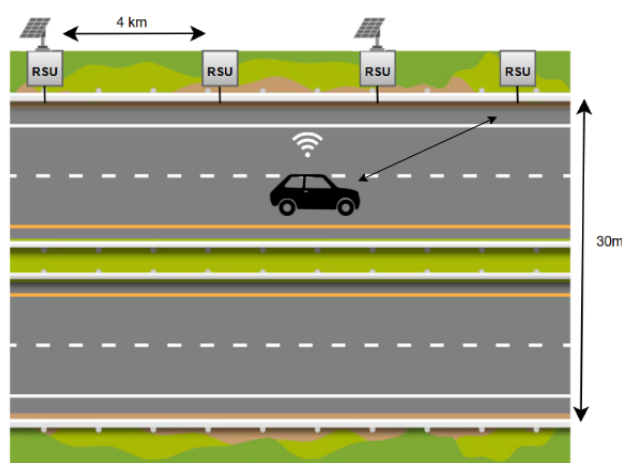


Figura 28: Desenho da Solução.

3.5.1 Planeamento Temporal do Projeto

Relativamente ao planeamento temporal do projeto, a sua implementação foi estruturada em quatro fases distintas. A primeira corresponde à realização de uma prova de conceito (POC), que funcionará como uma fase piloto com o objetivo de validar a viabilidade técnica e funcional da solução. Esta fase terá a duração de seis meses, prevista para o ano de 2025, e servirá como base para a decisão sobre a continuidade do projeto.

Caso a POC decorra com sucesso, seguir-se-á a Fase 1, com início em 2026. No ano seguinte, 2027, será implementada a Fase 2. Por fim, a Fase 3, que constitui a etapa mais extensa do projeto, decorrerá ao longo de três anos, entre 2028 a 2030. Estas serão as fases de desenvolvimento do projeto como está descrito na figura 29.

TAREFA	2025	2026	2027	2028	2029	2030
POC (FASE 0)	POC					
FASE 1		Fase 1 da Implementação				
FASE 2			Fase 2 da Implementação			
FASE 3				Fase 3 da Implementação do Projeto		

Figura 29: Planeamento Temporal do Projeto.

3.5.2 Âmbito do Projeto

No âmbito deste projeto, foi realizada uma análise abrangente a todas as concessões da Ascendi, com o objetivo de identificar a zona mais crítica para iniciar a implementação do sistema. Como parte desse processo, procedeu-se ao cálculo do índice de sinistralidade, figura 31, um indicador que relaciona o número de acidentes com o volume de tráfego em circulação. Este índice permite avaliar, de forma objetiva, a perigosidade relativa de cada troço da rede, e é o mais usado como base estatística no departamento de Segurança Rodoviária da Ascendi.

$$\text{Índice de Sinistralidade} = \frac{N^{\circ} \text{ Total de Acidentes}}{\text{Volume de Circulação (Tráfego)}}$$

Figura 30: Cálculo do Índice de Sinistralidade.

Com base nos dados recolhidos e nos cálculos efetuados, que é possível observar no Anexo 1, secção A.6, figuras 54, 55, 56, 57 e 58, identificou-se que o valor mais elevado de sinistralidade ocorreu na Concessão da Costa de Prata, mais concretamente no troço entre a Arrábida (IC2) e o Hospital. Esta zona revelou-se, portanto, como a mais prioritária em termos de necessidade de intervenção. Assim, foi com base nesta análise que se definiu o ponto de partida para a implementação do projeto, começando por este troço específico.

Como se pode observar na figura 31, o troço compreendido entre os quilómetros 51+518 e 51+911 apresenta o maior índice de sinistralidade entre todas as concessões, atingindo um valor de 86,458. Com base nesta análise, foi selecionada a Concessão Costa de Prata como ponto de partida para a implementação do projeto.

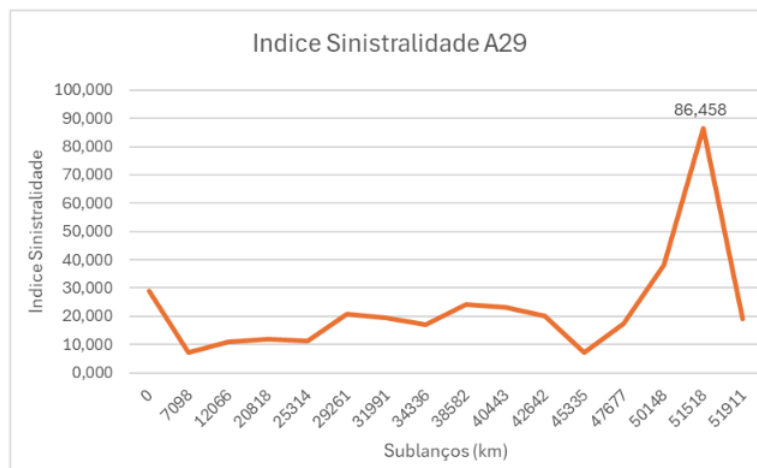


Figura 31: Índice de Sinistralidade da A29.

3.5.3 Fases de Implementação

Concluída a análise técnica, que englobou a definição do modelo de instalação das RSUs, a arquitetura da solução e a seleção da concessão onde o projeto teria início, procedeu-se à elaboração da calendarização, estruturada em fases distintas de implementação. Com base nesse planejamento, deu-se início ao estudo das diferentes etapas do projeto, sendo o principal objetivo identificar as autoestradas envolvidas em cada fase. Este tema será explorado em detalhe nos subcapítulos seguintes.

3.5.3.1 Prova de Conceito (POC)

Inicialmente, considerou-se a realização de uma prova de conceito, ou seja, uma fase piloto do projeto (POC). A ideia consiste em implementar as RSUs num troço específico de autoestrada, como forma de testar o funcionamento do sistema num ambiente real.

Conforme abordado no subcapítulo 3.5.2, a proposta inicial foi iniciar a instalação na A29, mais precisamente no sublanço entre a IC2 e o Hospital. Este segmento, com cerca de 393 metros (do km 51+518 ao km 51+911), foi identificado como aquele com o maior índice de sinistralidade, segundo os cálculos realizados.

Contudo, uma vez que o objetivo do projeto não se limitava apenas ao troço com maior sinistralidade, mas também visava obter uma visão mais abrangente do funcionamento do sistema, decidiu-se alargar a área de implementação. Assim, foram incluídos sublanços adicionais da A29, conforme apresentado na tabela 6. Nesta tabela, a primeira coluna indica o identificador ("ID") de cada sublanço, enquanto que a segunda coluna apresenta o respetivo sublanço. As duas últimas colunas indicam o "ponto quilométrico"(Pk) inicial e final de cada segmento, é com estes valores que é possível contabilizar a distância de cada sublanço.

O troço final analisado compreende o sublanço entre o ponto 29-7 (Espinho - S. Félix) e o ponto 29-1 (Hospital - IP1, Freixo), abrangendo a extensão entre o km 38+582 e o km 52+810. Este segmento totaliza aproximadamente 13,3 km, sendo arredondado para 14 km para efeitos de planeamento e estudo do posicionamento das RSUs.

Tabela 6: Definição de Cenários.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
29-7	Espinho - S. Felix	38582	40443
29-6	S. Felix - Granja	40443	42642
29-5	Granja - Miramar	42642	45335
29-4	Miramar - (A29/A44)	45335	47677
29-3	(A29/A44) - Canelas (Gaia)	47677	50148
29-2	Canelas (Gaia) - Arrábida (IC2)	50148	51518
29-14	Arrábida (IC2) - Hospital	51518	51911
29-1	Hospital - IP1 (Freixo)	51911	52810
A29			

Após a definição do troço a ser estudado, procedeu-se à análise do posicionamento das RSUs ao longo da autoestrada. Conforme abordado no Capítulo 3.5, as RSUs devem ser instaladas com um espaçamento de 4 km entre si, tendo em conta o alcance das antenas.

3.5. Proposta de Implementação

Desta forma, para cobrir uma extensão de 14 km, concluiu-se que seriam necessárias 4 RSU's , devidamente espaçadas a cada 4 km ao longo do trajeto, como está demonstrada na equação seguinte (3.7).

$$\frac{14km}{4km} = 3,5 \text{ Equipamentos} - \text{Aprox. 4 Equipamentos} \quad (3.6)$$

3.5.3.2 RollOut Ascendi - Fase 1

Para fazer a primeira fase de implementação do projeto, pensou em estender-se à autoestrada A29 completa, tabela 7, esta autoestrada vai do ponto 29-15 ao ponto 29-0, desde o km 0 ao km 52+810, ou seja tem-se um total de aproximadamente 52 km.

Tabela 7: Autoestrada A29.

Sublanço		Pk Inicial	Pk Final
29-15	Angeja - Salreu	0	7098
29-16	Salreu - Estarreja	7098	12066
29-13	Estarreja - Ovar Sul	12066	20818
29-12	Ovar Sul - Arada-Ovar Norte	20818	25314
29-11	Arada-Ovar Norte - Maceda	25314	29261
29-10	Maceda - Cortegaça	29261	31991
29-9	Cortegaça - Esmoriz	31991	34336
29-8	Esmoriz - Espinho	34336	38582
29-7	Espinho - S. Felix	38582	40443
29-6	S. Felix - Granja	40443	42642
29-5	Granja - Miramar	42642	45335
29-4	Miramar - (A29/A44)	45335	47677
29-3	(A29/A44) - Canelas (Gaia)	47677	50148
29-2	Canelas (Gaia) - Arrábida (IC2)	50148	51518
29-14	Arrábida (IC2) - Hospital	51518	51911
29-1	Hospital - IP1 (Freixo)	51911	52810
A29			

Assim, foi calculado que seriam necessários 13 equipamentos, conforme a equação (3.8). No entanto, é importante esclarecer que, nesta fase, apenas 9 RSU's serão instalados, uma vez que um troço da autoestrada A29 já se encontra equipado com 4 equipamentos, devido à fase "POC".

$$\frac{52 \text{ km}}{4 \text{ km}} = 13 \text{ Equipamentos} \quad (3.7)$$

3.5.3.3 RollOut Ascendi - Fase 2

Para a segunda fase de implementação do projeto, considerou-se a instalação das RSU's ao longo de toda a Concessão da Costa de Prata. Como demonstrado na tabela 8. Esta concessão integra quatro autoestradas: A25, A17, A29 e a A44, que chega a uma extensão total de aproximadamente 104,50 km, que para efeitos de desenvolvimento do projeto arredondou-se para 105 km.

Com base na equação (3.9), concluiu-se que para cobrir toda a extensão da concessão será necessária a instalação de 27 RSU's. Tendo em conta que a Fase 1 já contempla 13 equipamentos, esta

nova fase implicará a instalação de mais 14 RSU's, distribuídas ao longo dos restantes sublanços da concessão.

$$\frac{105km}{4km} = 27 \text{ Equipamentos} \quad (3.8)$$

Assim, e segundo a tabela 8, vão ser instaladas por auto-estrada:

- A25 - 6 RSU's, esta autoestrada contém um total de 22,914 km;
- A17 - 7 RSU's, a A17 tem um total de 24,534 km;
- A44 - 1 RSU's, a A44 tem um total de 3,926 km
- A29 - Como foi visto anteriormente serão instaladas, já na fase 1 do projeto, 13 RSU's.

Tabela 8: Concessão Costa de Prata.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
25-0	Barra - Zona Industrial	1676	2419
25-1	Zona Industrial - Gafanha da Nazaré	2419	5372
25-2	Gafanha da Nazaré - Pirâmides	5372	8267
25-3	Pirâmides - Esgueira	8267	11843
25-4	Esgueira - Aveiro Nascente (A17/A25)	11843	14046
25-5	Aveiro Nascente (A17/A25) - Zona Industrial de Aveiro	14048	14691
25-36	Zona Industrial de Aveiro - Angeja Poente	14691	20994
25-37	Angeja Poente - Angeja (A29/A25)	20994	22064
25-6	Angeja (A29/A25) - Albergaria (IP1/A1)	22064	24590
A25			
17-1	Mira PV - Ponte de Vagos	92556	98248
17-2	Ponte de Vagos - Vagos	98248	103754
17-3	Vagos - Ílhavo	103754	108025
17-4	Ílhavo - Aveiro Sul	108025	109586
17-5	Aveiro Sul - S. Bernardo	109586	114999
17-6	S. Bernardo - Aveiro Nascente (A17/A25)	114999	117090
A17			
29-15	Angeja - Salreu	0	7098
29-16	Salreu - Estarreja	7098	12066
29-13	Estarreja - Ovar Sul	12066	20818
29-12	Ovar Sul - Arada-Ovar Norte	20818	25314
29-11	Arada-Ovar Norte - Maceda	25314	29261
29-10	Maceda - Cortegaça	29261	31991
29-9	Cortegaça - Esmoriz	31991	34336
29-8	Esmoriz - Espinho	34336	38582
29-7	Espinho - S. Felix	38582	40443
29-6	S. Felix - Granja	40443	42642
29-5	Granja - Miramar	42642	45335
29-4	Miramar - (A29/A44)	45335	47677
29-3	(A29/A44) - Canelas (Gaia)	47677	50148
29-2	Canelas (Gaia) - Arrábida (IC2)	50148	51518
29-14	Arrábida (IC2) - Hospital	51518	51911
29-1	Hospital - IP1 (Freixo)	51911	52810
A29			
44-4	(A29/A44) - Francelos (EN109)	0	741
44-3	Francelos (EN109) - Valadares Norte	741	2053
44-2	Valadares Norte - Madalena	2053	3103
44-1	Madalena - Coimbrões	3103	3926
A44			
LCP			

3.5. Proposta de Implementação

3.5.3.4 RollOut Ascendi - Fase 3

A última fase de implementação do projeto, designada como Fase 3, foi concebida para ser desenvolvida da seguinte forma: estender o sistema a todas as concessões geridas pela Ascendi. Isto inclui a Concessão Norte (CN), Concessão Beiras Litoral e Alta (BLA), Concessão Grande Porto (CGP), Concessão Grande Lisboa (CGL), Concessão Costa de Prata (CP) e, por fim, a Concessão do Pinhal Interior (CPI).

Assim, para cada uma das concessões foi feito o cálculo da quantidade de equipamentos que serão necessários instalar, como é possível ver a seguir:

A concessão Norte, tabela 9, é constituída pelas autoestradas A11, A7 e A42.

- A11 - Autoestrada com uma extensão de 78,950 km, necessários 20 equipamentos.
- A7 - Autoestrada com uma extensão de 102,849 km, necessários 26 equipamentos.
- A42 - Autoestrada com uma extensão de 109,24 km, necessários 27 equipamentos.

Tabela 9: Concessão Norte.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
11-1	Apúlia (A28) - EN205	0	3981
11-2	EN205 - Barcelos	3981	12621
11-3	Barcelos - Braga Oeste (A3/A11)	12621	22628
11-4	Braga Oeste (A3/A11) - Braga (Ferreiros)	22628	27395
11-5	Braga (Ferreiros) - Celeirós	27395	27805
11-6	Celeirós - Guimarães Oeste	30342	43109
11-8	Guimarães Oeste - Selho	43109	44916
11-11	Calvos - Vizela	53986	61356
11-12	Vizela - Felgueiras	61356	64801
11-13	Felgueiras - Lousada	64801	70078
11-14	Lousada - EN15	70078	76101
11-15	EN15 - EN211	76101	78536
11-16	EN211 - Castelões (A4/A11)	78536	78950
A11			
7-1	Póvoa de Varzim (A28) - EN206	961	2919
7-2	EN206 - Famalicão	2919	20214
7-4	Famalicão - A3/A7	20214	21521
7-5	A3/A7 - Seide	21521	25804
7-6	Seide - Ave	25804	33313
7-7	Ave - Selho	33313	37625
7-8	Selho - Guimarães Sul	37625	42225
7-9	Guimarães Sul - Calvos	42225	46697
7-10	Calvos - Fafe Sul	46697	56396
7-11	Fafe Sul - Basto	56396	76436
7-13	Basto - Ribeira de Pena	76436	89822
7-14	Ribeira de Pena - Vila Pouca de Aguiar (A24)	89822	103810
A7			
42-8	Lousada - Lousada	19889	20843
42-9	Felgueiras - Longra	26119	28116
42-10	Longra - EN 101	28116	30813
A42			
AEN			

Assim, só para as autoestradas da Concessão Norte seriam necessários 73 equipamentos no total.

A concessão BLA, tabela 10, é constituída pela autoestrada A25:

- A25 - Autoestrada com uma extensão de 153,5 km, necessários 39 equipamentos.

Tabela 10: Concessão Beiras Litoral e Alta.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
25-8	Albergaria (A1/A25) - A25/IC2	24590	29034
25-9	A25/IC2 - Carvoeiro	29034	31102
25-10	Carvoeiro - Talhadas	32102	43235
25-11	Talhadas - Reigoso	43235	50066
25-12	Reigoso - Cambarinho	50066	56112
25-13	Cambarinho - Vouzela	56112	61417
25-14	Vouzela - Vouzela Nascente	61417	63407
25-15	Vouzela Nascente - Ventosa	63407	69286
25-16	Ventosa - Boa Aldeia Poente	69286	74439
25-17	Boa Aldeia Poente - Boa Aldeia Nascente	74439	75397
25-35	Boa Aldeia Nascente - Fail	75397	84731
25-18	Fail - EN 231	84731	88426
25-19	EN231 - EN2	88426	94574
25-20	EN2 - Caçador	94574	96563
25-21	Caçador - Fagilde	96563	101595
25-22	Fagilde - Mangualde	101595	105334
25-24	Mangualde - Chãs de Tavares	105334	117621
25-25	Chãs de Tavares - Fornos de Algodres	117621	125852
25-26	Fornos de Algodres - Celorico da Beira	125852	137923
25-27	Celorico da Beira - EN17	137923	139055
25-28	EN17 - Ratoeira Poente	139055	144034
25-34	Ratoeira Poente - Ratoeira Nascente	144034	146332
25-40	Ratoeira Nascente - IP2/A25	146332	146964
25-29	IP2/A25 - Guarda	146964	161133
25-30	Guarda - Pinhel	161133	163070
25-31	Pinhel - Pinzio	163070	177283
25-32	Pinzio - Alto do Leomil	177283	184697
25-33	Alto do Leomil - EN332	184697	196872
A25			
LBLA			

No total, para as autoestradas da concessão BLA, seriam necessários 39 equipamentos.

A concessão Grande Porto (GP), tabela 11, é constituída pelas autoestradas A4, A41, A42, e VRI :

- A4 - Autoestrada com uma extensão de 7,9 km, necessários 2 equipamentos;
- A41 - Autoestrada com uma extensão de 23,23 km, necessários 6 equipamentos;
- A42 - Autoestrada com uma extensão de 19,667 km, necessários 5 equipamentos;

3.5. Proposta de Implementação

Tabela 11: Concessão Grande Porto.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
4-15	Matosinhos - Sendim	-666	0
4-14	Sendim - Guifões	0	386
4-13	Guifões - Custóias	386	2387
4-12	Custóias - Via Norte	2387	5042
4-11	Via Norte - Ponte da Pedra	5042	6104
4-10	Ponte da Pedra - Águas Santas (A3/A4)	6104	7959
A4			
41-1	Freixieiro - Aeroporto	0	2757
41-3	Aeroporto - Lipor	2757	3664
41-4	Lipor - EN13	3664	5363
41-6	EN13 - EN14	6972	7335
41-7	EN14 - EN107	7335	9377
41-9	EN107 - Maia	9377	12449
41-11	Maia - Alfena	12449	14645
41-13	Alfena - Santo Tirso	14645	19708
41-14	Santo Tirso - Ermida	19708	22110
41-15	Ermida - IC24-IC25	22110	23228
A41			
42-1	IC24-IC25 - Seroa	0	3574
42-2	Seroa - Paços Ferreira Oeste	3574	6487
42-3	Paços Ferreira Oeste - Paços Ferreira Este	6487	10049
42-4	Paços Ferreira Este - EN106 (Sul)	10049	12575
42-5	EN106 (Sul) - EN106 (Norte)	12575	13851
42-6	EN106 (Norte) - Lousada	13851	19667
A42			
LGP			

Assim, no total seriam necessários, para a Concessão do Grande Porto, um total de 14 equipamentos.

A concessão Grande Lisboa (GL), tabela 12, é constituída pela autoestrada A16:

- A16 - Autoestrada com uma extensão de 22,88 km, necessários 6 equipamentos.

Tabela 12: Concessão Grande Lisboa.

	Sublanço	Pk Inicial	Pk Final
16-1	A5 - Alcabideche	0	798
16-2	Alcabideche - AKI	798	1988
16-3	AKI - Centro Comercial	1988	2490
16-4	Centro Comercial - Alcoitão	2490	2892
16-5	Alcoitão - Linhó	2892	4221
16-6	Linhó - Ranholas	4221	8369
16-7	Ranholas - Sintra	8369	10937
16-8	Sintra - Lourel	10937	11996
16-9	Lourel - Sacotes	11996	13665
16-10	Sacotes - Telhal	13665	16754
16-11	Telhal - Mira Sintra	16754	18671
16-12	Mira Sintra - Cacém	18671	20602
16-13	Cacém - Idanha	20602	21543
16-14	Idanha - CREL	21543	22881
A16			
LGL			

Assim, no total seriam necessários, para a Concessão da Grande Lisboa, um total de 6 equipamentos.

A concessão do Pinhal Interior (PI), tabela 13, é constituída pelas autoestradas A13 e A13-1:

- A13 - Autoestrada com uma extensão de 83,612 km, necessários 21 equipamentos;
- A13-1 - Autoestrada com uma extensão de 9,421 km, necessários 2 equipamentos.

Tabela 13: Concessão Pinhal Interior.

	Sublção	Pk Inicial	Pk Final
13-1	A23 - EN110 (Atalaia)	119000	119813
13-2	EN110 (Atalaia) - Asseiceira	119813	123470
13-3	Asseiceira - EN110 (Santa Cita)	123470	127798
13-4	EN110 (Santa Cita) - Valdonas	127798	133342
13-5	Valdonas - IC9	133342	135844
13-6	IC9 - Alviobeira	135844	142114
13-7	Alviobeira - Pias	142114	147938
13-8	Pias - Cabaços	147938	156835
13-9	Cabaços - Alvaiázere	156835	162470
13-10	Alvaiázere - IC8 (Avelar Sul)	162470	172343
13-11	IC8 (Avelar Sul) - Penela (Avelar Norte)	172343	183233
13-12	Penela (Avelar Norte) - EN342	183233	190389
13-13	EN342 - Condeixa (IC3)	190389	195017
13-14	Condeixa (IC3) - Coimbra Sul	195017	202612
A13			
13-1-1	Almalaguês - Condeixa (IC3)	0	7817
13-1-2	Condeixa (IC2) - Almalaguês	7817	9421
A13-1			
PI			

Assim, no total seriam necessários, para a Concessão do Pinhal Interior, um total de 23 equipamentos.

Por fim, após esta análise, pode-se constatar que será necessário um número específico de RSU's para cada concessão, conforme está representado a seguir:.

- Concessão Norte - 73 ;
- Concessão Beiras Litoral e Alta - 39;
- Concessão Grande Porto - 13 ;
- Concessão Costa de Prata - 27;
- Concessão Grande Lisboa - 6;
- Concessão Pinhal Interior - 23;

Depois de feita toda a análise por concessão, para saber quantos RSU's seriam necessários por concessão, fez-se a seguinte equação:

$$73 + 39 + 13 + 27 + 6 + 23 = 181 \text{ Equipamentos} \quad (3.9)$$

Por fim, conforme demonstrado na equação (3.10), será necessário um total de 181 equipamentos para cobrir toda a área das autoestradas sob gestão da Ascendi.

4 Análise de Investimento

Depois de selecionada a melhor solução do ponto de vista técnico, foi necessário realizar uma análise de viabilidade para cada uma das alternativas anteriormente estudadas. Como já mencionado, a componente financeira tem um papel fundamental na implementação de qualquer projeto. Assim, embora a solução tecnicamente mais adequada já tenha sido identificada, com o estudo da matriz multicritério, é essencial avaliar também a viabilidade financeira de cada opção. Esta análise é crucial para garantir uma decisão equilibrada.

Neste capítulo, será realizada uma análise detalhada da viabilidade económica das três soluções C-ITS anteriormente consideradas: Solução 1 (Fabricante 1), Solução 2 (Fabricante 2) e Solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi). Esta análise visa apoiar de forma objetiva a decisão final, fornecendo uma base sólida para a escolha da alternativa que melhor equilibra o desempenho técnico e a componente financeira.

Ao longo das próximas secções, serão avaliadas as principais componentes do investimento, incluindo o custeio dos produtos e equipamentos, as amortizações dos ativos e o seu valor residual ao longo do tempo, a demonstração de resultados previsionais e a projeção dos cash-flows para cada alternativa.

Por fim, será efetuada uma análise económico-financeira mais abrangente com base em indicadores como o VAL e a TIR, que permitirão comparar de forma quantificada o retorno esperado de cada solução. No último subcapítulo, com base nos resultados técnicos e financeiros obtidos, será identificada a solução mais adequada para implementação pela Ascendi.

4.1 Avaliação da Viabilidade da Solução

A análise de investimento tem como objetivo avaliar os custos associados à implementação das diferentes soluções tecnológicas C-ITS.

A análise dos custos dos produtos foi realizada para o período compreendido entre n=0 (ano de 2025) e n=5 (ano de 2030), correspondente aos anos em que está prevista a aquisição de equipamentos. Um dos pressupostos que foi usado para a análise financeira, e que vai ser abordado mais à frente noutros subcapítulos, foi que seriam necessários 5 anos de desenvolvimento do projeto (n=0 a n=5), e 6 anos de exploração (n=6 a n=11)

4.1.1 Custeio dos Produtos

Para definir uma estratégia adequada para cada uma das três soluções, é fundamental, antes de tudo, calcular o respetivo custo unitário de cada produto. Esse custo deve considerar três componentes principais: o custo unitário dos equipamentos utilizados em cada solução; o custo unitário com mão de obra, e os encargos gerais de operação.

As tabelas 14, 15 e 16, apresentam os custos unitários anuais dos equipamentos principais para cada solução, estes valores foram pedidos a cada um dos fabricantes. Os valores refletem a atualização de preços com base nas taxas de inflação projetadas para os anos seguintes, conforme demonstrado na tabela 17. A relação entre a inflação e os custos é direta: como a tabela 17 mostra uma tendência de queda nas taxas de inflação até 2030, observa-se também uma redução progressiva nos preços apresentados nas tabelas 14, 15 e 16.

Como se pode observar na tabela 15, a solução 2 (Fabricante 2) apresenta o menor custo unitário, de aproximadamente 3 900€, entre as três alternativas analisadas. Por outro lado, a solução 3, tabela 16, apresenta o maior custo unitário, 5 037,18€, justificado pela necessidade da utilização de diversos componentes adicionais além do próprio equipamento RSU, como o painel fotovoltaico, conversores PoE e DC/DC, controlador de carga e bateria, no entanto e conforme indicado no capítulo 3.4, os sistemas isolados com equipamentos de via são projetados para alimentar cargas de corrente contínua (12V, 24V, 48V). Este tipo de sistema não inclui inversor, o que reduz significativamente o custo. E por último a solução que apresenta um maior custo unitário é a solução 1 da Fabricante 1, tabela 14.

Tabela 14: Custo Anual dos Equipamentos da Solução 1.

Custo (€) - Fabricante 1 (Solução 1)						
Equipamentos	Preço 2025	Preço 2026	Preço 2027	Preço 2028	Preço 2029	Preço 2030
RSU's	4 600,00 €	4498,80	4508,00	4512,60	4512,60	4512,60

Tabela 15: Custo Anual dos Equipamentos da Solução 2.

Custos (€) - Fabricante 2 (Solução 2)						
Equipamentos	Preço 2025	Preço 2026	Preço 2027	Preço 2028	Preço 2029	Preço 2030
RSU's	3 900,00 €	3814,20	3822,00	3825,90	3825,90	3825,90

4.1. Avaliação da Viabilidade da Solução

Tabela 16: Custo Anual dos Equipamentos da Solução 3.

Custo (€) - Fabricante 1 w/Ascendi (Solução 3)						
Equipamentos	Preço 2025	Preço 2026	Preço 2027	Preço 2028	Preço 2029	Preço 2030
RSU's	4 600,00 €	4498,80	4508,00	4512,60	4512,60	4512,60
Painel Fotovoltaico 12V	65,97 €	64,52 €	63,10 €	61,71 €	60,35 €	59,03 €
Conversores PoE+ 8V	15,05 €	14,72 €	14,75 €	14,76 €	14,76 €	14,76 €
Conversores DC/DC 12V/48V	20,46 €	20,01 €	20,05 €	20,07 €	20,07 €	20,07 €
Controlador de Carga 15A	3,60 €	3,52 €	3,53 €	3,53 €	3,53 €	3,53 €
Bateria 100Ah 12,8V	332,10 €	324,79 €	325,46 €	325,79 €	325,79 €	325,79 €
Total	5 037,18 €	4926,36	4934,89	4938,47	4937,11	4935,78

A tabela 17, que contém as taxas de inflação, é relevante para conseguir projetar os valores para os anos que não são conhecidos, as taxas de inflação estão conforme as taxas portuguesas até ao ano de 2025, e a previsão para os anos de 2026 a 2030.

Tabela 17: Taxa de Inflação Anual considerada para as Soluções 1,2 e 3.

Ano	Taxa de Inflação
2025	0,00%
2026	2,20%
2027	2,00%
2028	1,90%
2029	1,90%
2030	1,90%

De seguida, apresenta-se, para cada uma das soluções, a tabela correspondente ao cálculo dos custos totais, estes custos foram calculados com base nos valores apresentados nas tabelas 18, 19 e 20, para as soluções 1, 2 e 3, respetivamente.

Como é possível verificar na tabela 18, referente ao custo total associado à aquisição de equipamentos para a solução 1 (Fabricante 1), esta apresenta a quantidade total de equipamentos adquiridos por ano, perfazendo um total de 181 unidades, tal como já referido no capítulo 3 durante a fase de implementação, este número corresponde a um investimento global de 816 941,60€, como pode ser confirmado na tabela 18.

Tabela 18: Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 1 (Fabricante 1).

RSU's - Solução 1		
Ano	Unidades Compradas	Custos Totais
2025	4	18 400,00 €
2026	9	40489,20
2027	14	63112,00
2028	51	230142,6
2029	51	230142,6
2030	52	234655,2
Total	181	816 941,60 €

A tabela 19, diz respeito à quantidade de unidades compradas para a solução 2 do Fabricante 2, e como é possível verificar, para um total de 181 equipamentos, obtém-se um valor de 692 624,40€

Tabela 19: Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 2 (Fabricante 2).

RSU's - Solução 2		
Ano	Unidades Compradas	Custos Totais
2025	4	15 600,00 €
2026	9	34327,80
2027	14	53508,00
2028	51	195120,9
2029	51	195120,9
2030	52	198946,8
Total	181	692 624,40 €

Por último, apresenta-se a tabela 20, relativa à solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi), que inclui um total de 181 equipamentos, o mesmo número que as soluções 1 e 2. No entanto, esta solução regista um custo total de 785 274,26 € apenas em equipamentos, valor superior ao das restantes alternativas. Esta diferença torna-se evidente quando se comparam as tabelas 14, 15 e 16, e justifica-se pelo tipo de solução adotada. Como se pôde observar no Capítulo 3, a Solução 3 (Fabricante 1 com Ascendi) integra um conjunto significativamente mais alargado de componentes, o que naturalmente contribui para o aumento do custo associado.

Tabela 20: Quantidade de Unidades Compradas para a Solução 3 (Fabricante 1 W/Ascendi).

Caixa RSU - Solução 3		
Ano	Unidades Compradas	Custos Totais
2025	4	20 148,72 €
2026	9	44337,26
2027	14	69088,39
2028	51	251861,8719
2029	51	251792,6321
2030	52	256660,6982
Total	181	893 889,57 €

4.1.2 Amortizações e Valor Residual do Imobilizado

Tendo em consideração o investimento em imobilizado, procedeu-se ao desenvolvimento do mapa de amortizações das suas diversas componentes, evidenciado na tabela 21. Para tal, foram admitidas as taxas anuais de amortização declaradas no Decreto-Lei N.º 178, promulgado em 31 de Agosto de 2009 e vigente a partir de 14 de Setembro do mesmo ano.

Tabela 21: Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 1.

Investimento	Taxas	Valor de Aquisição (€)	Amortizações Anuais (€)											Valor Residual Contabilístico (€)			
			2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)		2036 (n=11)		
2. Equipamentos Informáticos e Software																	
Equipamentos POC	20%	18 400	0	1 840,00	3 680,00	3 680,00	3 680,00	3 680,00	1 840,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Equipamentos Fase1	20%	40 489	0	0	8 098	8 098	8 098	8 098	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipamentos Fase2	20%	63 112	0	0,00	0,00	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	12 622,40	0
Equipamentos Fase3	20%	595 663	0	0,00	0,00	0,00	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	119 133	0
Software	33%	550 000	0	0,00	181 500,00	181 500,00	181 500,00	4 500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1000
5. Diversos																	
Mão de Obra Externa (Poc)	-	4 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4000
Mão de Obra Externa (Fase 1)	-	9 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9000
Mão de Obra Externa (Fase 2)	-	14 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14000
Mão de Obra Externa (Fase 3)	-	132 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132000
Infraestrutura Metálica (POC)	12,50%	11 400	0	1 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	0
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	12,50%	25 650	0	0	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	3 206	0
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	12,50%	39 900	0	0	0	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	4 988	0
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	12,50%	125 400	0	0	0	0	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	15 675	0
AMORTIZAÇÕES DO EXERCÍCIO (€)			0	3 265,00	197 909,09	215 518,99	350 326,63	173 326,63	166 986,63	157 048,79	144 426,39	23 868,75	20 662,50	15 675,00	15 675,00	15 675,00	
VALOR CONTABILÍSTICO (€)		1 629 014	1 629 014	1 625 749,40	1 427 840,31	1 212 321,32	861 994,69	688 668,06	521 681,43	364 632,64	220 206,25	196 337,50	175 675,00	160 000,00	160 000,00	160 000,00	

A Tabela 21, referente à solução da Fabricante 1, apresenta a evolução das amortizações anuais e do valor contabilístico do imobilizado ao longo do período de análise, entre 2025 (n=0) e 2036 (n=11). Como se pode observar, os equipamentos associados à componente técnica apresentam

4.1. Avaliação da Viabilidade da Solução

taxas de amortização que variam entre 20% e 33%, refletindo diferentes níveis de obsolescência e tempo útil de vida dos ativos.

Em particular, os equipamentos informáticos (Fase 1 a Fase 3) e o software apresentam taxas de depreciação mais elevadas, sendo totalmente amortizados entre o 4.º e 5.º ano de exploração. O software, por exemplo, com uma taxa de 33%, deixa de ter valor contabilístico já em 2028, após três anos de utilização.

Já as infraestruturas metálicas e os custos associados à mão de obra externa foram considerados com uma taxa de amortização de 12,50%, o que lhes confere maior longevidade no balanço da empresa. Estas rubricas mantêm valor contabilístico até 2036, especialmente as infraestruturas da Fase 3.

É ainda possível constatar que, de todo o investimento em imobilizado efetuado inicialmente (no valor de 1 629 014 €), só 5 componentes possuem valor contabilístico no final do período de exploração, totalizando um valor de 160 000€ (aproximadamente 9,8% do valor do investimento). A diferença entre o valor do investimento inicial e o valor residual contabilístico do imobilizado corresponderá, portanto, às amortizações do exercício, que perfazem um total de 1 469 014 €. Isto significa que uma parte significativa dos ativos ainda mantém valor contabilístico, especialmente devido à presença de infraestruturas duráveis e investimentos realizados em fases mais tardias do projeto (como a Fase 3).

Por fim, com base nos dados das amortizações acumuladas, será possível avançar para uma estimativa do valor residual de mercado dos componentes do investimento, com o objetivo de apurar mais ou menos-valias brutas em eventual desmobilização futura dos ativos e dos seus respetivos impactos fiscais. Esta análise será apresentada no capítulo seguinte.

Tabela 22: Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 2.

Investimento	Taxas	Valor de Aquisição (€)	Amortizações Anuais (€)												Valor Residual
			2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)	
2. Equipamentos Informáticos															
Equipamentos POC	20%	15 600	0	1 560,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	1 560,00						0,00
Equipamentos Fase1	20%	34 328	0	6 866	6 866	6 866	6 866	6 866	6 866						0,00
Equipamentos Fase2	20%	53 508	0	0,00	0,00	10 701,60	10 701,60	10 701,60	10 701,60						0,00
Equipamentos Fase3	20%	168 340	0	0,00	0,00	0,00	33 668	33 668	33 668	33 668	33 668	33 668	33 668	33 668	0,00
Software	33%	330 000	0	108 900,00	108 900,00	108 900,00	3 300,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5. Diversos															
Mão de Obra Externa (Poc)	-	4 000	0	0	0	0	0	0							4 000
Mão de Obra Externa (Fase 1)	-	9 000	0	0	0	0	0	0							9 000
Mão de Obra Externa (Fase 2)	-	14 000	0	0	0	0	0	0							14 000
Mão de Obra Externa (Fase 3)	-	132 000	0	0	0	0	0	0							132 000
Infraestrutura Metálica (POC)	12,50%	13 600	0	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	0
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	12,50%	30 600	0	0	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	0
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	12,50%	47 600	0	0	0	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	0
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	12,50%	149 600	0	0	0	0	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700	0
AMORTIZAÇÕES DO EXERCÍCIO (€)			0	112 160,00	124 410,56	141 062,16	87 830,08	84 530,08	82 970,08	74 544,52	63 842,92	28 475,00	24 650,00	18 700,00	
VALOR CONTABILÍSTICO (€)		1 002 175	1 002 175	890 015,40	765 604,84	624 542,68	536 712,60	452 182,52	369 212,44	294 667,92	230 825,00	202 350,00	177 700,00	159 000,00	

A Tabela 22, relativa à solução da Fabricante 2, apresenta valores de amortização semelhantes aos da solução Fabricante 1, particularmente no que respeita aos equipamentos informáticos, cujas taxas variam entre os 20% e os 33%. Tal como na Fabricante 1, os softwares são amortizados mais rapidamente, desaparecendo do valor contabilístico a partir do 4.º ano (2030).

Verifica-se ainda que, do total do investimento inicial em imobilizado, no montante de 1 002 175€, apenas quatro componentes mantêm valor contabilístico no final do período de exploração, totalizando 159 000€, o que corresponde a cerca de 15% do investimento realizado. A diferença entre o valor inicial e o valor residual contabilístico, 843 175 €, corresponde às amortizações acumuladas ao longo do período. Este valor resulta, em grande parte, da conservação de valor em componentes como infraestruturas metálicas e mão de obra externa.

Assim, embora os critérios de amortização sejam idênticos, a distribuição do investimento e a proporção de componentes com valor residual tornam a solução 2 (Fabricante 2) mais eficiente em termos de valorização contabilística a longo prazo.

Tabela 23: Amortizações e Valor Residual Contabilístico do Imobilizado para a Solução 3.

Investimento	Taxas	Valor de Aquisição (€)	Amortizações Anuais (€)											Valor Residual		
			2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)		2036 (n=11)	
1. Equipamentos Informáticos e Software																
Equipamentos POC	20%	20 149	0	2 014,87	4 029,74	4 029,74	4 029,74	4 029,74	2 014,87							0,00
Equipamentos Fase1	20%	44 337	0	0	8 867	8 867	8 867	8 867	8 867							0,00
Equipamentos Fase2	20%	69 088	0	0,00	0,00	13 817,68	13 817,68	13 817,68	13 817,68	13 817,68						0,00
Equipamentos Fase3	20%	217 293	0	0,00	0,00	0,00	43 459	43 459	43 459	43 459						0,00
Software	33%	550 000	0	181 500,00	181 500,00	181 500,00	5 500,00	0								0,00
2. Diversos																
Mão de Obra Externa (Poc)	-	4 000	0	0	0	0	0	0	0							4 000
Mão de Obra Externa (Fase 1)	-	9 000	0	0	0	0	0	0								9 000
Mão de Obra Externa (Fase 2)	-	14 000	0	0	0	0	0	0								14 000
Mão de Obra Externa (Fase 3)	-	132 000	0	0	0	0	0	0								132 000
Infraestrutura Metálica (POC)	12,50%	13 600	0	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700	1 700					0
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	12,50%	30 600	0	0	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825	3 825					0
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	12,50%	47 600	0	0	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950	5 950				5 950	0
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	12,50%	149 600	0	0	0	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700	18 700				18 700	0
AMORTIZAÇÕES DO EXERCÍCIO (€)			0	185 214,87	199 922,20	219 689,87	105 848,39	100 348,39	98 333,52	87 451,20	73 633,52	28 475,00	24 650,00	18 700,00		
VALOR CONTABILÍSTICO (€)			1 301 267	1 116 052,09	916 129,90	696 440,02	590 591,63	490 243,24	391 909,72	304 458,52	230 825,00	202 350,00	177 700,00	159 000,00		159 000,00

A Tabela 23, referente à solução Fabricante 1 w/Ascendi, apresenta valores de amortização semelhantes aos da solução Fabricante 1, especialmente no que diz respeito aos equipamentos informáticos, cujas taxas variam entre 20% e 33%, tal como se verificou nas outras duas soluções. À semelhança da Fabricante 1, os softwares são amortizados de forma mais acelerada, deixando de constar do valor contabilístico a partir do quarto ano (2030).

Analisando a tabela 23, referente ao valor residual líquido, pode-se observar que do total do investimento inicial em imobilizado, no montante de 1 301 267€, apenas quatro componentes mantêm valor contabilístico no final do período de exploração, totalizando 159 000€, o que corresponde a cerca de 15% do investimento realizado. A diferença entre o valor inicial e o valor residual contabilístico, 1 142 267 €, corresponde às amortizações acumuladas ao longo do período.

Como é possível observar pelos dados, a Solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi) apresenta os valores mais elevados entre as alternativas analisadas. Este resultado deve-se, uma vez mais, ao fator já referido anteriormente, a maior complexidade dos equipamentos incluídos nesta solução. Em contraste, os custos associados ao software e às infraestruturas são bastante semelhantes aos verificados na Solução 1 (Fabricante 1).

4.1.3 Valor Residual

A comparação entre o valor residual contabilístico e o valor residual (bruto) de mercado para os diferentes componentes do investimento da solução Fabricante 1, está representado na tabela 24. Esta tabela tem como objetivo apurar as mais ou menos-valias associadas a cada ativo no final do período de exploração. O valor residual líquido serve para representar o valor estimado de um ativo no final da sua vida útil, após a dedução de todas as amortizações acumuladas.

Neste exercício, foi considerado que determinadas rubricas não iriam manter o valor de mercado no final do projeto, originando menos-valias. Por exemplo, a mão de obra externa, cujos custos são irre recuperáveis, e das infraestruturas com especificidade elevada, cuja venda ou reutilização é limitada. Por outro lado, alguns ativos, como infraestruturas metálicas e equipamentos informáticos, conservaram um valor de mercado superior ao seu valor contabilístico, gerando mais-valias brutas.

4.1. Avaliação da Viabilidade da Solução

Tabela 24: Valor Residual Líquido para a Solução 1.

Investimento	Valor Residual Contabilístico (€)	Valor Residual (Bruto) de Mercado (€)	Mais/Menos Valia Bruta (€)	Valor Residual Líquido (€)
1. Equipamentos Informáticos e Software				
Equipamentos POC	0	2760	2760	2760
Equipamentos Fase1	0	6073,38	6073,38	6073,38
Equipamentos Fase2	0	9467	9467	9467
Equipamentos Fase3	0	89349	89349	89349
Software	1000	82500	81500	82500
2. Diversos				
Mão de Obra Externa (POC)	4000	0	-4000	0
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9000	0	-9000	0
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14000	0	-14000	0
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132000	0	-132000	0
Infraestrutura Metálica (POC)	0	8550	8550	8550
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	0	19238	19238	19238
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	0	29925	29925	29925
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	0	94050	94050	94050
TOTAL (€)	160000,00	341912,16	181912,16	341912,16

O total das mais-valias brutas apuradas, para a solução 1, ascende a 181 912,16€, valor que é superior às perdas (menos-valias) associadas a componentes com desvalorização total.

Dado que os valores residuais apresentados correspondem a estimativas de mercado de ativos e não a proveitos realizados diretamente, não se verifica a existência de uma transação efetiva que origine ganhos para efeitos de IRC. Assim, não há lugar à aplicação de imposto sobre mais-valias.

Consequentemente, o valor residual líquido é, neste contexto, equivalente ao valor residual bruto de mercado, refletindo apenas o potencial valor económico dos ativos, e não um rendimento efetivamente obtido.

Este valor será utilizado para o cálculo do cash flow na análise de viabilidade económico-financeira do projeto, a realizar nas secções seguintes.

Relativamente à solução 2 do Fabricante 2, o seu valor residual líquido está demonstrado na Tabela 25, esta apresenta a comparação entre o valor residual contabilístico e o valor residual (bruto) de mercado para os diferentes componentes do investimento da solução Fabricante 2.

Tabela 25: Valor Residual Líquido para a Solução 2.

Investimento	Valor Residual Contabilístico (€)	Valor Residual (Bruto) de Mercado (€)	Mais/Menos Valia Bruta (€)	Valor Residual Líquido (€)
1. Equipamentos Informáticos e Software				
Equipamentos POC	0	2340	2340	2340
Equipamentos Fase 1	0	5149,17	5149,17	5149,17
Equipamentos Fase 2	0	8026	8026	8026
Equipamentos Fase 3	0	25251	25251	25251
Software	0	49500	49500	49500
2. Diversos				
Mão de Obra Externa (POC)	4000	0	-4000	0
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9000	0	-9000	0
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14000	0	-14000	0
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132000	0	-132000	0
Infraestrutura Metálica (POC)	0	10200	10200	10200
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	0	22950	22950	22950
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	0	35700	35700	35700
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	0	112200	112200	112200
TOTAL (€)	159000	271316,31	112316,31	271316,31

Tal como para a solução 1 (Fabricante 1), para a solução 2 (Fabricante 2), foram também calculadas as mais/menos valias, assim como o valor residual líquido.

O total das mais-valias brutas apuradas ascende a 112 316,31€, valor este que supera as perdas (menos-valias) resultantes da desvalorização integral de determinados componentes. Como se verifica na Tabela 25, o valor residual líquido atinge os 271 316,31€.

Relativamente à solução 3 (Fabricante 1 w/ Ascendi), a tabela 26 apresenta a comparação entre o valor residual contabilístico e o valor residual (bruto) de mercado para os diferentes componentes do investimento da solução 3 (Fabricante 1 w/ Ascendi), tal como foi feito para a solução 1 e 2.

Tabela 26: Valor Residual Líquido para a Solução 3.

Investimento	Valor Residual Contabilístico (€)	Valor Residual (Bruto) de Mercado (€)	Mais/Menos Valia Bruta (€)	Valor Residual Líquido (€)
1. Equipamentos Informáticos e Software				
Equipamentos POC	2015	3022	1007	3022
Equipamentos Fase 1	8867	6650,59	-2216,41	6650,59
Equipamentos Fase 2	27635	10363	-17272	10363
Equipamentos Fase 3	130376	32594	-97782	32594
Software	0	82500	82500	82500
2. Diversos				
Mão de Obra Externa (POC)	4000	0	-4000	0
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9000	0	-9000	0
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14000	0	-14000	0
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132000	0	-132000	0
Infraestrutura Metálica (POC)	5100	10200	5100	10200
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	15300	22950	7650	22950
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	29750	35700	5950	35700
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	112200	112200	0	112200
TOTAL (€)	490243,24	316180,04	-174063,19	316180,04

Foram igualmente calculadas as mais-valias e menos-valias, bem como o valor residual líquido, para a Solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi). O total das mais/menos-valias brutas apurado corresponde a -174 063,19€, o que representa um valor negativo. Este resultado indica que, no conjunto dos ativos considerados, o valor de mercado atual é significativamente inferior ao valor contabilístico. Ainda assim, o valor residual líquido dos ativos, tal como apresentado na Tabela 26, é de 316 180,04€.

4.1.4 Demonstração de Resultados

Em conformidade com as circunstâncias económico-financeiras já apuradas, foi construída a conta de exploração previsional para cada uma das soluções. Esta é a componente que compreende quer os rendimentos, quer os gastos do projeto, visando obter os resultados líquidos decorrentes do exercício inerente a cada um dos 11 anos do projeto, importante esclarecer que para se obter os valores referentes aos proveitos para o projeto foi necessário fazer uma lista de benefícios para Ascendi com a implementação do projeto. Esta lista está demonstrada no Anexo 1, secção A.5.

Outro aspeto a ter em consideração na elaboração desta tabela diz respeito aos encargos, os quais se encontram detalhados no Anexo 1, secção A.2, figuras 39, 40 e 41. Para esse efeito, foram apurados os seguintes encargos:

- Os encargos gerais de operação correspondem a todas as despesas que ocorrem durante a execução do projeto, com exceção dos custos com materiais e mão de obra. No caso específico deste projeto, este parâmetro abrange, entre outros, os gastos com eletricidade e as despesas de conservação e manutenção de equipamentos. Os cálculos relativos aos custos com eletricidade encontram-se apresentados no Anexo 1, secção A.3.
- Os encargos comerciais, são todas as despesas que tem a ver com a mão de obra e aquisição de equipamentos, neste caso tem-se toda a infraestrutura, comunicações, combustíveis, etc...
- E os encargos administrativos, referem-se a todas as despesas e custos associados à gestão e operação de um projeto, que neste caso tem a ver com a parte da gerencia/administração.

Relativamente aos encargos de fabrico onde foi necessário fazer o cálculo do custo de eletricidade para o funcionamento de cada uma das soluções este está demonstrado no Anexo 1.

4.1. Avaliação da Viabilidade da Solução

Partindo desta informação e dos dados já resultantes das secções anteriormente estudadas, elaborou-se a Conta de Exploração Previsional Anual para cada solução, na tabela 27 apresenta-se a demonstração de resultados para a solução 1 (Fabricante 1).

Tabela 27: Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 1.

Identificador	Descrição	Valor (€)											
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Rendimentos												
	a) Proveitos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
B	Total de Rendimentos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
C	Gastos												
	d) Encargos Gerais de Fabrico		4 741	6 812	8 940	10 940	12 940	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
	e) Encargos Comerciais		134 739	179 842	455 764	455 764	455 764	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
	f) Encargos Administrativos		4 284	4 370	4 457	4 546	4 637	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
D	Total de Gastos		143 764	191 024	469 161	471 250	473 341	61 000	61 000	61 000	61 000	61 000	61 000
E	EBITDA (B-D)		-104 764	-113 024	-248 161	-131 250	-83 341	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000
F	Amortizações do Exercício		3 265	197 909	215 519	350 327	173 327	166 987	157 049	144 426	23 869	20 663	15 675
H	RAI (E-F-G)	0	-108 029	-310 933	-463 680	-481 577	-256 668	162 013	171 951	184 574	305 131	308 338	313 325
I	Matéria Coletável	0	-108 029	-310 933	-463 680	-481 577	-256 668	162 013	171 951	184 574	305 131	308 338	313 325
J	Imposto sobre Lucros (IRC)	0	-22 686	-65 296	-97 373	-101 131	-53 900	34 023	36 110	38 760	64 078	64 751	65 798
K	Resultado Líquido Previsional (H-J)	0	-85 343	-245 637	-366 307	-380 445	-202 768	127 991	135 841	145 813	241 054	243 587	247 527

Como se pode verificar na Tabela 27, o resultado líquido previsional do projeto apresenta uma evolução negativa nos primeiros anos de exploração, com valores particularmente baixos nos anos 2025 a 2027. Este comportamento é justificado pelo facto de, nesses primeiros anos, os proveitos serem ainda reduzidos face ao volume de gastos operacionais e financeiros necessários para o arranque do negócio. A título de exemplo, em 2025 (n=0), o Resultado Líquido Previsional (K) é de -108.029€, agravando-se para -310.933€ em 2026 (n=1), ano no qual as amortizações e encargos financeiros têm maior peso relativo no modelo de exploração.

Contudo, a partir de 2029 (n=4), observa-se uma inversão da tendência, com o projeto a apresentar resultados líquidos positivos e crescentes. Em 2030 (n=5), por exemplo, o Resultado Líquido atinge os 171.951€, valor que continua a crescer até alcançar os 313.325€ em 2036 (n=11). Este crescimento sustentado resulta na estabilização dos encargos e na manutenção de um volume de rendimentos constantes (390.000€/ano), permitindo ao projeto absorver os encargos fixos. Os valores dos proveitos foram calculados com base em indicadores internos da empresa, incluindo os valores atribuídos a diferentes tipos de ocorrências, como:

- O aumento da segurança rodoviárias: a diminuição dos acidentes mortais, graves, leves entre outros;
- A gestão de tráfego mais eficiente: redução do tempo de viagem - ganho de produtividade;
- A melhoria na reação e intervenção das equipas de operação;
- Aumento da satisfação e confiança dos utilizadores: promoção da marca Ascendi;
- Dados para planeamento e otimização da rede.

Procede-se agora à análise da Solução 2 (Fabricante 2), cuja demonstração de resultados se encontra apresentada na Tabela 28.

Tabela 28: Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 2.

Identificador	Descrição	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Rendimentos												
	a) Proveitos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
B	Total de Rendimentos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
C	Gastos												
	d) Encargos Gerais de Fabrico		4 741	6 812	8 940	10 940	12 940	13 689	13 689	13 689	13 689	13 689	13 689
	e) Encargos Comerciais		134 528	179 958	452 810	453 871	454 954	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
	f) Encargos Administrativos		4 284	4 370	4 457	4 546	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637
D	Total de Gastos		143 552	191 140	466 207	469 357	472 530	68 326	68 326	68 326	68 326	68 326	68 326
E	EBITDA (B-D)		-104 552	-113 140	-245 207	-129 357	-82 530	321 674	321 674	321 674	321 674	321 674	321 674
F	Amortizações do Exercício		112 160	124 411	141 062	87 830	84 530	82 970	74 545	63 843	28 475	24 650	18 700
H	RAI (E-F-G)	0	-216 712	-237 550	-386 269	-217 187	-167 060	238 704	247 129	257 831	293 199	297 024	302 974
I	Matéria Coletável	0	-216 712	-237 550	-386 269	-217 187	-167 060	238 704	247 129	257 831	293 199	297 024	302 974
J	Imposto sobre Lucros (IRC)	0	-45 510	-49 886	-81 116	-45 609	-35 083	50 128	51 897	54 144	61 572	62 375	63 625
K	Resultado Líquido Previsional (H-J)	0	-171 203	-187 665	-305 152	-171 578	-131 978	188 576	195 232	203 686	231 627	234 649	239 349

Assim, comparando a tabela 28 referente à solução 2, à tabela 27, referente à solução 1, verifica-se que os rendimentos totais (B) são idênticos a partir do ano n=3 (2028), fixando-se nos 390.000€, o que evidencia que o modelo de exploração assume uma fase de estabilização.

Quanto aos gastos totais (D), observa-se um aumento progressivo nos primeiros anos, com valores particularmente elevado, destacando-se o ano de 2030, com um total de 472 530€. Tal como na previsão anterior, a principal componente de despesa são os Encargos Comerciais, o que se justifica, em grande parte, pela necessidade de aquisição de materiais e recursos essenciais para a implementação do projeto durante a fase inicial.

Relativamente ao Resultado Líquido Previsional (K), em ambas as tabelas (27 e 28) verifica-se um início negativo e uma inversão a partir do ano 2031 (n=6), atingindo na solução 2 um valor positivo de 188 576, valor este superior, no mesmo ano ao da solução 1.

Por último, na tabela 29 está representada a demonstração dos resultados previsionais para a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi), observam-se valores mais ou menos semelhantes às outras duas soluções faladas anteriormente, solução 1 (Fabricante 1) e solução 2 (Fabricante 2).

Tabela 29: Demonstração dos Resultados Previsionais - Solução 3.

Identificador	Descrição	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)
A	Rendimentos											
	a) Proveitos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
B	Total de Rendimentos	13000	39 000	78 000	221 000	340 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000	390 000
C	Gastos											
	d) Encargos Gerais de Fabrico		4 000	6 000	8 000	10 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
	e) Encargos Comerciais	149 037	202 538	523 763	524 764	525 788	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
	f) Encargos Administrativos	4 284	4 370	4 457	4 546	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637	4 637
D	Total de Gastos	157 321	212 908	536 220	539 311	542 426	66 637	66 637	66 637	66 637	66 637	66 637
E	EBITDA (B-D)	-118 321	-134 908	-315 220	-199 310	-152 426	323 363	323 363	323 363	323 363	323 363	323 363
F	Amortizações do Exercício	185 215	199 922	219 690	105 848	100 348	98 334	87 451	73 634	28 475	24 650	18 700
H	RAI (E-F)	0	-303 536	-334 830	-534 910	-305 159	-252 774	225 029	235 912	249 729	294 888	298 713
I	Matéria Coletável	0	-303 536	-334 830	-534 910	-305 159	-252 774	225 029	235 912	249 729	294 888	298 713
J	Imposto sobre Lucros (IRC)	0	-63 743	-70 314	-112 331	-64 083	-53 083	47 256	49 541	52 443	61 926	62 730
K	Resultado Líquido Previsional (H-J)	0	-239 794	-264 516	-422 579	-241 075	-199 691	177 773	186 370	197 286	232 961	235 983

Observando a Tabela 29, verifica-se que, ao nível dos gastos, estes são superiores aos apresentados nas Soluções 1 e 2, o que confirma a tendência já identificada na análise dos custos desenvolvida no subcapítulo 4.1.0.1, custeio dos Produtos.

Por outro lado, tal como já referido nas soluções anteriores, o total de rendimentos mantém-se constante, sendo que apenas a partir do ano n=6 (2031) se consegue observar uma inversão da relação entre rendimentos e gastos, com os rendimentos a atingirem os 390.000€, um valor significativamente superior ao total de gastos nesse mesmo ano, 66.637€.

4.1.5 Valor Residual

No final do projeto, correspondente ao ano de 2036 (n=11), estima-se que o investimento em imobilizado, para o projeto da solução 1 (Fabricante 1), ainda detenha um valor residual global de 286 519€, tabela 30. Este montante resulta da diferença entre o valor de mercado dos ativos tecnológicos afetos ao sistema C-ITS e o seu valor contabilístico, após amortizações. Este valor reflete a parte do investimento inicial que poderá ser recuperada.

4.1. Avaliação da Viabilidade da Solução

Tabela 30: Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 1 .

Identificador	Descrição	Valor (€)	
		2025 (n=0) a 2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Valor de Mercado do Imobilizado		304 412
B	Valor Contabilístico do Imobilizado		219 206
C	Mais/Menos Valia (A-B)		85 206
D	Poupança Fiscal (IRC x C)		17 893
E	Valor Residual do Imobilizado (A-D)		286 519
I	Valor Residual Global (E)		286 519

Na tabela 31, está presente o valor residual para a solução 2 (Fabricante 2), que representa um valor total de 291 838€.

Tabela 31: Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 2 .

Identificador	Descrição	Valor (€)	
		2025 (n=0) a 2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Valor de Mercado do Imobilizado		248 816
B	Valor Contabilístico do Imobilizado		453 682
C	Mais/Menos Valia (A-B)		-204 866
D	Poupança Fiscal (IRC x C)		-43 022
E	Valor Residual do Imobilizado (A-D)		291 838
I	Valor Residual Global (E)		291 838

Por fim, para a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi), na tabela 32, está presente o valor residual, que representa um valor total de 323 675€.

Tabela 32: Estimação do Valor Residual do Ativo Imobilizado e do Ativo Circulante - Solução 3 .

Identificador	Descrição	Valor (€)	
		2025 (n=0) a 2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Valor de Mercado do Imobilizado		278 680
B	Valor Contabilístico do Imobilizado		492 943
C	Mais/Menos Valia (A-B)		-214 263
D	Poupança Fiscal (IRC x C)		-44 995
E	Valor Residual do Imobilizado (A-D)		323 675
I	Valor Residual Global (E)		323 675

4.1.6 Cash-Flows

Partindo dos resultados obtidos nas 4 subsecções anteriores (subsecções 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4), torna-se possível traçar um dos mapas mais importantes, o mapa do cash-flow global anual, disposto na Tabela 33, 34 e 35, para as soluções 1, 2 e 3, respetivamente. Para este cálculo dos cash-flows, foi também determinado o investimento total de cada solução, conforme descrito no Anexo 1, secção A.4.

Entre outras informações, este mapa permite estimar o momento em que a totalidade do investimento é recuperada, servindo também como base para o cálculo e aplicação dos indicadores de avaliação económico-financeira do projeto, tópico a ser explorado no subcapítulo 4.2 (Análise Económico-Financeira).

Tabela 33: Cash Flow - Solução 1 .

Identificador	Descrição	Valor (€)											
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Resultado Líquido Previsional	0	-108 029	-310 933	-463 680	-481 577	-256 668	162 013	171 951	184 574	305 131	308 338	313 325
B	Amortizações do Exercício	3 265	197 909	215 519	350 327	173 327	166 987	157 049	144 426	23 869	20 663	15 675	
E	Cash-Flow de Exploração (A+B)	0	-104 764	-113 024	-248 161	-131 250	-83 341	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000
F	Investimento em Imobilizado	900 007											
H	Valor Residual do Imobilizado												
J	Cash-Flow do Investimento Líquido VR (F+G+H+I)	900 007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	Cash-Flow Global (E-J)	-900 007	-104 764	-113 024	-248 161	-131 250	-83 341	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000
L	Cash-Flow Global Acumulado	-900 007	-1 004 771	-1 117 795	-1 365 956	-1 497 206	-1 580 547	-1 251 547	-922 547	-593 547	-264 547	393 453	722 453

Como é possível constatar, o cash-flow global do projeto para a solução 1 (Fabricante 1), apenas se torna positivo no ano 2035 em n=10, sendo que de 2035 a 2036 sofre um grande aumento, no entanto pode-se constatar que que é crescente em todos os anos, atingindo o valor de 722 453€ no ano 2036.

É importante salientar que, na componente relativa ao “Investimento em Imobilizado”, foi efetuada uma estimativa que contempla a possibilidade de financiamento através de um fundo europeu, o qual poderá cobrir 50% do investimento inicial do projeto. Os detalhes deste investimento encontram-se apresentados no Anexo 1. Esta abordagem é idêntica para as duas soluções seguintes que serão analisadas, assegurando a comparabilidade entre cenários.

Tabela 34: Cash Flow - Solução 2 .

Identificador	Descrição	Valor (€)											
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Resultado Líquido Previsional	0	-171 203	-187 665	-305 152	-171 578	-131 978	188 576	195 232	203 686	231 627	234 649	239 349
B	Amortizações do Exercício	112 160	124 411	141 062	87 830	84 530	82 970	74 545	63 843	28 475	24 650	18 700	
E	Cash-Flow de Exploração (A+B)	0	-59 043	-63 254	-164 090	-83 747	-47 448	271 546	269 777	267 529	260 102	259 299	258 049
F	Investimento em Imobilizado	501 088											
H	Valor Residual do Imobilizado												-291 838
J	Cash-Flow do Investimento Líquido VR (F+G+H+I)	501 088	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-291 838
K	Cash-Flow Global (E-J)	-501 088	-59 043	-63 254	-164 090	-83 747	-47 448	271 546	269 777	267 529	260 102	259 299	549 887
L	Cash-Flow Global Acumulado	-501 088	-560 131	-623 385	-787 475	-871 223	-918 670	-647 124	-377 347	-109 818	150 284	668 882	1 218 769

Relativamente à Solução 2, tabela 34, é possível verificar que o cash-flow global do projeto torna-se positivo no ano de 2034 (n=9), ou seja, um ano antes do que na Solução 1. Algo que também é possível verificar olhando para a tabela é que, o cash-flow apresenta uma trajetória consistentemente crescente, atingindo o montante de 1 218 769€ em 2036 (n=11).

Tabela 35: Cash Flow - Solução 3 .

Identificador	Descrição	Valor (€)											
		2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
A	Resultado Líquido Previsional	0	-239 794	-264 516	-422 579	-241 075	-199 691	177 773	186 370	197 286	232 961	235 983	240 684
B	Amortizações do Exercício	185 215	199 922	219 690	105 848	100 348	98 334	87 451	73 634	28 475	24 650	18 700	
E	Cash-Flow de Exploração (A+B)	0	-54 579	-64 594	-202 889	-135 227	-99 343	276 107	273 821	270 920	261 436	260 633	259 384
F	Investimento em Imobilizado	650 633											
H	Valor Residual do Imobilizado												-323 675
J	Cash-Flow do Investimento Líquido VR (F+G)	650 633	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-323 675
K	Cash-Flow Global (E-J)	-650 633	-54 579	-64 594	-202 889	-135 227	-99 343	276 107	273 821	270 920	261 436	260 633	583 059
L	Cash-Flow Global Acumulado	-650 633	-705 212	-769 806	-972 695	-1 107 922	-1 207 265	-931 158	-657 337	-386 417	-124 981	396 286	979 344

Por fim, no que diz respeito à solução 3, tabela 35, é possível observar que o cash-flow global do projeto torna-se positivo no ano de 2035 (n=10), ou seja, no mesmo ano que a solução 1. Adicionalmente, verifica-se uma evolução crescente ao longo dos anos seguintes, culminando num valor de 979 344€ em 2036 (n=11), conforme evidenciado na tabela correspondente.

4.2 Análise Económico-Financeira

Um aspeto essencial à viabilização (ou inviabilização) de um qualquer projeto tem a ver com a avaliação económico-financeira do respetivo investimento.

Para tal, é necessário, inicialmente, proceder ao cálculo de alguns indicadores, sendo eles: o VAL; TIR e o payback;

4.2.1 Cálculo do VAL

O VAL diz respeito ao valor dos cash-flows anuais transferidos para o momento zero (momento em que se inicia o investimento), à taxa do custo médio ponderado dos capitais que financiam o investimento (taxa WACC).

O VAL pode apresentar um dos seguintes resultados:

- VAL > 0: O projeto é economicamente rentável;
- VAL < 0: O projeto não é economicamente rentável, devendo ser descartado ou reformulado;
- VAL = 0: O projeto é economicamente rentável na medida em que o investimento efetuado é recuperado à taxa exigida pelos seus promotores, contudo, poderá não existir lucro.

A Tabela 36 apresenta o método utilizado para o cálculo do Valor Atual Líquido (VAL) referente à Solução 1. Como se pode observar, o VAL é positivo, atingindo os 115.938€. Para a realização deste cálculo, foram inicialmente determinados os cash-flows atualizados, com base no cash-flow global apresentado anteriormente no subcapítulo 4.1.5 (Tabela 33), e aplicando-se o coeficiente de atualização correspondente.

Para se proceder ao cálculo do Valor Atual Líquido (VAL), recorreu-se à seguinte fórmula:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Permite assim concluir que : o projeto recupera o investimento inicial, e gera um "lucro puro", igual ao valor do VAL, isto é 115 938€.

Tabela 36: Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 1 .

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-900 007	-104 764	-113 024	-248 161	-131 250	-83 341	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000
Taxa de Atualização (i=α)	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Coefficientes de Atualização	1	0,96154	0,92456	0,88900	0,85480	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193
Cash-Flows Atualizados	-900 007	-100 734	-104 497	-220 614	-112 193	-68 500	270 414	270 414	270 414	270 414	270 414	270 414
Valor Atualizado Líquido (VAL)	115 938											

A Tabela 37 apresenta o método utilizado para o cálculo do Valor Atual Líquido (VAL) referente à Solução 2 (Fabricante 2). Como se pode observar, o VAL é positivo, atingindo os 432.048€.

Isto permite concluir que o projeto não só recupera o investimento inicial, como também gera um "lucro puro" correspondente ao valor do VAL, ou seja, 432.048€. Comparando com a Solução 1, verifica-se que o VAL da Solução 2 é superior, o que indica uma maior rentabilidade financeira.

Tabela 37: Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 2 .

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-501 088	-59 043	-63 254	-164 090	-83 747	-47 448	271 546	269 777	267 529	260 102	259 299	259 299
Taxa de Atualização (i=α)	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Coefficientes de Atualização	1	0,96154	0,92456	0,88900	0,85480	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193
Cash-Flows Atualizados	-501 088	-56 772	-58 482	-145 876	-71 588	-38 999	223 191	221 737	219 890	213 785	213 125	213 125
Valor Atualizado Líquido (VAL)	432 048											

Relativamente ao VAL calculado para a solução 3, a tabela 38 apresenta o método utilizado para o cálculo do VAL, referente à Solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi). Como se pode observar, o VAL é positivo, atingindo os 177.555€.

Isto permite concluir que, com esta solução mais uma vez o projeto não só recupera o investimento inicial, como também gera um “lucro puro” correspondente ao valor do VAL, ou seja, 177.555€.

Comparando com a solução 1, verifica-se que o VAL da solução 3 é superior, refletindo uma maior rentabilidade financeira. No entanto, a Solução 2 continua a apresentar o VAL mais elevado entre as três alternativas, o que demonstra ser a opção com maior viabilidade económica no conjunto das soluções analisadas.

Tabela 38: Cálculo do VAL com o Cash-Flow Global - Solução 3 .

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-650 633	-54 579	-64 594	-202 889	-135 227	-99 343	276 107	273 821	270 920	261 436	260 633	260 633
Taxa de Atualização (i=α)	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Coefficientes de Atualização	1	0,96154	0,92456	0,88900	0,85480	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193	0,82193
Cash-Flows Atualizados	-650 633	-52 479	-59 721	-180 368	-115 593	-81 653	226 940	225 061	222 676	214 882	214 221	214 221
Valor Atualizado Líquido (VAL)							177 555					

Relativamente aos outros dois indicadores também calculados, o TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) e o Payback, o indicador que permite determinar o momento em que o investimento realizado no projeto é recuperado.

As tabelas 39, 40 e 41, apresentam o método de cálculo levado a cabo para a obtenção do TIR e do Payback para as soluções 1, 2 e 3, respetivamente.

Como é possível verificar, a tabela 39, representa o valor para os dois indicadores (TIR e Payback), para a solução 1 (Fabricante 1), assim o valor para o TIR é de 3,14%, este valor representa que o projeto irá gerar um retorno anual de aproximadamente 3,14% sobre o capital investido, e o payback de 11,39 representa o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, este valor sugere um período de retorno relativamente longo, o que pode ser um fator de risco ou de menor atratividade em comparação com outras soluções.

4.2.2 Cálculo do TIR

Tabela 39: Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 1 .

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-900 007	-104 764	-113 024	-248 161	-131 250	-83 341	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000	329 000
Taxa de Atualização (i=TIR)							3,13%					
Coefficientes de Atualização	1	0,96969	0,94029	0,91179	0,88415	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734
Cash-Flows Atualizados	-900 007	-101 588	-106 275	-226 270	-116 044	-71 452	282 066	282 066	282 066	282 066	282 066	282 066
Cash-Flows Acumulados							-900 007					
Valor Atualizado Líquido (VAL)							170 761					
Payback												11,39460749

Como é possível verificar, a Tabela 40 apresenta os valores dos dois indicadores, TIR e Payback, para a Solução 2 (Fabricante 2). O valor da TIR é de 8,01%, sendo significativamente superior ao da Solução 1 (Fabricante 1), tabela 39, o que torna esta alternativa consideravelmente mais atrativa em termos de rentabilidade.

Para se proceder ao cálculo da Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), recorre-se à seguinte fórmula:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4.1)$$

Além disso, o Payback de 9,84 anos representa um período de retorno mais curto, o que reforça a vantagem da Solução 2 face à Solução 1.

4.2. Análise Económico-Financeira

O payback é calculado usando os valores dos Cash-Flows acumulados:

$$\text{Payback} = t + \frac{\text{Valor em falta no ano } t}{\text{Fluxo de Caixa no ano } t + 1}$$

Tabela 40: Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 2 .

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-501 088	-59 043	-63 254	-164 090	-83 747	-47 448	271 546	269 777	267 529	260 102	259 299	259 299
Taxa de Atualização (=TIR)	8,01%											
Coefficientes de Atualização	1	0,96969	0,94029	0,91179	0,88415	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734
Cash-Flows Atualizados	-501 088	-57 253	-59 477	-149 615	-74 045	-40 679	232 808	231 291	229 365	222 997	222 308	222 308
Cash-Flows Acumulados	-501 088											
Valor Atualizado Líquido (VAL)	478 921											
Payback	9,845690479											

Como é possível verificar, a tabela 41 apresenta os valores dos dois indicadores, TIR e Payback, para a Solução 3 (Fabricante 1 com Ascendi). O valor da TIR é de 4,17%, sendo inferior ao da Solução 2 (Fabricante 2), mas superior ao da Solução 1 (Fabricante 1).

Por sua vez, o Payback é de 11,01 anos, valor superior ao da Solução 2, mas inferior ao da Solução 1, o que indica um tempo de retorno intermédio entre as três alternativas analisadas.

Tabela 41: Cálculo do TIR e PayBack com o Cash-Flow Global - Solução 3.

Descrição	Valor (€)											
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
Cash-Flow Global	-650 633	-54 579	-64 594	-202 889	-135 227	-99 343	276 107	273 821	270 920	261 436	260 633	260 633
Taxa de Atualização (=TIR)	4,17%											
Coefficientes de Atualização	1	0,96969	0,94029	0,91179	0,88415	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734	0,85734
Cash-Flows Atualizados	-650 633	-52 924	-60 737	-184 991	-119 560	-85 171	236 718	234 759	232 271	224 141	223 452	223 452
Cash-Flows Acumulados	-650 633											
Valor Atualizado Líquido (VAL)	220 777											
Payback	11,0119726											

Assim, após a análise dos três indicadores, torna-se possível proceder à escolha da solução mais vantajosa, a qual será apresentada no capítulo seguinte (4.3).

5 Análise Final da Solução

Neste capítulo, será realizada a análise comparativa final com o objetivo de identificar a solução mais adequada para o projeto em estudo. Para tal, serão tidos em consideração dois vetores fundamentais de avaliação: o técnico, já explorado no Capítulo 3, e o financeiro, desenvolvido no Capítulo 4.

A escolha da melhor solução não se baseia apenas num único critério, mas sim numa abordagem integrada que combina desempenho técnico, viabilidade económica e retorno do investimento. Esta análise multidimensional permite tomar uma decisão fundamentada e alinhada com os objetivos estratégicos do projeto.

Será, assim, apresentada uma comparação entre as diferentes soluções analisadas, destacando os seus pontos fortes e eventuais limitações, com o propósito de justificar, de forma objetiva, a solução recomendada. A decisão final será sustentada nos resultados obtidos nas análises anteriores, permitindo identificar a alternativa que melhor equilibra custo, eficiência e potencial de implementação.

Assim, no subcapítulo 5.1, é abordada uma perspetiva global da componente técnica, onde se avaliam os principais aspetos relacionados com a implementação da solução.

Já no subcapítulo 5.2, a análise incide sobre a componente financeira, sendo apresentada uma visão consolidada dos indicadores económico-financeiros mais relevantes, tais como o VAL, a TIR e o Payback.

Por fim, no subcapítulo 5.3, com base nos resultados das análises técnicas e financeiras, procede-se à escolha fundamentada da solução final. Esta escolha será justificada de forma objetiva, refletindo o equilíbrio entre o desempenho técnico e o retorno económico.

5.1 Perspetiva Global - Técnica

Primeiramente fez-se uma análise global aos critérios técnicos que foram abordados anteriormente, assim. Na figura 32 apresenta-se a análise da componente técnica com base nos resultados obtidos na matriz multicritério desenvolvida no capítulo 3.4. Esta análise contempla os três critérios de avaliação falados anteriormente: Técnico, Material e Desenvolvimento (Tecnológico/Sustentabilidade).

Os valores atribuídos a cada solução resultam da ponderação dos subcritérios definidos, considerando os pesos previamente estabelecidos. Esta abordagem permite uma avaliação mais objetiva e comparativa entre as três alternativas em estudo.

Como se pode observar no gráfico, a solução 3 (Fabricante 1 w/ Ascendi) destaca-se claramente nas três dimensões analisadas, apresenta a pontuação mais elevada no critério técnico, o que reflete uma forte capacidade tecnológica e, obtém o melhor desempenho no critério de desenvolvimento, revelando maior potencial de inovação e sustentabilidade.

Em contraste, a solução 2 (Fabricante 2) revela os valores mais baixos em todas as dimensões, enquanto que a solução 1 (Fabricante 1) apresenta um desempenho intermédio, com destaque na componente técnica, mas sem superar a Solução 3.

Assim, com base na análise da figura 32, conclui-se que a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi) é a opção tecnicamente mais completa e equilibrada, demonstrando-se como a alternativa mais vantajosa do ponto de vista "técnico".

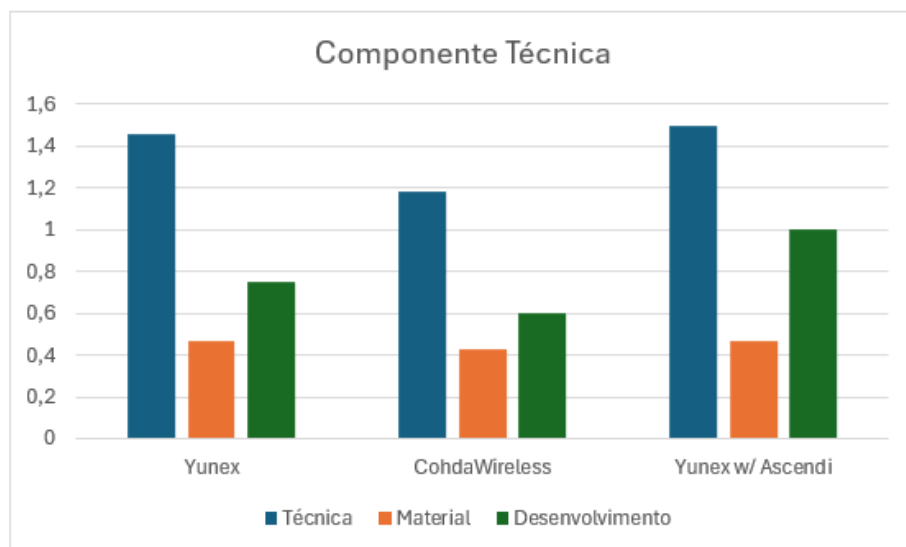


Figura 32: Componente Técnica.

5.2 Perspetiva Global - Financeira

No gráfico seguinte, figura 33, estão representados os valores do VAL para as três soluções analisadas. Como é possível verificar, todas as soluções apresentam um VAL superior a zero, o que indica que, em cada caso, o projeto é rentável. No entanto, observa-se que a Solução 2 (Fabricante 2), apresenta o valor de VAL mais elevado, destacando-se como a alternativa mais vantajosa do ponto de vista financeiro.

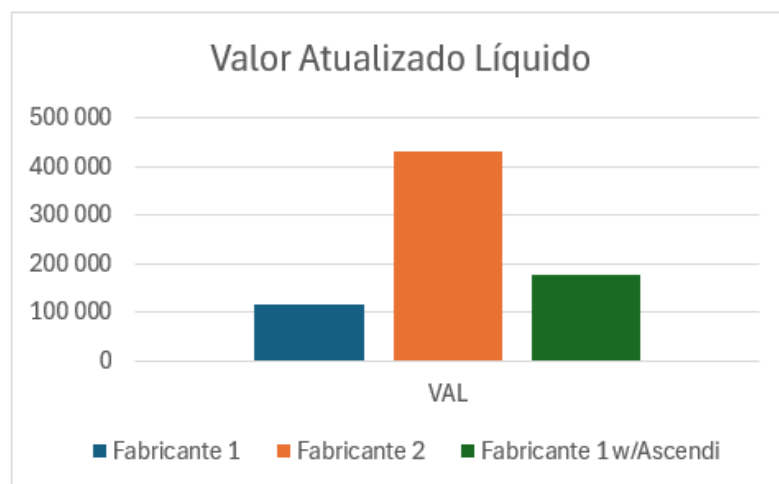


Figura 33: VAL.

Na figura 34, está representado um gráfico onde se encontram representados os valores da TIR para as três soluções analisadas. Verifica-se que todas as alternativas apresentam uma TIR superior a zero, o que confirma a rentabilidade dos projetos em cada cenário. No entanto, destaca-se a Solução 2 (Fabricante 2), por apresentar a TIR mais elevada, evidenciando-se como a opção financeiramente mais atrativa entre as três analisadas.

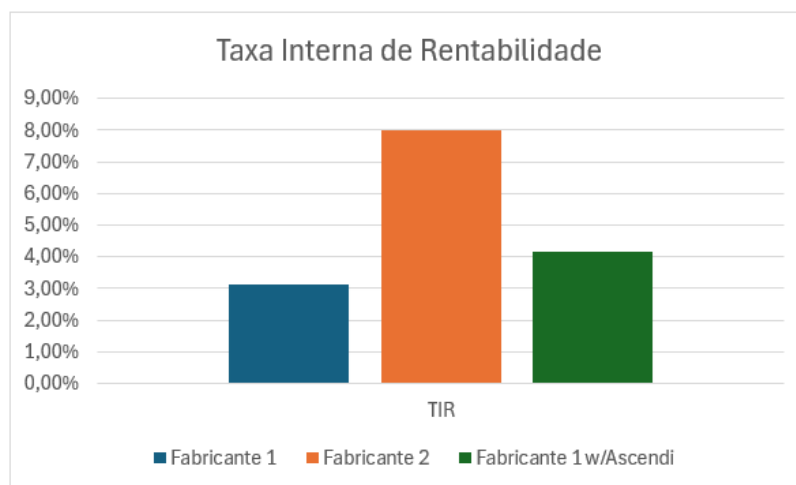


Figura 34: TIR.

Relativamente ao indicador Payback, representado no gráfico da figura 35, é possível observar que, à semelhança dos outros dois indicadores, a Solução 2 (Fabricante 2) apresenta o valor mais reduzido, o que a torna a opção mais favorável neste critério, uma vez que um menor Payback corresponde a um retorno mais rápido do investimento. Em seguida, surge a Solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi), com um valor intermédio, e por fim, a Solução 1 (Fabricante 1), que apresenta o Payback mais elevado, correspondendo ao retorno mais demorado.

Assim, mais uma vez, confirma-se que a Solução 2 (Fabricante 2) é a mais rentável, seguida da Solução 3 e, por último, da Solução 1.

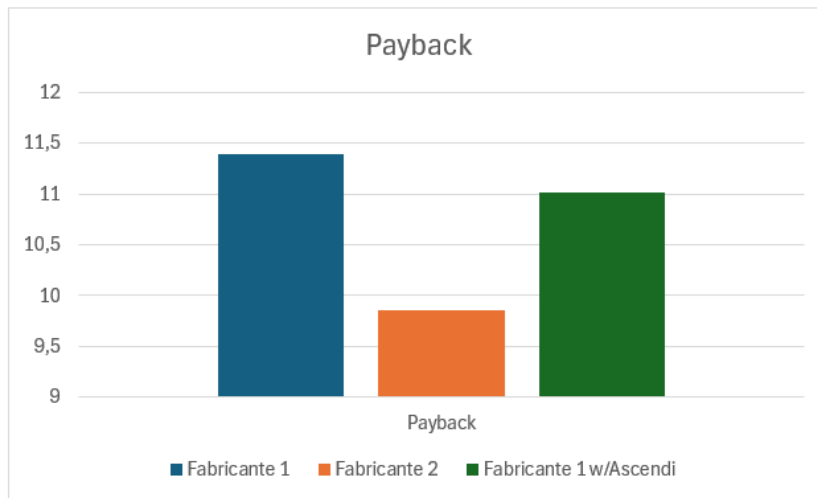


Figura 35: Payback.

5.3 Escolha da melhor solução

Após a realização de toda a análise, tanto a nível técnico como financeiro, tornou-se necessário proceder à escolha da solução mais adequada para implementação no projeto.

Com base nos critérios financeiros, a solução 2 (Fabricante 2) destacou-se como a mais vantajosa, apresentando os melhores indicadores económico-financeiros e um retorno mais rápido do investimento. Por outro lado, do ponto de vista técnico, a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi) revelou-se claramente superior, demonstrando maior robustez e potencial de desenvolvimento futuro.

A decisão final deve, naturalmente, alinhar-se com os objetivos estratégicos da empresa e com a realidade operacional da Ascendi. Se a vertente financeira for considerada o fator determinante, a solução 2 seria a escolha mais prudente. No entanto, uma análise mais aprofundada permite compreender que a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi), embora envolva um investimento inicial mais elevado e indicadores financeiros menos favoráveis, oferece um valor acrescentado significativo ao nível técnico.

Além disso, esta opção representa uma oportunidade única de inovação, possibilitando à Ascendi posicionar-se num nível superior tecnológica ao nível nacional, ao desenvolver e implementar uma solução que ainda não existe no mercado.

Deste modo, ponderando o equilíbrio entre inovação, potencial de longo prazo e capacidade técnica, conclui-se que a solução 3 (Fabricante 1 w/Ascendi) representa a escolha mais estratégica e alinhada com uma visão de futuro, sendo, por isso, recomendada como a solução a ser implementada.

6 Conclusão

A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar a viabilidade de implementar dos sistemas C-ITS nas infraestruturas rodoviárias geridas pela Ascendi, integrando tecnologias V2X com o objetivo principal de promover melhorias significativas na segurança, eficiência e sustentabilidade.

Através de uma abordagem estruturada, foram exploradas diferentes dimensões do problema, desde a revisão de uma componente teórica e das diretivas europeias, até à conceção de soluções técnicas e à análise económica e financeira da sua aplicação.

Ao longo do estudo, foram desenvolvidas três soluções distintas para a implementação do sistema C-ITS. Duas delas basearam-se em tecnologias e arquiteturas existentes, enquanto que a terceira representou uma proposta inovadora, concebida especificamente para o contexto português, integrando uma arquitetura técnica autónoma alimentada por energia solar. Esta solução demonstrou não apenas viabilidade técnica, mas também forte alinhamento com os princípios da sustentabilidade e eficiência energética.

A análise comparativa entre as soluções, com base em critérios técnicos (desempenho, facilidade de manutenção, etc...) e financeiros (investimento inicial, custos operacionais, retorno esperado), revelou que a solução 3, desenvolvida em colaboração do Fabricante 1 e adaptada ao contexto da Ascendi, destaca-se como a mais equilibrada e vantajosa. Embora implique um maior custo inicial, apresenta uma redução significativa nos encargos operacionais ao longo do tempo, bem como uma maior autonomia e flexibilidade na operação.

Do ponto de vista económico-financeiro, os resultados obtidos nas análises do cash flow, VAL e TIR evidenciam a viabilidade da implementação da solução proposta. A estimativa de proveitos constantes, baseada em indicadores como o impacto da redução da sinistralidade (acidentes mortais, graves e leves), redução do consumo de combustível e promoção da marca Ascendi, permite cobrir os encargos fixos e contribuir positivamente para o desenvolvimento do projeto.

Conclui-se, assim, que a implementação de sistemas C-ITS no contexto da Ascendi representa uma oportunidade estratégica significativa, permitindo à empresa alinhar-se com as diretivas europeias e com as melhores práticas ao nível europeu, ao mesmo tempo que reforça o seu posicionamento como operadora rodoviária de referência, inovadora e comprometida com a segurança. O principal objetivo do projeto, conforme evidenciado ao longo dos capítulos, é promover uma maior segurança nas autoestradas da Ascendi e contribuir para uma maior eficiência na experiência dos seus utilizadores, considerando sempre os custos financeiros envolvidos e as preocupações com a sustentabilidade, nomeadamente através da redução da pegada carbónica.

Referências

- [1] M. Lu, O. Turetken, O. E. Adali, J. Castells, R. Blokpoel e P. Grefen, «C-ITS (cooperative intelligent transport systems) deployment in Europe: challenges and key findings,» em *25th ITS World Congress, Copenhagen, Denmark, 2018*, pp. 17–21. [Citado nas páginas 1, 2]
- [2] W. H. O. (WHO), *Global status report on road safety 2023*, 2022. URL: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>. [Citado na página 1]
- [3] D. Fayaz, «Intelligent Transport System-A Review,» *Electronic resource*, 2018. [Citado nas páginas 5, 7]
- [4] F. Cunha, G. Maia, C. Celes et al., «Sistemas de transporte inteligentes: Conceitos, aplicações desafios,» *Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'17)*, pp. 59–103, 2017. [Citado na página 5]
- [5] H. MARTENDAL, «Sistemas de transportes inteligentes e sua relação com a mobilidade urbana sustentável: proposta de framework para cidades brasileiras. 2023. 135 f,» tese de doutoramento, Dissertação (Mestrado)—Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de ..., 2023. [Citado na página 6]
- [6] E. Vieira, J. Almeida, J. Ferreira, T. Dias, A. Vieira Silva e L. Moura, «A roadside and cloud-based vehicular communications framework for the provision of C-ITS services,» *Information*, vol. 14, n.º 3, p. 153, 2023. [Citado na página 6]
- [7] H. M. de Sá Couto, «Estudo das Normas para Sistemas de Transporte Inteligente Cooperativo (C-ITS),» tese de mestrado, Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2016. [Citado nas páginas 6, 7]
- [8] J. N. de Barros Vinhas, «Sistemas Inteligentes de Transportes,» tese de mestrado, Universidade de Coimbra (Portugal), 2012. [Citado nas páginas 6–8]
- [9] B. F. B. Vieira, «A simulation approach for increased safety in advanced C-ITS scenarios,» tese de mestrado, Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2019. [Citado na página 7]
- [10] C.-I. Platform, «Final Report Phase II,» C-ITS Platform, rel. téc., 2017. [Citado na página 7]
- [11] Ö. Taliş e N. Tektaş, «A brief survey on cooperative intelligent transportation systems and applications,» *International Journal of Automotive Science and Technology*, vol. 7, n.º 3, pp. 259–268, 2023. [Citado nas páginas 7, 8]
- [12] J. P. Ribeiro e L. T. Moura, «C-ROADS PORTUGAL—IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES COOPERATIVOS INTELIGENTES EM PORTUGAL,» [Citado nas páginas 8, 9]
- [13] C-Roads, «C-ITS Message Profiles,» C-Roads, rel. téc., 2023. [Citado nas páginas 8, 9, 11]
- [14] M. D. L. T. É. E. D. L. C. D. Territoires, *Technology*. URL: <https://c-its.developpement-durable.gouv.fr/en/technology/>. [Citado nas páginas 9, 13]
- [15] M. Elhenawy, A. Bond e A. Rakotonirainy, «C-ITS Safety Evaluation Methodology based on Cooperative Awareness Messages,» em *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018, pp. 2471–2477. DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569417. [Citado na página 9]

- [16] ETSI - European Telecommunications Standards Institute, *Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service*, ETSI EN 302 637-2 V1.3.1, ETSI, Sophia Antipolis, France, set. de 2014. [Citado na página 9]
- [17] ETSI - European Telecommunications Standards Institute, *Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service*, ETSI EN 302 637-2 V1.4.1, ETSI, Sophia Antipolis, France, abr. de 2019. [Citado na página 10]
- [18] ETSI - European Telecommunications Standards Institute, *Technical Specification: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service*, ETSI TS 102 637-2 V1.2.1, ETSI, Sophia Antipolis, France, mar. de 2011. [Citado na página 10]
- [19] ETSI - European Telecommunications Standards Institute, *Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access Layer Specification for Intelligent Transport Systems Operating in the 5 GHz Frequency Band*, ETSI EN 302 663 V1.3.1, ETSI, Sophia Antipolis, France, out. de 2019. [Citado na página 10]
- [20] P. E. e Conselho da União Europeia, *Diretiva (UE) 2023/2661 do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de novembro de 2023*, Publicada no Jornal Oficial da União Europeia, 2023. [Citado nas páginas 10, 33]
- [21] P. E. e Conselho da União Europeia, *DIRETIVA 2010/40/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 7 de Julho de 2010*, Publicada no Jornal Oficial da União Europeia, 2023. [Citado na página 10]
- [22] M. Kowalewski, B. Kowalczyk, B. Chojnacki e H. Parapura, «Interoperability of Intelligent Transport Systems,» *Archives of Transport System Telematics*, vol. 5, pp. 37–40, 2012. [Citado na página 11]
- [23] *DATEX II Documentation Portal*, DATEX II. URL: <https://datex2.eu/specifications/>. [Citado nas páginas 12, 18]
- [24] M. la transitionécologiqueet de la cohésiondes territoires, *Communication technologies and architecture*. URL: <https://c-its.developpement-durable.gouv.fr/en/technology/>. [Citado nas páginas 12–14, 18, 19]
- [25] V. Mannoni, V. Berg, S. Sesia e E. Perraud, «A comparison of the V2X communication systems: ITS-G5 and C-V2X,» em *2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*, IEEE, 2019, pp. 1–5. [Citado nas páginas 12, 14]
- [26] 3gpp, *Release 14*. URL: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-14>. [Citado na página 13]
- [27] K. Sehla, T. M. T. Nguyen, G. Pujolle e P. B. Velloso, «Resource allocation modes in C-V2X: from LTE-V2X to 5G-V2X,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, n.º 11, pp. 8291–8314, 2022. [Citado na página 14]
- [28] V. Maglogiannis, D. Naudts, S. Hadiwardoyo, D. Van Den Akker, J. Marquez-Barja e I. Mörnerman, «Experimental V2X evaluation for C-V2X and ITS-G5 technologies in a real-life highway environment,» *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 19, n.º 2, pp. 1521–1538, 2021. [Citado na página 14]
- [29] C. A. Global, *Vodafone and Continental: 5G Cellular-V2X for cars*, Continental. URL: https://www.youtube.com/watch?v=780Ewd_7OYY. [Citado na página 15]
- [30] M. la transitionécologiqueet de la cohésiondes territoires, *Ecosystème et composants*. URL: <https://c-its.developpement-durable.gouv.fr/la-technologie/>. [Citado na página 15]
- [31] A. Guerna, S. Bitam e C. T. Calafate, «Roadside unit deployment in internet of vehicles systems: A survey,» *Sensors*, vol. 22, n.º 9, p. 3190, 2022. [Citado na página 16]

- [32] C.-R. Platform, *C-ITS Service and Use Case Definitions Version 2.1.0*, 2018. [Citado na página 16]
- [33] C-Roads, *C-ITS Deployment Bordeaux Metropolis*. [Citado nas páginas 16, 17]
- [34] C-Roads, *C-Roads Annual Pilot Overview Report*, 2022. URL: https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/Annual_pilot_overview_report_2022.pdf. [Citado nas páginas 17–19]
- [35] J. A. Carneiro, «Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos,» 2009. [Citado nas páginas 33, 34]
- [36] Portal das Energias Renováveis. «Portal das Energias Renováveis.» (2024), URL: <https://www.energiasrenovaveis.com/> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 34]
- [37] C. M. Bandeira et al., «Estimativa de radiação solar global por um painel fotovoltaico de silício policristalino,» 2019. [Citado na página 36]
- [38] INNPO. «Painel Solar 12V 50W - Painéis Solares.» (2024), URL: <https://innpo.pt/painel-solar/painel-solar-12v-50w-paneeles-solares.html> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 37]
- [39] WCC Solar. «Regulador Solar 10A PWM 12V/24V.» (2024), URL: <https://www.wccsolar.net/pt/regulador-solar-10a-pwm-12v-24v/> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 37]
- [40] Damia Solar. «Bateria de lítio 100Ah LiFePO4 Ecosolar Compact.» (2024), URL: <https://www.damiasolar.com/pt/bateria-de-litio-100ah-LiFePO4-ecosolar-compact.html> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 37]
- [41] Alibaba. «VT-DD24481 Plastic Housing DC to DC Converter 12V to 48V.» (2024), URL: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/VT-DD24481-plastic-housing-dc-to-1600150979984.html?spm=a2700.7724857.0.0.339745bdpfmJrE> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 38]
- [42] TP-Link. «TL-POE4818G | Conversor PoE | TP-Link Portugal.» (2024), URL: <https://www.tp-link.com/pt/business-networking/accessory/tl-poe4818g/> (acedido em 11/06/2025). [Citado na página 38]

A.3. Custo Anual com Energia Elétrica

Solução 3												
Encargos Gerais de Fabrico												
Parâmetros	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)
Electricidade (componente variável)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Electricidade (componente fixa)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conservação e Manutenção dos Equipamentos	0	4000	6000	8000	10000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
TOTAL (€)	0	4000	6000	8000	10000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Encargos Comerciais												
Parâmetros	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)
Comunicações (ex: Cartões LTE, etc.)	240	480	480	480	480	480	480	0	0	0	0	0
Armários de Via	800	1800	2800	8800	8800	8800	8800	0	0	0	0	0
Infraestrutura Metálica (Mastro, Fundação, Suporte para painel etc.)	15600	35100	54600	171600	171600	171600	171600	0	0	0	0	0
Infraestrutura Civil (Barracos na berm, etc.)	2400	5400	7800	25400	25400	25400	25400	0	0	0	0	0
Equipamento Básico (RSU's)	20148,72	44337,26	69088,39	217292,5953	217232,859	217174,4369	217174,4369	0	0	0	0	0
Combustíveis	1200	1920	1750	2100	2100	2100	2100	0	0	0	0	0
Estilhas	0	0	0	200	30	30	30	0	0	0	0	0
Trabalhos de Instalação	4000	9000	14000	44000	44000	44000	44000	0	0	0	0	0
Programas de Software	50000	51000	52020	53060	54122	55204	56300	50000	50000	50000	50000	50000
TOTAL (€)	94389	149037	202538	623763	624764	625788	626812	50000	50000	50000	50000	50000
Encargos Administrativos												
Parâmetros	2025 (n=1)	2026 (n=2)	2027 (n=3)	2028 (n=4)	2029 (n=5)	2030 (n=6)	2031 (n=6)	2032 (n=7)	2033 (n=8)	2034 (n=9)	2035 (n=10)	2036 (n=11)
	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)	Valor (€)
Gestão/Administração	4200	4364	4369,68	4457,0736	4546,215072	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373
TOTAL (€)	4200	4364	4369,68	4457,0736	4546,215072	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373	4637,139373

Figura 41: Custo Anual de Equipamentos.

A.3 Custo Anual com Energia Elétrica

A potência de operação é a mesma para todos os RSU's (W)	0,012
Nº de horas diárias de funcionamento das RSU's	24
Dias de funcionamento por mês	30
Meses de Operação	12
A potência instalada é (kVA):	
O consumo dos equipamentos (RSU's) representa 0,002043% do consumo energético total da rede Ascendi (20 583 MWh)	0,002043%

Figura 42: Pressupostos do Custo de Eletricidade.

Componente Fixa (Potência Instalada) (€)	676,992
Componente Variável (€)	118,66176
Custo Total Anual (€)	795,65376

Figura 43: Custo Energético Anual para a Capacidade Máxima de Funcionamento.

Ano	% Funcionamento face ao Total	Custo Energético Anual (€)	Custo Total (€)
2025	2,50%	19,891344	19,891344
2026	8,00%	63,6523008	63,6523008
2027	17,00%	135,2611392	135,2611392
2028	33,00%	262,5657408	262,5657408
2029	33,00%	262,5657408	262,5657408
2030	33,00%	262,5657408	262,5657408

Figura 44: Custo Energético Total Anual.

RSU's		
Ano	Horas Diárias de Funcionamento	Custo Total Energético Anual (€)
2025	24	477,392256
2026	24	1527,655219
2027	24	3246,267341
2028	24	6301,577779
2029	24	6301,577779
2030	24	6301,577779

Figura 45: Custo Energético Anual por Produto.

A.4 Investimento

Solução 1						
DESCRIÇÃO DE INVESTIMENTOS	Valor (€)					
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)
1. Equipamentos Informáticos e Software						
Equipamentos POC	18 400					
Equipamentos Fase1	40 489					
Equipamentos Fase2	63 112					
Equipamentos Fase3	595 663					
Software	550 000					
2. Diversos						
manutenção	12 000					
Trabalhos de instalação	159 000					
Mão de Obra Externa (Poc)	4 000					
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9 000					
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14 000					
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132 000					
Infraestrutura Metálica (POC)	11 400					
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	25 650					
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	39 900					
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	125 400					
TOTAL (€)	1 800 014					

Figura 46: Investimento Total - Solução 1(Fabricante 1).

Solução 2						
DESCRIÇÃO DE INVESTIMENTOS	Valor (€)					
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)
1. Equipamentos Informáticos e Software						
Equipamentos POC	15 600					
Equipamentos Fase1	34 328					
Equipamentos Fase2	53 508					
Equipamentos Fase3	168 340					
Software	330 000					
2. Diversos						
Mão de Obra Externa (Poc)	4 000					
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9 000					
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14 000					
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132 000					
Infraestrutura Metálica (POC)	13 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	30 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	47 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	149 600					
TOTAL (€)	1 002 175					

Figura 47: Investimento Total - Solução 2(Fabricante 2).

A.5. Estimativa do Valor de Feridos

Solução 3						
DESCRIÇÃO DE INVESTIMENTOS	Valor (€)					
	2025 (n=0)	2026 (n=1)	2027 (n=2)	2028 (n=3)	2029 (n=4)	2030 (n=5)
1. Equipamentos Informáticos e Software						
Equipamentos POC	20 149					
Equipamentos Fase1	44 337					
Equipamentos Fase2	69 088					
Equipamentos Fase3	217 293					
Software	550 000					
2. Diversos						
Mão de Obra Externa (Poc)	4 000					
Mão de Obra Externa (Fase 1)	9 000					
Mão de Obra Externa (Fase 2)	14 000					
Mão de Obra Externa (Fase 3)	132 000					
Infraestrutura Metálica (POC)	13 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 1)	30 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 2)	47 600					
Infraestrutura Metálica (Fase 3)	149 600					
TOTAL (€)	1 301 267					

Figura 48: Investimento Total - Solução 3(Fabricante 1 w/Ascendi).

A.5 Estimativa do Valor de Feridos

Concessão	Autoestrada	Soma de Nº de Acidentes	Soma de Nº Mortos	Soma de Nº Feridos Graves	Soma de Nº Feridos Ligeiros
AEN	A11	112	0	7	37
	A11 - Custos do Acidente		0	3715796	1848261
	A42	8	0	1	2
	A42 - Custos do Acidente		0	530828	99906
	A7	119	1	2	42
	A7 - Custos do Acidente		3 055 358,00 €	1 061 656,00 €	2 098 026,00 €
API	A13	41	1	1	14
	A13 - Custos do Acidente		3 055 358,00 €	530 828,00 €	699 342,00 €
LBLA	A25	176	2	6	82
	A25 - Custos do Acidente		6 110 716,00 €	3 184 968,00 €	4 096 146,00 €
LCP	A29	109	0	6	54
	A29 - Custos do Acidente		0,00 €	3 184 968,00 €	2 697 462,00 €
	A44	34	1	2	36
	A44 - Custos do Acidente		3 055 358,00 €	1 061 656,00 €	1 798 308,00 €
	A25	96	2	8	46
	A25 - Custos do Acidente		6 110 716,00 €	4 246 624,00 €	2 297 838,00 €
GP	A17	23	0	0	11
	A17 - Custos do Acidente		0,00 €	0,00 €	549 483,00 €
	A42	34	0	0	11
	A42 - Custos do Acidente		0,00 €	0,00 €	549 483,00 €
	A41	68	0	2	43
	A41 - Custos do Acidente		0,00 €	1 061 656,00 €	2 147 979,00 €
GL	A4	61	0	0	21
	A4 - Custos do Acidente		0,00 €	0,00 €	1 049 013,00 €
	A16	86	1	0	33
	A16 - Custos do Acidente		3 055 358,00 €	0,00 €	1 648 449,00 €

Figura 49: Estimativa do Valor de Feridos.

A.6 Índice de Sinistralidade

Subbanço	Pk Inicial	Pk Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veic x Km)	Total de Acidentes (n°)	Nº Acidentes of vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	Nº Vítimas	Nº Mortos	Nº Feridos Graves	Nº Feridos Ligeiros	Taxa de Sinistralidade
11-1 Apúlia (A28) - EN205	0	3981	366	5123239	0,2049	9	4	0	4	8	0	0	8	43,918
11-2 EN205 - Barcelos	3981	12621	366	4814511	0,4140	2	2	0	2	2	0	0	2	4,830
11-3 Barcelos - Braga Oeste (A3/A11)	12621	22628	366	6204506	0,6205	12	3	0	3	5	0	0	5	19,341
11-4 Braga Oeste (A3/A11) - Braga (Ferreiros)	22628	27395	366	6070415	0,2914	8	2	0	2	3	0	0	3	27,456
11-5 Braga (Ferreiros) - Celeirós	27395	27805	366	13342052	0,3989	3	1	0	1	2	0	0	2	9,776
11-6 Celeirós - Guimarães Oeste	30342	43109	366	9979579	0,8534	13	6	0	6	10	0	4	6	14,551
11-8 Guimarães Oeste - Selho	43109	44816	366	9419048	0,1695	3	2	0	2	3	0	0	3	17,695
11-11 Calvos - Vizela	53986	61356	366	4319566	0,3196	4	1	0	1	1	0	0	1	12,514
11-12 Vizela - Felgueiras	61356	64801	366	4532161	0,1541	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
11-13 Felgueiras - Lousada	64801	70078	366	5749293	0,3047	5	1	0	1	1	0	0	1	16,409
11-14 Lousada - EN15	70078	76101	366	3792461	0,2275	6	3	0	3	8	0	0	8	26,368
11-15 EN15 - EN211	76101	78536	366	3991986	0,0958	1	1	0	1	2	0	0	2	10,438
11-16 EN211 - Casteleões (A4/A11)	78536	78950	366	6841213	0,0278	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
A11				81280680	4,8382	66	26	0	26	45	0	4	41	16,376
7-1 Póvoa de Varzim (A28) - EN206	961	2919	366	3967262	0,1151	3	2	0	2	4	0	0	4	26,075
7-2 EN206 - Famalicão	2919	20214	366	4104674	0,7142	10	6	0	6	9	0	0	9	14,001
7-4 Famalicão - A3/A7	20214	21521	366	8995265	0,1349	3	2	0	2	3	0	0	3	22,234
7-5 A3/A7 - Seide	21521	25804	366	10647752	0,4366	12	5	0	5	5	0	0	5	27,488
7-6 Seide - Ave	25804	33313	366	9252909	0,6940	9	3	0	3	4	0	0	4	12,969
7-7 Ave - Selho	33313	37625	366	8945485	0,3847	9	5	1	4	9	1	1	7	23,395
7-8 Selho - Guimarães Sul	37625	42225	366	5652533	0,2500	5	1	0	1	1	0	0	1	19,230
7-9 Guimarães Sul - Calvos	42225	46697	366	6097076	0,2744	6	0	0	0	0	0	0	0	21,868
7-10 Calvos - Fafe Sul	46697	56396	366	3403986	0,3302	2	1	0	1	1	0	1	0	6,057
7-11 Fafe Sul - Basto	56396	76436	366	2755760	0,5512	29	8	1	7	13	1	0	12	52,617
7-12 Basto - Ribeira de Pena	76436	88622	366	2228463	0,2966	6	3	1	2	3	1	0	2	20,093
7-14 Ribeira de Pena - Vila Pouca de Aguiar (A24)	88622	103610	366	1998603	0,2796	11	3	0	3	4	0	1	3	36,313
A7				68802768	4,4736	105	39	2	36	56	3	3	50	23,471
42-1 Lousada - Lousada	19889	20843	366	4683200	0,0563	1	1	0	1	1	0	0	1	17,796
42-3 Felgueiras - Longra	26119	28116	366	3127058	0,0625	2	0	0	0	0	0	0	0	31,979
42-10 Longra - EN101	28116	30813	366	3127058	0,0844	1	1	0	1	1	0	1	0	11,844
A42				10947376	0,2033	4	2	0	2	2	0	1	1	16,676
AEN				160278224	8,7670	175	67	3	64	103	3	8	92	20,899

Figura 50: Índice de Sinistralidade - Concessão Norte.

Subbanço	Pk Inicial	Pk Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veic x Km)	Total de Acidentes (n°)	Nº Acidentes of vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	Nº Vítimas	Nº Mortos	Nº Feridos Graves	Nº Feridos Ligeiros	Taxa de Sinistralidade
25-8 Albergaria (A1/A25) - A25/IC2	24590	29034	366	7184069	0,3377	13	6	0	6	6	0	0	6	38,501
25-9 A25/IC2 - Carveiro	29034	31102	365	7191171	0,2301	7	3	1	2	5	1	1	3	30,419
25-16 Carveiro - Talhadas	32102	43235	366	5484386	0,6633	20	11	0	11	13	0	0	13	33,152
25-18 Talhadas - Reigoso	43235	50066	365	6266942	0,4262	14	2	0	2	3	0	0	3	32,852
25-12 Reigoso - Cambarinho	50066	56112	366	5609810	0,3366	6	3	0	3	4	0	0	4	17,826
25-13 Cambarinho - Vouzela	56112	61417	366	5611345	0,2974	3	0	0	0	0	0	0	0	10,087
25-14 Vouzela - Vouzela Nascente	61417	63407	365	6395322	0,1261	1	0	0	0	0	0	0	0	7,930
25-15 Vouzela Nascente - Vimeosa	63407	69286	366	4535566	0,2676	3	1	0	1	1	0	0	1	11,210
25-16 Vimeosa - Boa Aldeia Poente	69286	74439	366	4589862	0,2387	3	0	0	0	0	0	0	0	12,570
25-17 Boa Aldeia Poente - Boa Aldeia Nascente	74439	75397	365	3658425	0,0366	2	1	0	1	1	0	0	1	54,666
25-26 Boa Aldeia Nascente - Fall	75397	84731	366	3669979	0,3401	11	3	0	3	4	0	0	4	32,344
25-18 Fall - EN 231	84731	88426	366	5918324	0,2190	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
25-19 EN231 - EN2	88426	94574	366	2968414	0,1841	3	1	0	1	1	0	0	1	16,295
25-20 EN2 - Caçador	94574	96563	365	5561823	0,1112	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
25-21 Caçador - Fagilde	96563	101395	366	6437783	0,3219	4	1	0	1	1	0	0	1	12,427
25-22 Fagilde - Mangualde	101395	105334	366	6452108	0,2387	3	0	0	0	0	0	0	0	12,567
25-24 Mangualde - Chás de Tavares	105334	117621	366	4149184	0,5103	6	2	1	1	3	1	1	1	11,757
25-25 Chás de Tavares - Fornos de Algodres	117621	125852	365	3913221	0,3209	5	1	0	1	1	0	0	1	15,582
25-26 Fornos de Algodres - Celorico da Beira	125852	137823	366	3666568	0,4437	6	2	0	2	2	0	0	2	13,524
25-21 Celorico da Beira - EN17	137823	139055	365	3891832	0,0428	1	0	0	0	0	0	0	0	23,359
25-24 EN17 - Ratoeira Poente	139055	144934	366	3915554	0,1958	4	1	0	1	2	0	0	2	20,431
25-34 Ratoeira Poente - Ratoeira Nascente	144934	146332	365	3902901	0,0898	2	0	0	0	0	0	0	0	22,389
25-44 Ratoeira Nascente - IP2/A25	146332	146964	365	4059595	0,0244	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
25-24 IP2/A25 - Guarda	146964	161133	366	4032656	0,5726	12	5	1	4	7	1	2	4	20,956
25-36 Guarda - Pinhel	161133	163070	365	3748241	0,0712	2	1	0	1	2	0	0	2	26,083
25-31 Pinhel - Pinzão	163070	177283	366	3002079	0,4293	8	1	0	1	2	0	0	2	18,635
25-32 Pinzão - Alto do Leomil	177283	184697	365	3060364	0,2279	2	1	0	1	1	0	0	1	8,774
25-33 Alto do Leomil - EN332	184697	196872	366	2616990	0,3182	10	2	0	2	2	0	1	1	31,325
A25				13142234	7,5631	191	48	3	45	61	3	5	53	19,965
LBLA				13142234	7,5631	191	48	3	45	61	3	5	53	19,965

Figura 51: Índice de Sinistralidade - Concessão Beiras Litoral e Alta.

A.6. Índice de Sinistralidade

Sublango	PK Inicial	PK Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veio x Km)	Total de Acidentes (n°)	Nº Acidentes de vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	Nº Vítimas	Nº Mortos	Nº Feridos Graves	Nº Feridos Leigos	Taxa de Sinistralidade
25-0 Barra - Zona Industrial	1676	2419	365	10172602	0,0610	3	2	0	2	2	0	0	2	49,152
25-1 Zona Industrial - Gafanha da Nazaré	2419	5372	365	10172533	0,3052	11	3	0	3	3	0	1	2	36,045
25-2 Gafanha da Nazaré - Pirâmides	5372	8267	366	14406635	0,3746	14	7	0	7	9	0	0	9	37,371
25-3 Pirâmides - Esqueira	8267	11843	365	12293387	0,4794	13	5	0	5	6	0	0	8	27,115
25-4 Esqueira - Aveiro Nascente (A17/A25)	11843	14046	366	8577181	0,1973	3	1	0	1	2	0	0	2	15,207
25-5 Aveiro Nascente (A17/A25) - Zona Industrial	14046	14691	365	13929048	0,0836	1	0	0	0	0	0	0	0	11,969
25-24 Zona Industrial de Aveiro - Angeja Poente	14691	20994	366	12908676	0,8003	11	5	1	4	7	1	1	5	13,744
25-24 Angeja Poente - Angeja (A29/A25)	20994	22064	365	12937127	0,1294	2	2	0	2	2	0	0	2	15,458
25-6 Angeja (A29/A25) - Albergaria (IP1/A1)	22064	24590	366	9314212	0,2515	2	2	0	2	2	0	0	2	7,953
A25				104710411	2,6823	60	27	1	26	35	1	2	32	22,369
17-1 Mira PV - Ponte de Vagos	92556	96248	366	4403586	0,2510	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
17-2 Ponte de Vagos - Vagos	96248	103754	365	5766029	0,3171	2	0	0	0	0	0	0	0	6,395
17-3 Vagos - Ilhavo	103754	108025	366	5755229	0,2475	4	2	0	2	2	0	0	2	16,163
17-4 Ilhavo - Aveiro Sul	108025	109586	365	8361340	0,1338	1	0	0	0	0	0	0	0	7,475
17-5 Aveiro Sul - S. Bernardo	109586	114999	366	6334874	0,3421	4	3	0	3	6	0	1	5	11,693
17-6 S. Bernardo - Aveiro Nascente (A17/A25)	114999	117090	365	7255263	0,1526	1	1	0	1	1	0	0	1	6,554
A17				37066521	1,4441	12	6	0	6	9	0	1	8	8,300
29-19 Angeja - Salreu	0	7098	365	5845745	0,4153	12	2	0	2	2	0	0	2	28,993
29-16 Salreu - Estarreja	7098	12066	366	5611919	0,2806	2	0	0	0	0	0	0	0	7,128
29-13 Estarreja - Ovar Sul	12066	20818	366	5166188	0,4546	5	4	0	4	7	0	0	7	10,998
29-18 Ovar Sul - Arada-Ovar Norte	20818	25314	365	5858438	0,2513	3	1	0	1	1	0	0	1	11,936
29-11 Arada-Ovar Norte - Maceda	25314	29261	366	6528140	0,2977	3	0	0	0	0	0	0	0	11,209
29-10 Maceda - Cortegaça	29261	31991	366	1240013	0,3530	7	7	0	3	3	0	0	3	20,895
29-9 Cortegaça - Esmoriz	31991	34336	365	12966482	0,3112	6	2	0	2	3	0	1	2	19,280
29-8 Esmoriz - Espinho	34336	38582	366	15121093	0,6502	11	6	0	6	8	0	0	8	16,918
29-7 Espinho - S. Felix	38582	40443	366	16167274	0,2910	7	1	0	1	1	0	0	1	24,054
29-5 Felix - Granja	40443	42961	366	11256076	0,3083	9	4	0	4	6	0	1	5	23,175
29-6 Granja - Miramar	42961	45335	366	1896521	0,5506	11	5	0	5	5	0	0	5	19,978
29-4 Miramar - (A29/A44)	45335	47677	366	18214720	0,4189	3	2	0	2	7	0	0	7	7,161
29-3 (A29/A44) - Canelas (Gaia)	47677	50148	365	9191299	0,2298	4	3	0	3	3	0	1	2	17,408
29-2 Canelas (Gaia) - Arrábida (IC2)	50148	51518	366	13100696	0,1834	7	6	0	6	7	0	0	7	38,166
29-14 Arrábida (IC2) - Hospital	51518	51911	365	11566258	0,0463	4	3	0	3	3	0	0	3	86,458
29-1 Hospital - IPI (Freixo)	51911	52910	365	11556080	0,1041	2	2	0	2	2	0	0	2	19,213
A29				10568922	5,7894	96	44	0	44	58	0	3	55	18,538
44-1 (A29/A44) - Francelos (EN109)	0	741	365	17867345	0,1251	5	2	0	2	4	0	0	4	39,977
44-3 Francelos (EN109) - Valadares Norte	741	2053	366	22809610	0,2965	8	8	0	8	9	0	0	9	26,979
44-2 Valadares Norte - Madalena	2053	3103	365	26954296	0,2985	9	7	0	7	8	0	0	8	30,354
44-1 Madalena - Coimbra	3103	3926	366	31405454	0,1384	13	5	0	5	9	0	0	9	88,960
A44				59037005	0,8065	35	22	0	22	30	0	0	30	38,699
LCP				427318959	10,2113	283	99	1	98	132	1	6	125	18,880

Figura 52: Índice de Sinistralidade - Concessão Costa de Prata.

Sublango	PK Inicial	PK Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veio x Km)	Total de Acidentes (n°)	Nº Acidentes de vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	Nº Vítimas	Nº Mortos	Nº Feridos Graves	Nº Feridos Leigos	Taxa de Sinistralidade
16-1 AS - Alcabideche	0	798	365	21576872	0,1726	6	2	0	2	4	0	0	4	34,759
16-2 Alcabideche - AAI	798	1988	366	19493793	0,2339	4	1	1	0	2	1	1	0	17,099
16-3 AAI - Centro Comercial	1988	2490	365	19007415	0,9950	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
16-4 Centro Comercial - Alcoitão	2490	2892	365	13392487	0,8536	1	0	0	0	0	0	0	0	18,667
16-5 Alcoitão - Limó	2892	4221	366	18812611	0,2446	9	5	1	4	5	1	1	3	36,800
16-6 Limó - Ranholas	4221	6369	366	9410545	0,3952	4	1	0	1	1	0	0	1	10,120
16-7 Ranholas - Sintra	6369	10937	366	22427001	0,5831	12	7	0	7	11	0	1	10	20,580
16-8 Sintra - Loural	10937	11996	366	19703979	0,2167	3	3	0	3	3	0	0	3	13,843
16-9 Loural - Sacotes	11996	13965	366	6163885	0,1046	4	1	0	1	1	0	0	1	38,173
16-10 Sacotes - Telhal	13965	16754	366	6564933	0,2041	5	3	0	3	3	0	0	3	24,494
16-11 Telhal - Mira Sintra	16754	18671	366	9016394	0,1713	4	2	0	2	3	0	0	3	23,349
16-12 Mira Sintra - Cacém	18671	20602	366	11005317	0,2091	6	2	0	2	3	0	1	2	28,694
16-13 Cacém - Idanha	20602	21543	366	11762645	0,1059	3	0	0	0	0	0	0	0	28,338
16-14 Idanha - CREL	21543	22661	366	10525693	0,1492	1	0	0	0	0	0	0	0	6,203
A16				19901773	2,9392	62	27	2	25	36	2	4	30	21,994
LGL				19901773	2,9392	62	27	2	25	36	2	4	30	21,994

Figura 53: Índice de Sinistralidade - Concessão Grande Lisboa.

Sublango	PK Inicial	PK Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veio x Km)	Total de Acidentes (n°)	Nº Acidentes de vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	Nº Vítimas	Nº Mortos	Nº Feridos Graves	Nº Feridos Leigos	Taxa de Sinistralidade
4-15 Matosinhos - Sendim	-666	0	365	19286084	0,1350	7	2	0	2	2	0	0	2	51,851
4-14 Sendim - Gullifões	0	386	366	26345414	0,1054	4	3	0	3	3	0	0	3	37,957
4-16 Gullifões - Custóias	386	2387	366	26345414	0,5269	7	2	0	2	3	0	0	3	13,285
4-12 Custóias - Via Norte	2387	5042	366	24665844	0,6660	15	7	0	7	11	0	1	10	22,523
4-11 Via Norte - Ponte da Pedra	5042	6104	366	23706573	0,2608	3	0	0	0	0	0	0	0	11,594
4-10 Ponte da Pedra - Águas Santas (A3/A4)	6104	7859	366	26515251	0,9308	14	4	0	4	5	0	0	5	27,765
A4				146864580	2,1978	50	18	0	18	24	0	1	23	22,720
41-1 Freixiheiro - Aeroporto	0	2757	366	14834837	0,3857	5	2	0	2	2	0	0	2	12,963
41-3 Aeroporto - Lipo	2757	3664	365	14962965	0,1547	3	1	0	1	3	0	0	3	19,393
41-4 Lipo - EN13	3664	5363	366	13224557	0,2248	4	1	0	1	1	0	0	1	17,792
41-6 EN13 - EN14	6972	7335	366	14136368	0,2827	4	3	0	3	3	0	0	3	14,148
41-7 EN14 - EN107	7335	9377	366	15109923	0,3022	4	1	0	1	1	0	0	1	13,236
41-8 EN107 - Maia	9377	12449	365	18413884	0,5768	7	3	0	3	7	0	0	7	12,263
41-11 Maia - Alfena	12449	14645	366	18236762	0,4012	21	13	0	13	21	0	0	21	52,342
41-13 Alfena - Santo Tirso	14645	19708	366	12038306	0,6140	15	4	0	4	5	0	1	4	24,432
41-14 Santo Tirso - Ermida	19708	22110	365	13452926	0,3229	2	1	0	1	1	0	0	1	6,194
41-15 Ermida - IC24-IC25	22110	23228	366	11359146	0,1250	1	0	0	0	0	0	0	0	8,003
A41				144885674	3,2840	66	29	0	29</					

Sublinhço	Pk Inicial	Pk Final	Qtd Dias	Volume de Tráfego	Volume de Circulação (10 ³ Veic. x Km)	Total de Acidentes (n°)	N° Acidentes of vítimas	Acidentes com Mortos (n°)	Acidentes com Feridos (n°)	N° Vítimas	N° Mortos	N° Feridos Graves	N° Feridos Leves	Taxa de Sinistralidade
12-1 A23 - EN110 (Atalaia)	119000	119813	366	4012182	0,0321	1	0	0	0	0	0	0	0	31,155
12-2 EN110 (Atalaia) - Asseiceira	119813	123470	366	3342962	0,1237	1	1	0	1	1	0	0	1	8,085
12-3 Asseiceira - EN110 (Santa Cita)	123470	127798	366	3431664	0,1476	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
12-4 EN110 (Santa Cita) - Valdonas	127798	133342	366	3084559	0,1697	7	0	0	0	0	0	0	0	41,261
12-5 Valdonas - IC9	133342	135944	366	2553670	0,0639	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
12-6 IC9 - Alviobeira	135944	142114	366	2260657	0,1424	2	1	0	1	1	0	0	1	14,043
12-7 Alviobeira - Pias	142114	147938	366	1675700	0,0972	1	1	0	1	2	0	0	2	10,289
12-8 Pias - Cabacoçes	147938	156835	366	1690029	0,1504	4	0	0	0	0	0	0	0	26,594
12-9 Cabacoçes - Alvalázere	156835	162470	366	1670569	0,0936	2	1	0	1	1	0	0	1	21,578
12-10 Alvalázere - IC8 (Avelar Sul)	162470	172343	366	1765081	0,1747	3	2	0	2	3	0	0	3	17,168
12-11 IC8 (Avelar Sul) - Penela (Avelar Norte)	172343	183233	366	2891259	0,3151	8	3	0	3	3	0	0	3	25,385
12-12 Penela (Avelar Norte) - EN342	183233	190389	366	3080275	0,2218	1	0	0	0	0	0	0	0	4,509
12-13 EN342 - Condeixa (IC3)	190389	195017	366	3353458	0,1635	0	4	0	4	6	0	2	4	45,942
12-14 Condeixa (IC3) - Coimbra Sul	195017	202612	366	1753682	0,1368	1	0	0	0	0	0	0	0	7,311
A13				3676767	2,8324	39	13	0	13	17	0	2	15	19,189
13-1-4 Almalagüts - Condeixa (IC3)	0	7817	366	2053804	0,0329	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
13-1-2 Condeixa (IC2) - Almalagüts	7817	9421	366	1991379	0,1553	2	0	0	0	0	0	0	0	12,878
A13 1				4045183	0,1892	2	0	0	0	0	0	0	0	10,828
PI				1141924	0,3899	10	0	0	0	0	0	0	0	25,645

Figura 55: Índice de Sinistralidade - Pinhal Interior.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

Beatriz Pinto Gonçalves

ISEP, Porto, 2 de julho de 2025