

# DAS AUTOESTRADAS INTELIGENTES PARA AS AUTOESTRADAS COOPERATIVAS INTELIGENTES

Conceição Magalhães<sup>1</sup>; Lara Moura<sup>2</sup>; Pedro Serra<sup>3</sup>; Joel Pedro Pereira<sup>4</sup>; Cristiano Premebida<sup>5</sup>; Sofia Bento<sup>6</sup>; Luís Picado Santos<sup>7</sup>

<sup>1</sup> BRISA Auto-estradas de Portugal, S.A., Quinta de Torre da Aguilha. Edifício BRISA, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal

email: conceicao.magalhaes@brisa.pt

<sup>2</sup> A-to-Be, Lagoas Park, Ed. 15, Piso 4, Porto Salvo, 2740-245 – Oeiras, Portugal

<sup>3</sup> Instituto Pedro Nunes, Laboratório de Automática e Sistemas, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal

<sup>4</sup> Universidade de Coimbra, Instituto de Sistemas e Robótica (ISR), R. Sílvio Lima, 3030-194 Coimbra, Portugal

<sup>5</sup> Universidade de Loughborough, United Kingdom

<sup>6</sup> Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Parque de Ciências e Tecnologia de Oeiras, Avenida Casal de Cabanas, Urbanização de Cabanas Golf, n.º 1 Tagus Park, 2734-507 Barcarena, Portugal

<sup>7</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

---

## Sumário

*Neste artigo descrevem-se algumas das principais iniciativas em que a BRISA tem estado envolvida no sentido de lhe permitir transitar das autoestradas inteligentes para as autoestradas cooperativas inteligentes como suporte à implementação da circulação dos veículos autónomos e conectados (CAVs) em ambiente de tráfego misto. A sua participação ativa na realização do piloto de Lisboa do Projeto AUTO C-ITS permitiu-lhe não só assegurar a interoperabilidade dos seus sistemas cooperativos inteligentes de transportes (C-ITS), como também aumentar a sua experiência neste domínio, melhorar a sua plataforma C-ITS, corrigir bugs detetados, obter dados para o seu projeto de investigação na área dos veículos autónomos (AVs) e preparar um sublanço da sua infraestrutura para a realização de testes futuros.*

---

**Palavras-chave:** Sistemas Cooperativos Inteligentes de Transportes (C-ITS); Autoestradas Inteligentes (SMs); Veículos Autónomos (AVs); Veículos Autónomos e Conectados (CAVs); Veículos Conectados (CVs)

## 1. INTRODUÇÃO

O setor dos transportes tem vindo a enfrentar enormes desafios decorrentes da rápida evolução no domínio tecnológico, a qual tem potenciado o desenvolvimento de novos modelos de negócio disruptivos. A pressão exercida sobre aquele no sentido de o transformar num setor mais seguro, eficiente, ecológico, sustentável, multimodal e acessível para todos os utilizadores da infraestrutura rodoviária é cada vez maior. Por outro lado, o setor automóvel tem vindo a sofrer a maior transformação de sempre face à evolução contínua das novas tendências de automação.

As tecnologias digitais surgem como um motor e fator preponderante nestas transformações dado permitirem a interação entre veículos e entre estes e a infraestrutura (Sistemas Inteligentes de Transportes Cooperativos - C-ITS). Esta interação possibilitará não só a partilha e o uso de informação anteriormente indisponível, mas também coordenar as suas ações, numa relação de cooperação. Esta cooperação permitirá melhorar a segurança rodoviária, aumentar a eficiência do tráfego e o conforto na condução. Adicionalmente, aquelas tecnologias irão permitir não só reduzir o erro humano como também eliminar custos e otimizar o uso da infraestrutura rodoviária existente mediante a redução do congestionamento, reduzindo desse modo as emissões de CO<sub>2</sub>. Para além disso, a comunicação entre veículos, infraestrutura e seus utilizadores é fundamental para o desenvolvimento dos veículos autónomos, facilitando a sua integração no sistema de transportes rodoviário [1].

A relevância destas tecnologias como catalisador daquelas mudanças foi comprovada pela definição da Estratégia Europeia sobre os Sistemas Cooperativos Inteligentes de Transportes [2] a qual está intimamente ligada às prioridades políticas assumidas pela Comissão Europeia (EC - European Commission) materializadas pela definição de várias estratégias europeias. Algumas destas estratégias reafirmam o potencial dos veículos conectados, cooperativos e autónomos para reduzir o consumo de energia e as emissões referentes ao sistema de transportes, identificando-os como fundamentais para aumentar a competitividade da indústria automóvel europeia. Adicionalmente, [3], [4] e [5] defendem que a comercialização destes veículos pode constituir uma fonte de emprego para centenas de milhares de cidadãos europeus.

De acordo com [6], espera-se que a implementação da condução autónoma tenha início em autoestrada. Neste sentido, as autoestradas inteligentes (SMs - Smart Motorways) constituem-se como meio preferencial para a sua implementação num futuro próximo, dado tratarem-se de ambientes relativamente controlados e estruturados, utilizando a sua inteligência e informação para melhoria da eficiência, da resiliência, da segurança e da sustentabilidade da rede assim como da satisfação dos seus utilizadores. Como tal, necessitam de se adaptar e desenvolver, simultaneamente com aquelas tecnologias, para poderem satisfazer as crescentes necessidades de mobilidade e apoiar a implementação dos veículos conectados, cooperativos e autónomos num ambiente de tráfego misto, sem disrupções ao nível operacional, continuando a assegurar elevados padrões de segurança e eficiência.

A participação ativa da BRISA neste campo tem incluído uma série de iniciativas, umas já desenvolvidas outras atualmente em curso, nas quais se insere o desenvolvimento dum tese de doutoramento em Sistemas de Transportes no Instituto Superior Técnico (IST), no sentido de investigar o tipo de mudanças que deverão ser implementadas ao nível da sua rede de autoestradas que lhe permitam gerir, com o mínimo risco possível, o período de transição no qual os veículos autónomos (AVs - Autonomous Vehicles) irão coexistir com os veículos convencionais. Espera-se que esta adaptação atempada permita evitar uma transição brusca e não planeada para o referido período de transição, aumentando a aceitação dos AVs pelos clientes das suas autoestradas. A realização de ensaios em mundo real teve como objetivo a recolha de dados acerca do comportamento dos veículos autónomos e conectados (CAVs - Connected Autonomous Vehicles), em diferentes cenários, relativamente à ocorrência de vários eventos na infraestrutura, propagados a partir das estações C-ITS nela presentes, permitindo recolher parâmetros de gestão de tráfego e operacionais e comparar a reação real desses veículos com a prevista. Estes dados serão depois utilizados para modelação dos mesmos cenários com variação dos diversos parâmetros. Aqueles ensaios foram realizados no Piloto de Lisboa, no âmbito do Projeto Europeu AUTOC-ITS, que previa a realização de dois outros pilotos, nomeadamente Madrid e Paris. Este artigo descreve a realização do piloto de Lisboa, com CAVs e com veículos conectados (CVs - Connected Vehicles), em ambiente real, realizado no sublanço Radial da Pontinha/Radial de Odivelas, na A9-CREL, no qual foi instalada tecnologia de comunicação I2V (Infrastructure to Vehicle), onde foram testados diferentes cenários, com recurso a alguns serviços do dia 1 da Plataforma C-ITS, para avaliar o desempenho dos CAVs, em ambiente conectado, e a interoperabilidade dos C-ITS.

Este artigo está organizado em cinco seções distintas. Na Seção 2 apresentam-se as iniciativas em curso no domínio dos C-ITS quer na União Europeia quer na BRISA. A Seção 3 descreve o Piloto de Lisboa do Projeto AUTO C-ITS, designadamente os veículos de teste, os serviços C-ITS testados, a infraestrutura C-ITS implementada e os cenários testados. Na Seção 4 procede-se à avaliação do piloto e seus resultados. A Seção 5 detalha as conclusões tiradas com a realização daquele piloto.

## **2. INICIATIVAS NO DOMÍNIO DOS C-ITS**

### **2.1 União Europeia**

Nos últimos 14 anos a União Europeia tem vindo a fomentar o desenvolvimento de uma série de projetos de investigação e de implementação de protótipos no domínio dos C-ITS com vista a fomentar a sua implementação e garantir a sua interoperabilidade ao nível dos estados membros. O primeiro projeto desenvolvido nesta área, o projeto PROMETHEUS, remonta a finais de 1986. Desenvolvido pela então Daimler-Benz AG, visava encontrar novas perspetivas para resolver os problemas de tráfego que se avizinhavam. Tendo ocorrido como parte de uma iniciativa de investigação Europeia EUREKA (European Transport with Highest Efficiency and Unprecedented Safety Program) [7], contou com a colaboração dos principais fabricantes de automóveis europeus, empresas de

eletrónica e seus fornecedores, assim como com diversos centros de investigação/universidades, ao longo de oito anos. Deste estudo resultaram inúmeras tecnologias de benefício comprovado, das quais se destacam o controle ativo de distância e o sistema de travão automático de emergência. O foco principal do projeto foi a integração das novas tecnologias existentes à data (microeletrónica, sensores, telecomunicações, processamento de informação e inteligência artificial) na melhoria do sistema de tráfego rodoviário mediante o desenvolvimento de novos sistemas de gestão e controlo de informação. Posteriormente, vários projetos e programas de investigação têm sido desenvolvidos, assim como implementados ensaios operacionais de grande escala a nível europeu (CAR 2 CAR, Drive C2X, Digital Motorway Test Bed, CONCORDA, ICSI, etc.) os quais demonstraram a viabilidade técnica e comercial das tecnologias ITS-G5 que permitem a comunicação entre veículos e infraestrutura (comunicação de pequeno alcance) os quais serão a base para o futuro desenvolvimento e implementação desta tecnologia.

## 2.2 BRISA

### 2.2.1 Projetos Europeus

A participação ativa da BRISA no domínio dos C-ITS tem incluído uma série de iniciativas no sentido de lhe permitir transitar gradualmente para as Autoestradas Cooperativas Inteligentes (CSM - Cooperative Smart Motorways), com recurso aos C-ITS, evitando eventuais disrupções ao nível operacional.

O projeto ICSI - Intelligent Cooperative Sensing for Improved traffic efficiency foi um dos primeiros onde esteve envolvida. Desenvolvido entre 2012 e 2015, teve como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma para unir e integrar fontes de dados heterogéneos num sistema comum, e fornecer um conjunto de ferramentas avançadas para o controle, monitorização, simulação e previsão do tráfego, que permitisse garantir uma maior segurança e sustentabilidade e um menor congestionamento na infraestrutura rodoviária. A A-to-Be, empresa tecnológica do Grupo BRISA, foi parceira do projeto e teve como papel o desenho, implementação e avaliação operacional do demonstrador do sistema, tirando vantagem da integração total com o sistema existente de gestão de tráfego e de informação. O desenvolvimento do teste operacional realizou-se em Lisboa, na autoestrada A5, onde foram testados seis casos de uso (apoio à navegação e escolha intermodal, aviso de contramão, perigo na estrada, de trabalhos na estrada, de congestionamento e de veículo de emergência). Estes testes basearam-se na cooperação ativa entre veículo, *roadside units* (RSUs) e o centro de controlo de tráfego acionado pelo sistema central para a cooperação, com a utilização de 4 veículos equipados com *on board units* (OBUs). O sistema demonstrou a sua capacidade de melhorar a segurança na autoestrada, assim como a gestão do tráfego, através da transmissão da informação aos veículos, em tempo real, sobre situações anómalas de tráfego e situações perigosas.

Posteriormente, em 2015, iniciou-se o Projeto SCOOP@F Part 2 - Système Coopératif Pilote cujo objetivo é o de desenvolver um piloto de um sistema cooperativo inteligente de transporte em França. Nesta segunda fase do projeto foram testados, no mundo real, vários dos serviços implementados, e procedeu-se ao desenvolvimento de uma solução para as comunicações híbridas (ITS-G5 e GSM/LTE), bem como a análise e validação dos resultados. O teste de interoperabilidade entre os C-ITS desenvolvidos no projeto SCOOP com outros de projetos semelhantes, realizou-se no norte de Portugal, onde foram feitos alguns testes de interoperabilidade. A A-to-Be tem participado neste projeto, onde se tem promovido a realização de testes conjuntos para validação de serviços em vários países como Espanha, França e Áustria. Foram já desenvolvidos vários pilotos conjuntos, nomeadamente testes transfronteiriços com Vigo (Espanha), que incluíram, entre outras, a autoestrada A3 da BRISA, testes de segurança em Reims (França) e testes de interoperabilidade em Viena (Áustria). O conjunto de testes desenvolvidos até à data permitiu validar a interoperabilidade entre os diferentes sistemas nos vários atores considerados.

Mais recentemente, em 2017, iniciou-se o Projeto C-Roads Portugal, cofinanciado pelo Programa Europeu CEF (Connecting Europe Facility), cujo objetivo principal é o de assegurar a harmonização e interoperabilidade dos C-ITS em Portugal. O projeto prevê a implementação em grande escala de 5 testes piloto que cobrem zonas urbanas, rurais e transfronteiriças, e que permitem a expansão da rede C-ITS por aproximadamente 1000 km de infraestrutura, nos quais se incluem 10 autoestradas e 7 estradas urbanas. Estão planeados vários testes de interoperabilidade de serviços para veículos de diferentes níveis de autonomia. A BRISA é parceira no projeto, bem como algumas das suas participadas, para estas atividades assim como na preparação da sua rede de autoestradas para os CAVs de níveis 2 e 3.

## 2.2.2 Tese de Doutoramento em Sistemas de Transportes

A rápida adoção de tecnologias emergentes quer ao nível dos veículos quer ao nível da infraestrutura rodoviária tem estado a originar uma alteração no relacionamento atualmente existente entre os veículos, os condutores e a infraestrutura rodoviária, os principais intervenientes do sistema de transportes rodoviário. A evolução exponencial das tecnologias de comunicação e informação (ITS), e a sua consequente adoção no domínio dos transportes rodoviários, é um dos principais fatores indutores desta mudança. Adicionalmente, os Sistemas Cooperativos Inteligentes de Transportes (C-ITS), os quais permitem a comunicação sem fios entre os veículos (V2V), entre estes e a infraestrutura (V2I) e entre estes e qualquer coisa (V2X) tem permitido o desenvolvimento de novas tecnologias para aumentar a segurança, a eficiência e o conforto na condução.

Aquelas tecnologias emergentes, conjugada com a revolução tecnológica que a indústria automóvel tem estado a atravessar, têm vindo a exercer uma pressão crescente na infraestrutura rodoviária, criando uma necessidade de mudança e transformação simultâneas, para continuar a satisfazer as necessidades crescentes de mobilidade e de apoiar a implementação dos CAVs.

A abordagem evolutiva que tem vindo a ser adotada pelos fabricantes de AVs, conjugada com o tempo médio necessário de renovação da frota automóvel atual e com a necessidade de cada condutor se afirmar como pessoa, de expressar a sua posição social e pelo prazer que tem em conduzir [8], pressupõe a existência de um longo período de transição durante o qual os AVs, com diferentes graus de autonomia, irão interagir entre si e com os veículos convencionais, partilhando a mesma infraestrutura.

Espera-se que a implementação da condução autónoma tenha início em autoestrada [1] sendo as SMs o meio preferencial para a sua implementação num futuro próximo, dado tratarem-se de ambientes relativamente controlados e estruturados, utilizando a inteligência e informação para melhoria da eficiência, da resiliência, da segurança e da sustentabilidade da rede, assim como da satisfação dos utilizadores. Como tal, necessitam de se adaptar e desenvolver, simultaneamente com aquelas tecnologias, para poderem satisfazer as crescentes necessidades de mobilidade e apoiar a circulação dos AVs e dos veículos convencionais, continuando a assegurar elevados padrões de segurança e eficiência.

Contudo, o processo de introdução de novas tecnologias no mercado nem sempre é imediato. Muitas inovações que não satisfazem as necessidades do utilizador são abandonadas previamente ao seu lançamento no mercado [9]. As questões técnicas e a reduzida recetividade relativamente a novas tecnologias têm-se revelado como principais obstáculos à sua penetração no mercado [10]. Neste caso, a introdução dos AVs em circulação só será possível se os condutores estiverem dispostos a aceitá-los e a comprá-los, sendo que só fará sentido adaptar a infraestrutura a esta nova realidade se os seus utilizadores, estiverem dispostos a usar uma autoestrada onde é permitida a circulação de tráfego misto (AVs, CVs e veículos convencionais).

O trabalho de investigação que a BRISA está a patrocinar, desenvolvido no âmbito de uma tese de doutoramento em sistemas de transportes no IST visa não só avaliar a aceitação dos seus clientes relativamente aos AVs mas também a sua aceitação em circular em autoestradas onde a circulação dos AVs seja uma realidade. Para o efeito foram realizados dois tipos de inquéritos distintos, aos clientes Via Verde (VV) e aos concessionários de autoestradas pertencentes à ASECAP (Association Européenne des Concessionnaires d'Autoroutes et d'Ouvrages à Péage). A modelação da aceitação quer dos AVs quer da sua circulação em SMs está a ser analisada através de um modelo de equações estruturais tendo em conta uma série de fatores entendidos como relevantes para aqueles dois objetivos. Adicionalmente, aquele trabalho pretende avaliar a melhor forma de proceder à integração dos AVs em circulação num ambiente de tráfego misto. Para o efeito, utilizará os dados decorrentes da adaptação de comportamento destes veículos em distintos cenários de circulação num troço de autoestrada equipado com tecnologia C-ITS, realizados no âmbito do piloto de Lisboa do Projeto Europeu AUTO C-ITS, realizado em outubro de 2018, para simulação de vários cenários de circulação possíveis. O objetivo final é delinear uma estratégia de implementação operacional daquela realidade que possibilite uma transição sem disrupções, assegurando elevados padrões de conforto e segurança, alinhada com o tipo de aceitação demonstrada pelos seus clientes.

### 3. O PILOTO DE LISBOA

O piloto de Lisboa foi realizado no âmbito do Projeto AUTO C-ITS - Regulation Study for Interoperability in the Adoption of Autonomous Driving in European Urban Nodes, cofinanciado pela União Europeia através do programa CEF. Este projeto tinha como objetivo principal apoiar o desenvolvimento da condução autónoma nas estradas Europeias, através do uso dos serviços C-ITS para partilha de informação entre os veículos e a infraestrutura, garantindo a coexistência daqueles veículos com os veículos convencionais num ambiente de tráfego misto. Dos três pilotos nele previstos incluía-se o piloto de Lisboa. Este piloto teve como objetivo a realização de testes com CAVs, num ambiente equipado com C-ITS, os quais visaram testar não só a interoperabilidade de vários C-ITS, mas também a mudança de comportamento dos CAVs após receção de mensagens de aviso.

#### 3.1 Realização dos testes

Os testes decorreram no sublanço Radial da Pontinha/Radial de Odivelas da A9-CREL em três zonas distintas, designadamente: (1) Zona 1 entre o km 15+200 e o km 12+800 (sentido Nó de Odivelas/Nó da Radial da Pontinha), (2) Zona 2 entre o km 11+100 e o km 13+200 (sentido Nó da Radial da Pontinha/Nó da Radial de Odivelas) e (3) Portagem de Odivelas (zona reservada para testes) (ver Figura 1).



**Figura 1 - Zonas de teste**

Os ensaios foram realizados entre 15 e 18 de outubro de 2018, em dois períodos distintos, designadamente entre as 10:00 h e as 12:30 h e entre as 14:00 h e as 16:00 h, por forma a evitar as horas de ponta. Participaram nos ensaios dois CAVs, um da Universidade Politécnica de Madrid (UPM) e outro do Centro de Tecnologia Automóvel da Galiza (CTAG), e dois CVs, um da A-to-Be e outro da BOSCH.

Os eventos simulados nos testes basearam-se apenas em três serviços da lista dos “Day-1 Services” da plataforma C-ITS definidos pela Comissão Europeia [1], nomeadamente: “Slow or stationary vehicle & traffic ahead warning”, “Weather conditions” e “Other Hazardous notifications”.

Os cenários de teste do piloto de Lisboa foram desenhados tendo em conta a regulamentação existente, os veículos envolvidos e os objetivos do projeto AUTO C-ITS. Uma vez que a regulamentação Portuguesa não prevê a circulação de veículos sem condutor, nem mesmo em cenários de teste, foi necessária a colaboração das forças de segurança com o objetivo de controlar o tráfego na zona de testes.

O piloto foi dividido em quatro cenários que incluíram testes com apenas um CAV, testes com um CAV e um CV, testes com dois CAVs e por último a realização de testes com um CAV em Praça de Portagem. Nestes cenários foram emitidas várias mensagens de aviso para os CAVs e CVs, pelos C-ITS instalados na infraestrutura, os quais adaptaram o seu comportamento de acordo com a mensagem recebida.

Os veículos circulavam em modo manual até ao início de cada uma das zonas de teste (ponto A) e nesse ponto entravam em modo autónomo até final da respetiva zona de teste (ponto B). Já em modo autónomo, recebiam a mensagem da infraestrutura e adaptavam o seu comportamento ao aproximarem-se do local do evento. Nos cenários realizados em autoestrada esperava-se que os veículos reduzissem a sua velocidade de circulação

enquanto que no cenário da Praça de Portagem esperava-se que o veículo alterasse a sua trajetória para a via automática disponível (Via Verde).

#### Cenário em autoestrada com um CAV

Neste cenário foi emitida uma mensagem de dois serviços distintos, “Weather conditions” e “Other hazardous notifications”. Nesta situação os veículos circulavam a 90 km/h em modo autónomo acompanhados pelos veículos das forças de segurança e, ao aproximarem-se da zona do evento, reduziriam a velocidade para 70 km/h (ver Figura 2).

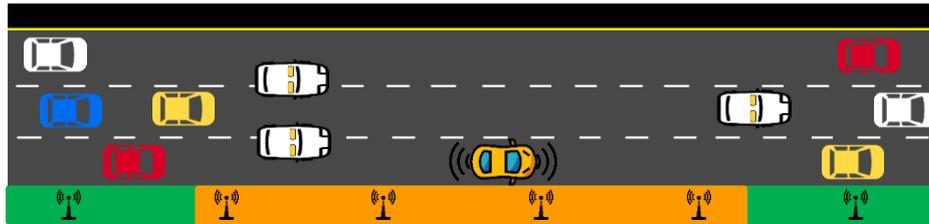


Figura 2 - Cenário em autoestrada com um CAV

#### Cenário em autoestrada com um CAV e um CV

Neste cenário foram emitidas duas mensagens dos três serviços. Neste caso os veículos circulavam a 100 km/h em modo autónomo e, ao aproximarem-se da zona do evento, reduziriam a velocidade para 80 km/h. Os veículos recebiam não só a mensagem da infraestrutura mas também do outro veículo (ver Figura 3).

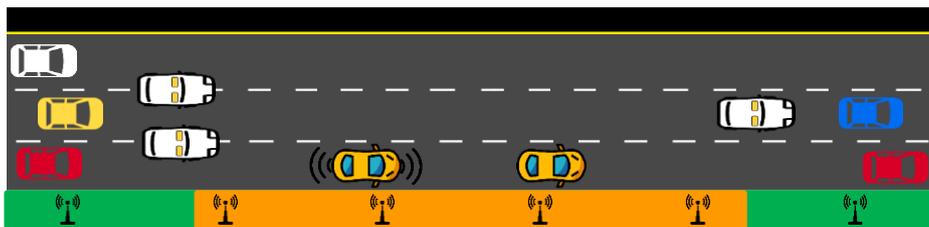


Figura 3 - Cenário em autoestrada com um CAV e um CV

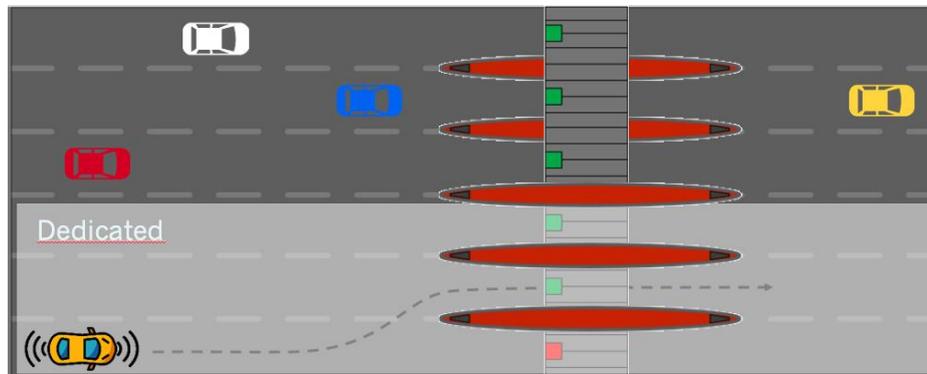
#### Cenário em autoestrada com dois CAVs

No cenário com dois CAVs, foram enviadas mensagens dos serviços “Slow or stationary vehicle & traffic ahead warning” e “Weather conditions”. Os CAVs circulavam a uma velocidade de 90 km/h, reduzindo a sua velocidade para 70 km/h ao aproximarem-se da zona do evento.

#### Cenário da Praça de Portagem

Neste cenário pretendia-se que o CAV transitasse da via onde circulava inicialmente para a via automática disponível. O CAV iniciava o seu trajeto em modo autónomo na via mais à direita da Praça de Portagem e, ao

receber a mensagem com indicação da via automática disponível (Via Verde), procedia à mudança de trajetória para passar naquela via (ver Figura 4).



**Figura 4 - Cenário da Praça da Portagem**

### **3.2 Infraestrutura C-ITS implementada**

O piloto de Lisboa utilizou três tipos de estações ITS-G5 dos C-ITS, designadamente OBUs, RSUs e a plataforma C-ITS MOBICS, instalados nos veículos de teste, na infraestrutura e na cloud respetivamente. Para garantir total cobertura, foram instalados 6 RSUs nas três zonas de testes, utilizando tecnologia de comunicação ITS-G5, cinco em plena via localizados aos kms 15+200, 14+100 e 12+800, sentido Radial de Odivelas/Radial da Pontinha, e aos kms 11+100, 11+700 e 13+200, sentido Radial da Pontinha/ Radial de Odivelas, e um na Praça de Portagem de Odivelas, imediatamente antes das ilhas. Estes RSUs foram ligados, através da rede, à plataforma C-ITS MOBICS, especificada e desenvolvida pela A-to-Be, responsável pela gestão de toda a informação trocada entre as diferentes estações ITS-G5.

As mensagens geradas por aquela plataforma foram disseminadas para os RSUs via fibra ótica, sendo que os RSUs transmitiram posteriormente as mensagens, necessárias para apoiar as aplicações V2I e I2V, através da plataforma. Cada RSU era constituído por um módulo de rádio, uma placa de processamento e duas antenas, GPS e rádio respetivamente, com um raio de influência variável entre os 500 m e 1500 m, dependendo da orografia, do traçado rodoviário e da eventual existência de habitações na sua proximidade.

Os RSUs e as antenas de rádio e GPS foram instalados em armários de equipamentos ao longo da AE e na zona adjacente àqueles armários, respetivamente. As comunicações foram realizadas sem fios sobre a banda IEEE 802.11p (ITS-G5).

As estações ITS-G5 configuradas como OBUs foram instaladas nos veículos de teste. Cada veículo foi equipado com uma antena 5,9 GHz colocada no tejadilho assim como uma antena externa GPS por forma a sincronizar as comunicações e fornecer dados GPS. Este sistema tinha uma interface homem-máquina (HMI), sendo esta a App que corria num tablet ligado ao OBU através do cabo USB.

A comunicação entre as estações RSUs e os OBUs foi efetuada com mensagens ambientais descentralizadas (DENM).

## **4. AVALIAÇÃO E RESULTADOS DO PILOTO**

A avaliação dos testes realizados consistiu na avaliação da interoperabilidade das diversas estações C-ITS instaladas (RSUs e OBUs) e da mudança de comportamento dos CAVs após receção das DENMs emitidas pelas RSUs. O comportamento assumido pelos CAVs dependeu das mensagens por eles recebidas durante os testes referentes aos eventos que lhes foram transmitidos.

Os CVs foram apenas avaliados em relação à interoperabilidade. Os CAVs foram avaliados quer relativamente à interoperabilidade quer relativamente à mudança do seu comportamento face ao evento transmitido.

A avaliação de cada teste foi realizada mediante o cálculo de um conjunto de KPIs (Key Performance Indicators) previamente definido.

#### **4.1 Avaliação da interoperabilidade**

A avaliação da Interoperabilidade foi realizada para todos os CAVs e CVs de acordo com os seguintes KPIs:

- Início e fim da emissão das DENMs;
- Início da receção da DENM;
- Tempo de receção adequado da DENM;
- Percentagem de DENMs recebidas;
- Média do tempo entre DENMs recebidas;
- Desvio-padrão do tempo entre DENMs recebidas;

Estes indicadores permitiram avaliar os testes de comunicação entre os OBUs instalados nos próprios veículos e as RSUs instaladas na infraestrutura rodoviária.

Os KPIs assumiam o valor 1, quando o valor calculado se encontrava no intervalo para si definido, ou o valor 0 quando aquele valor se encontrava fora do referido intervalo. O teste obteria a classificação “Pass” caso todos os KPIs assumissem o valor final de 1.

#### **4.2 Avaliação da mudança de comportamento**

A avaliação da mudança do comportamento dos CAVs foi efetuada antes, durante e após a zona de ocorrência do evento. Para cada evento simulado esperava-se uma mudança de comportamento específica. O comportamento adotado pelo veículo foi avaliado relativamente ao comportamento esperado para o evento especificado.

Na zona de aproximação do evento, designada por zona de pré evento, o veículo deveria reduzir a velocidade e/ou mudar de via. Na zona do evento, o veículo deveria manter a velocidade e a sua trajetória. Após a zona do evento o veículo deveria retomar a sua velocidade anterior e/ou retomar a via onde circulava anteriormente. O comportamento definido para os CAVs, para cada um dos eventos, foi a redução da velocidade.

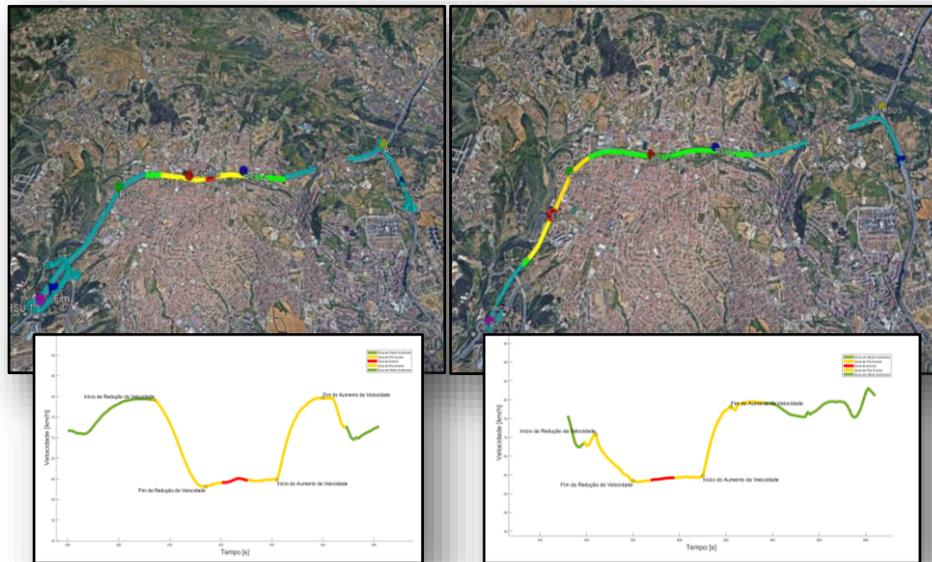
A avaliação da mudança de comportamento foi avaliada de acordo com os seguintes KPIs:

- Velocidade Média em cada zona do evento;
- Velocidade Máxima em cada zona do evento;
- Velocidade Mínima em cada zona do evento;
- Tempo de início de resposta à DENM referente;
- Tempo total de resposta a um evento;
- Tempo de resposta a um evento detetado;
- Frequência de mudança de via, para cada zona do evento;

Para os 6 primeiros KPIs acima apresentados, o componente avaliado foi a velocidade do CAV enquanto que no último KPI o componente avaliado foi a posição do CAV.

Analogamente à avaliação da interoperabilidade, os KPIs assumiam o valor de 1 ou 0 consoante o valor obtido no respetivo cálculo, estivesse ou não, respetivamente, entre os limites para eles definidos. Da mesma forma, o teste seria classificado como “Pass” caso todos os KPIs assumissem o valor de 1.

Na Figura 5 apresentam-se as duas zonas de evento definidas para os CAVs. O troço verde assinala as zonas de início e de fim dos testes, em modo autónomo, o amarelo assinala as zonas de pré evento e pós evento e, por último, o vermelho a zona do evento.



**Figura 5 - Zonas do evento realizadas em modo autónomo**

### 4.3 Resultados do piloto

A avaliação dos testes realizados permitiu concluir que tanto o CV da BOSCH obteve como o CAV da CTAG obtiveram resultados positivos relativamente à interoperabilidade.

Relativamente à mudança de comportamento, os CAVs obtiveram, na generalidade, resultados positivos comprovados pelo comportamento assumido, coincidente com o previamente definido para cada evento emitido.

Adicionalmente, o piloto de Lisboa permitiu a recolha de uma série de parâmetros de gestão de tráfego e operacionais referentes aos CAVs, os quais serão posteriormente utilizados na interpretação da sua mudança de comportamento, face aos eventos simulados, sendo esta extrapolada para outros cenários a modelar.

## 5. CONCLUSÕES

O piloto de Lisboa permitiu testar a interoperabilidade entre diferentes estações C-ITS, provenientes de fabricantes Portugueses e Espanhóis. Foram testados todos os serviços do Dia 1 da Plataforma C-ITS inicialmente previstos. Os eventos simulados e propagados pelos RSUs, instalados na infraestrutura rodoviária, foram devidamente recebidos e interpretados pelos CAVs e CVs.

Os CAVs reduziram a sua velocidade na zona de pré-evento, mantiveram-na durante o evento e retomaram-na na zona de pós-evento. Contudo um dos veículos teve alguma dificuldade em manter a mesma trajetória quando em modo autónomo.

No cenário realizado na Praça de Portagem de Odivelas o CAV da CTAG, após receber mensagem do RSU nela instalado a indicar qual a via disponível para a sua passagem, mudava de via e encaminhava-se sempre para a Via Verde. Todavia, ao aproximar-se da pala de portagem perdia o sinal GPS obrigando ao controlo manual por parte do seu condutor. A inexistência de marcas horizontais na zona das ilhas da Praça de Portagem contribuiu para a dificuldade de o veículo manter a sua trajetória em modo autónomo nesta zona.

Ainda que não tivesse feito parte dos cenários de teste, foi ainda testada a condução autónoma no Túnel de Montemor. Neste caso, um dos CAVs perdeu o sinal GPS o que implicou o abandono da trajetória prevista e o assumir do controlo por parte do seu condutor.

Os ensaios só puderam ser realizados face ao enorme acompanhamento realizado quer por parte das forças de segurança (Guarda Nacional Republicana) quer por parte da Assistência Rodoviária da BRISA. O regulador não permitiu a realização dos ensaios sem a existência de uma bolsa de segurança formada pela primeira entidade pelo que alguns dos ensaios não puderam ser realizados como previsto inicialmente. Importa por isso colmatar o vazio regulamentar existente neste domínio para que possamos realizar outro tipo de cenários em ambiente real. Só assim conseguiremos adquirir mais experiência e combater a ausência de recetividade evidenciada pelos diferentes intervenientes no sistema de transportes rodoviário.

O piloto de Lisboa com CAVs constituiu mais um avanço na garantia de interoperabilidade dos C-ITS a nível Europeu apontando para a necessidade de realização de mais ensaios de grande escala em ambiente real, na presença de mais CAVs e, se possível, com a implementação de cenários mais arrojados.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio da BRISA Auto-estradas de Portugal, S.A., da A-to-Be, do MIT Técnico e do Projeto AUTO C-ITS - Regulation Study for Interoperability in the Adoption of Autonomous Driving in European Urban Nodes - Action number 2015-EU-TM-0243-S, cofinanciado pela European Union Innovation and Networks Executive Agency-Connecting Europe Facility (INEA-CEF).

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] European Commission. (2016). A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- [2] Parliament, E. (2018). A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, (2018).
- [3] KMPG. (2015). Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity, (March), 1–24.
- [4] Berger, R. (2014). Think Act. Autonomous driving. Disruptive innovation that promises to change the automotive industry as we know it - it's time for every player to think:act!
- [5] Gleave, S. D., Frisoni, R., Dall'Oglio, A., Nelson, C., Long, J., Vollath, C., ... McMinimy, S. (2016). Self-piloted cars: the future of road transport? (Provisional version - Study). Research for Tran Committee (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [6] Bishop, R. (2005). Intelligent vehicle R&D: A review and contrast of programs worldwide and emerging trends. *Annales Des Télécommunications*, 60(3–4), 228–263. <https://doi.org/10.1007/BF03219820>
- [7] Eureka. Retrived from <http://www.eurekanetwork.org/project/id/45>.
- [8] Steg, L., Vlek, C., & Slotegraaf, G. (2001). Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car. *Transportation Research*, 4(Part F), 151–169.
- [9] Story, V., O'Malley, L., & Hart, S. J. (2011). Roles, role performance, and radical innovation competences. *Industrial Marketing Management*, 40(6), 952–966. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2011.06.025>
- [10] Vahidi, A., & Eskandarian, A. (2003). Research Advances in Intelligent Collision Avoidance and Adaptive Cruise Control. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 4(3), 143–153. <https://doi.org/10.1109/TITS.2003.821292>
- [11] C. Premebida, P. Serra, A. Asvadi, A. Valejo, L. Moura (2018). "Cooperative ITS Challenges: AUTOCITS Pilot in Lisbon". In *IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Porto, 2018, pp. 1-5.
- [12] R. Castiñeira, J. E. Naranjo, M. Gil Cabeza, F. Jimenez, A. As-vadi, C. Premebida, P. Serra, A. Vadejo, M. Y. Aboualhoule, F. Nashashibi, "AUTOCITS - Regulation study for interoperability in the adoption of autonomous driving in european urban nodes", in *7th Transport Research Arena (TRA 2018)*, 2018.