

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLTÉCNICA

PAULO TOMAZ PELLEGRINI

**Contribuição à Consideração de Inovações Tecnológicas de Condução
Veicular e de Sistemas Inteligentes de Transporte no Desenvolvimento de
Projetos Viários**

**São Paulo
2021**

PAULO TOMAZ PELLEGRINI

**Contribuição à Consideração de Inovações Tecnológicas de Condução
Veicular e de Sistemas Inteligentes de Transporte no Desenvolvimento de
Projetos Viários**

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o
Programa de Pós-graduação)

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Felipe Issa Kabbach Jr.

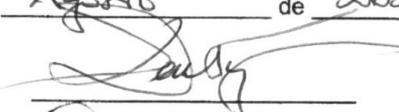
São Paulo

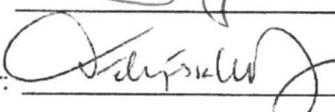
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 30 de Agosto de 2021

Assinatura do autor: 

Assinatura do orientador: 

Catlogação-na-publicação

PELLEGRINI, PAULO
Contribuição à Consideração de Inovações Tecnológicas de Condução Veicular e de Sistemas Inteligentes de Transporte no Desenvolvimento de Projetos Viários / P. PELLEGRINI – versão corr. – São Paulo, 2021.
242 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Veículos automatizados e conectados 2.Sistemas Inteligentes de Transporte 3.Projeto de sistemas viários 4.Infraestrutura viária digital
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo compilar de forma didática e abrangente os principais aspectos da condução veicular automatizada e conectada relacionados ao projeto de sistemas rodoviários.

É possível subdividir este texto em 3 partes principais.

A primeira parte versa sobre os aspectos associados aos motoristas, processo de condução do veículo, legislação de trânsito, segurança, tecnologias associadas aos veículos e às vias e à condução veicular automatizada (*CAD – Connected and Automated Driving*), contemplando também os fatores humanos.

Ainda na primeira parte são abordados os aspectos tecnológicos associados aos veículos e às vias.

As tecnologias associadas ao sistema viário abrangem os Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transport Systems – ITS*), os Sistemas Inteligentes de Transporte Colaborativos (*Cooperative Intelligent Transport Systems – C-ITS*), a infraestrutura digital e níveis de suporte digital ofertado pela via.

Com relação aos veículos são abordadas as terminologias associadas à condução veicular automatizada, sistemas veiculares, funcionalidades e sensores.

A segunda parte do trabalho contempla estudo de caso de duplicação de rodovia e o projeto conceitual.

No estudo de caso é analisada a possível contribuição dos novos recursos tecnológicos embarcados nos veículos para o desenvolvimento de projetos viários. Com este objetivo foi realizada análise crítica acerca do impacto das novas tecnologias nos veículos sobre um dos mais importantes parâmetros considerados no projeto da via: a distância de visibilidade.

Ainda na segunda parte, o Projeto Conceitual estabelece premissas a serem consideradas para a preparação da via para a circulação de veículos com os recursos da condução automatizada e conectada.

A terceira parte é composta pelas conclusões e recomendações.

As conclusões abrangem considerações sobre os níveis de automatização da condução veicular SAE J3016, sistemas veiculares, sensores, condução veicular automatizada e conectada, fatores humanos (incluindo motoristas idosos) e possível cenário para implantação da condução veicular automatizada e conectada.

Ao final há recomendações sobre regulamentação, infraestrutura e fabricantes de veículos e sistemas.

ABSTRACT

This work aims to compile, in a didactic and comprehensive way, the main aspects of automated and connected vehicle driving related to the design of road systems.

It is possible to subdivide this text into 3 main parts.

The first part deals with aspects associated with drivers, vehicle driving process, traffic legislation, safety, technologies associated with vehicles and roads and automated vehicle driving (CAD – Connected and Automated Driving), also contemplating human factors.

Also in the first part, the technological aspects associated with vehicles and roads are addressed.

The technologies associated with the road system include the Intelligent Transport Systems (ITS), the Collaborative Intelligent Transport Systems (C-ITS), the digital infrastructure and levels of digital support offered by the road.

With regard to vehicles, terminologies associated with automated vehicle driving, vehicle systems, functionalities and sensors are addressed.

The second part includes a case study of highway duplication and the conceptual design.

The case study analyzes the possible contribution of new technological resources embedded in vehicles for the development of road projects. With this objective in mind, a critical analysis was carried out on the impact of new technologies on vehicles on one of the most important parameters considered in the road design: the visibility distance.

Also in the second part, the Conceptual Project establishes premises to be considered for the preparation of the road for the circulation of vehicles with the resources of automated and connected driving.

The third part consists of conclusions and recommendations.

The conclusions cover considerations on the automation levels of SAE J3016 vehicular driving, vehicle systems, sensors, automated and connected

vehicular driving, human factors (including elderly drivers) and possible scenario for the implementation of automated and connected vehicular driving.

At the end there are recommendations on regulation, infrastructure and vehicle and system manufacturers.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	5
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
2	ASPECTOS ASSOCIADOS AO MOTORISTA, CONDUÇÃO DO VEÍCULO, LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO E SEGURANÇA	7
2.1	MOTORISTAS	7
2.1.1	Campo de Visão dos Motoristas	7
2.1.2	Envelhecimento da População de Motoristas	10
2.1.3	Captação das Informações e Ações	12
2.1.4	Erros Cometidos Pelos Motoristas	14
2.2	O MOTORISTA E A CONDUÇÃO DO VEÍCULO	15
2.3	LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO	18
2.4	SEGURANÇA	27
3	TECNOLOGIAS	30
3.1	VEÍCULOS	30
3.1.1	Termos e Conceitos Associados à Condução Automatizada	30
3.1.2	Níveis da Condução Veicular Automatizada	39
3.1.3	Automatização na Aviação	43
3.1.4	Condução Automatizada – Veículos e Sistema Veiculares	50
3.1.4.1	Principais Funcionalidades	52
3.1.4.2	Sensores	65
3.1.4.3	Sistemas Veiculares	71
3.2	VIAS	76

3.2.1	Sistemas Inteligentes de Transporte (<i>Intelligent Transport System – ITS</i>)	76
3.2.1.1	Arquitetura ITS para Rodovias	77
3.2.1.2	Alguns dos Principais Sistemas ITS para Rodovias	78
3.2.1.3.	Sistemas Inteligentes de Transporte Colaborativos (<i>Coooperative ITS – C-ITS</i>)	82
3.2.1.3.1	ITS e ITS Colaborativo	82
3.2.1.3.2	Conectividade como Elemento para Interação entre Infraestrutura e Veículos	84
3.2.1.3.3	ITS Colaborativo – Serviços em Potencial	86
3.2.1.3.4	Alguns dos Principais Aspectos Associados à Implantação do ITS Colaborativo	89
3.2.1.3.5	ITS Colaborativo e Condução Veicular Automatizada	92
3.3	INFRAESTRUTURA VIÁRIA	93
3.3.1	Infraestrutura Digital	95
3.3.1.1	Níveis de Suporte da Infraestrutura	98
3.3.1.2	Relação entre a Classificação Funcional das Vias e os Níveis de Suporte da Infraestrutura	101
4	CONDUÇÃO AUTOMATIZADA E CONECTADA (<i>CAD – CONNECTED AND AUTOMATED DRIVING</i>)	104
4.1	ALGUNS DOS PRINCIPAIS ASPECTOS ASSOCIADOS À IMPLANTAÇÃO DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA	104
4.2	ADAPTAÇÕES A SEREM REALIZADAS NAS VIAS TENDO EM VISTA A IMPLANTAÇÃO DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA (VIA AUTOMATIZADA)	108
4.3	ALGUNS DOS PRINCIPAIS FATORES HUMANOS ASSOCIADOS À CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA	115

5	PRINCIPAIS NORMAS ASSOCIADAS	120
6	ESTUDO DE CASO – DUPLICAÇÃO DE RODOVIA E ANÁLISE CRÍTICA – DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE	132
6.1	CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA	133
6.1.1	Situação Atual	133
6.1.2	Projeto de Duplicação	133
6.1.3	Velocidades Regulamentadas ao Longo da Rodovia	134
6.1.4	Análise do Traçado da Rodovia	136
6.1.4.1	Traçado em Planta	136
6.1.4.2	Traçado em Perfil	136
6.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRAÇADO DA RODOVIA	140
6.2.1	Intervenções Necessárias	148
6.2.2.	Consideração dos Recursos Associados à Condução Veicular Automatizada	150
6.3	DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE – ANÁLISE CRÍTICA	151
6.3.1	Distância de Visibilidade de Parada (DVP)	153
6.3.1.1	Estabelecimento de Valores Mínimos para Projeto	153
6.3.1.2	Considerações sobre a DVP sob a Ótica da Condução Veicular Automatizada	155
6.3.2	Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU)	157
6.3.2.1	Estabelecimento de Valores Mínimos para Projeto	157
6.3.2.2	Considerações sobre a DVU sob a Ótica da Condução Veicular Automatizada e Conectada	159
7	PROJETO CONCEITUAL	162
7.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	162
7.2	REFERÊNCIA PARA O PROJETO CONCEITUAL – PROGRAMA INFRAMIX	164

7.3	OFERTA DE SERVIÇOS	166
7.3.1	Serviços Básicos	166
7.3.2	Serviços Complementares	167
7.4	POSSÍVEIS CENÁRIOS DE IMPLANTAÇÃO PARA A INFRAESTRUTURA DIGITAL E C-ITS	169
7.5	ESTUDO DE CASO	169
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	173
8.1	CONCLUSÕES	173
8.2	RECOMENDAÇÕES	188
	REFERÊNCIAS	191
	ANEXO – PROJETO FUNCIONAL DE DUPLICAÇÃO DA SP 255	202

1. INTRODUÇÃO

Expressiva parcela do transporte de pessoas e de cargas é realizada por meio de veículos, utilizando-se das vias públicas urbanas, suburbanas e rodoviárias.

As obras associadas à infraestrutura viária – implantação, manutenção e ampliação, apresentam custos elevados, e constituem-se em componentes vitais para as atividades sociais e econômicas de uma cidade, de uma região ou de um país. De forma geral, as grandes obras de infraestrutura de transportes estão associadas a vetores de dinamização e de desenvolvimento da economia, com elevado nível de geração de empregos e de negócios associados.

Por outro lado, as atividades relacionadas aos transportes podem gerar acidentes com vítimas fatais, feridos e danos materiais.

De acordo com informações divulgadas pelo Observatório Nacional de Segurança Viária, em 2012 houve quase 45 mil óbitos causados por acidentes de trânsito no Brasil, que corresponde a uma taxa de 23,1 óbitos a cada 100mil habitantes. Também em 2012 houve quase 178ml feridos graves em acidentes de trânsito no Brasil o que corresponde a uma taxa de 91,5 feridos graves a cada 100mil habitantes (1).

O Relatório Estatístico DPVAT – 1º semestre de 2019 informa que, entre janeiro e junho de 2019 houve 18.841 indenizações por morte e 103.068 indenizações por invalidez permanente (2).

Nas rodovias do Estado de São Paulo, do total de acidentes com morte, 94% são ocasionados por falha humana (3).

Nos Estados Unidos 94% dos acidentes estão associados a fatores humanos e/ou falhas como excesso de velocidade, consumo de álcool, distração durante o processo de condução veicular e sonolência.

Estatísticas divulgadas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA indicam que, em 2014, os custos dos acidentes nas rodovias federais foram de quase R\$ 13 bilhões (cerca de 167 mil ocorrências). As estimativas para as rodovias estaduais e municipais somam cerca de R\$ 30 bilhões e nas

aglomerações urbanas, cerca de R\$ 13 bilhões. Todos os valores se referem ao ano de 2014 (4).

De acordo com informações da ONU – Organização das Nações Unidas, divulgadas pelo Senado do Brasil, em 2009 foram contabilizadas 1,3 milhão de mortes em acidentes de trânsito em 178 países. Cerca de 50 milhões de pessoas sobreviveram com sequelas. São perdidas cerca de 3mil vidas por dia nas vias. Os acidentes de trânsito são o primeiro responsável por mortes na faixa de 15 e 25 anos de idade, o segundo na faixa entre 5 e 14 anos de idade e o terceiro na faixa entre 30 e 44 anos de idade. Os custos dos acidentes são de cerca de US\$ 518 bilhões ao ano, representando de 1% a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) de cada país (5).

Ainda de acordo com a ONU, o Brasil é o quinto país com maior quantidade de mortes no trânsito, precedido por Índia, China, EUA e Rússia. O problema é mais grave nos países de baixa renda. A ONU estima que 90% das mortes no trânsito ocorrem nos países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil. Há que se considerar ainda que os países em desenvolvimento contam apenas com 48% da frota de veículos mundial (5).

Por outro lado, os avanços decorrentes do desenvolvimento dos veículos e das tecnologias de informação associadas deverão trazer forte impacto sobre os sistemas de transporte, com potencial para incremento das condições de segurança e também deverão contribuir tanto para a redução tanto do número de acidentes, como do seu grau de severidade.

Ao longo dos anos, a evolução tecnológica dos veículos vem ocorrendo de maneira contínua. Destacam-se as inovações associadas aos sistemas de segurança ativa, como controle da velocidade do veículo e da distância em relação ao veículo a frente (ACC – *Adaptive Cruise Control*), frenagem de emergência, controle eletrônico de estabilidade, dentre outras.

As inovações mais recentes estão associadas à condução veicular automatizada – os denominados veículos autônomos, e à conectividade entre os veículos e entre estes e a infraestrutura, envolvendo recursos associados aos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS – *Intelligent Transport System*) e ITS Colaborativo (C-ITS – *Cooperative ITS*).

Os sistemas ITS contemplam ampla gama de ferramentas para gerenciamento de redes de transporte, além de equipamentos para coleta de dados e dispositivos de monitoramento e de sensoriamento, equipamentos e sistemas para troca de informações, tendo por objetivo a melhoria das condições de segurança dos usuários – incluindo os mais vulneráveis, como pedestres e ciclistas – em ambientes com elevados volumes de tráfego e, portanto, com maior probabilidade de ocorrência de acidentes (6).

O ITS Colaborativo tem foco na integração entre sistemas por meio da troca de informações entre veículos / usuários e a infraestrutura do sistema viário ao longo do qual estão circulando (incluindo os centros de controle de tráfego), tendo por objetivo o compartilhamento dessas informações para a coordenação de ações por parte dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento do tráfego, O aspecto colaborativo é possível graças à conectividade digital entre veículos e a infraestrutura de transporte, e a expectativa é a de que proporcione aumento significativo da eficiência do fluxo de tráfego e das condições de segurança e conforto, auxiliando os motoristas a tomar decisões adequadas e a se adaptar às diferentes condições de circulação do fluxo de tráfego (7).

A combinação entre as tecnologias de automatização da condução veicular e do ITS Colaborativo dão origem ao termo condução automatizada e conectada (CAD – *Connected and Automated Driving*), na qual as eventuais limitações associadas ao sistema de posicionamento (GPS – *Global Positioning System*) e sistemas veiculares (radares, câmeras, aplicativos e outros) podem ser mitigadas pelas funcionalidades disponibilizadas pelo C-ITS, de forma a aumentar as possibilidades para que sejam alcançados os benefícios almejados em relação à segurança, conforto e à fluidez do fluxo de tráfego.

Os avanços associados à condução automatizada e conectada passam a ser ainda mais relevantes ao se considerar a necessidade de solução dos complexos problemas gerados pela massiva concentração das populações nas áreas urbanas.

Concentrações populacionais de grandes proporções impõem grandes desafios às autoridades, exigindo ações para que a locomoção de bens e pessoas possa ser efetuada através de diferentes modais de transporte em

condições adequadas em termos de rapidez, conforto e segurança, e também de forma conveniente sob os pontos de vista econômico e ambiental.

Neste contexto, as tecnologias associadas à condução automatizada e conectada podem vir a contribuir de forma significativa para o incremento da capacidade da infraestrutura viária existente e das vias em fase de planejamento ou em fase de implantação, bem como racionalizar a sua utilização.

A condução automatizada e conectada, com suas tecnologias e aplicações associadas, apresenta potencial para causar relevante impacto na sociedade em suas diversas atividades, pois envolve aspectos relacionados à conscientização dos usuários, aceitação por parte destes e da sociedade em geral, valores éticos, treinamento dos motoristas, segurança (inclusive a cibernética), políticas e regulamentações, avaliação sócio econômica e sustentabilidade, inteligência artificial, novos serviços de mobilidade, economia compartilhada, novos modelos de negócios, infraestrutura viária física e digital (incluindo conectividade), habilitações de novas tecnologias nos veículos, desenvolvimento e fatores humanos (8).

Além disso, a condução veicular automatizada e conectada é tida como tecnologicamente estratégica e com expectativa de potencial para direcionamento dos rumos futuros da mobilidade e qualidade de vida nos grandes centros urbanos, tendo como principais objetivos (8):

- **Segurança** – redução dos acidentes ocasionados pelos erros humanos;
- **Aumento da eficiência e menor agressividade ao meio ambiente** – redução dos congestionamentos por meio da maior eficiência dos sistemas de transporte e, nos meios urbanos, pelas novas soluções de mobilidade, resultando em menores congestionamentos, redução do consumo de energia – incluindo os combustíveis fósseis e redução da emissão de poluentes;
- **Conforto**: liberação dos usuários / motoristas para atividades paralelas quando os sistemas automatizados de condução veicular estiverem ativos.

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal do trabalho é o de apresentar os principais impactos ocasionados pelo fenômeno de automatização do processo da condução veicular sobre os seus elementos mais próximos, ou seja, os motoristas e o sistema viário.

Nesse sentido são abordados aspectos e conceitos associados aos motoristas e ao processo de condução dos veículos, regulamentações de trânsito, terminologias aplicadas ao processo de automatização da condução veicular e tecnologias associadas tanto aos veículos quanto ao sistema viário.

Na sequência são desenvolvidos temas relacionados à interação do processo de automatização da condução veicular com o sistema viário contemplando:

- Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), sua evolução (ITS Colaborativo ou C-ITS) e a derivação do ITS Colaborativo – a denominada Infraestrutura Digital
- A convergência entre a automatização da condução veicular, o ITS Colaborativo e a Infraestrutura Digital conduzindo ao conceito da Condução Veicular Automatizada e Conectada.

O presente trabalho contempla Estudo de Caso com análise de projeto de duplicação de rodovia e a possível contribuição dos novos recursos tecnológicos embarcados nos veículos. O Estudo de Caso inclui análise crítica sobre o impacto das novas tecnologias sobre um dos mais importantes conceitos associados à via: as distâncias de visibilidade.

Também há o Projeto Conceitual com algumas das principais premissas a serem consideradas para a preparação das vias para os veículos dotados com os recursos da condução automatizada e conectada.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além desse texto introdutório, o presente trabalho é constituído de outros 7 capítulos e do Anexo que complementa o Estudo de Caso.

É possível subdividir o trabalho em três partes.

A primeira parte é composta pelos capítulos 2 a 5 e trata dos principais aspectos associados conceituais associados ao tema da presente tese de doutorado:

- Aspectos associados Pa motorista, à condução do veículo, legislação de trânsito e segurança;
- Tecnologias associadas aos veículos e às vias;
- Condução veicular Automatizada e Conectada;
- Principais normas associadas.

A segunda parte traz a prática, com o Estudo de Caso de duplicação de rodovia analisando as possíveis contribuições dos novos recursos tecnológicos embracados nos veículos sobre os projetos viários – com ênfase em rodovias. Nesta parte também está incluído o Projeto Conceitual com as principais diretrizes a serem consideradas para preparar as vias para receber os veículos dotados com os novos recursos tenológicos associados à condução veicular automatizada e conectada,

A terceira parte – final traz as conclusões e recomendações, abrangendo considerações sobre os níveis de condução veicular automatizada, sistemas veiculares, sensores, condução veicular automatizada e conectada, fatores humanos – incluindo motoristas idosos – e possível cenário para implantação da condução veicular automatizada e conectada. Ao final há recomendações sobre regulamentação, infraestrutura, fabricantes de veículos e de sistemas veiculares.

2. ASPECTOS ASSOCIADOS AO MOTORISTA, CONDUÇÃO DO VEÍCULO, LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO E SEGURANÇA

2.1 MOTORISTAS

Nas atuais condições as considerações referentes à performance do motorista são fundamentais para o desenvolvimento de projetos e operação e monitoramento das vias (9).

Em geral, a performance dos motoristas é otimizada quando a via é projetada de forma adequada em relação às suas capacidades, limitações e expectativas, reduzindo assim a possibilidade de erros e falhas, com a possibilidade de contribuição para a redução de acidentes (9).

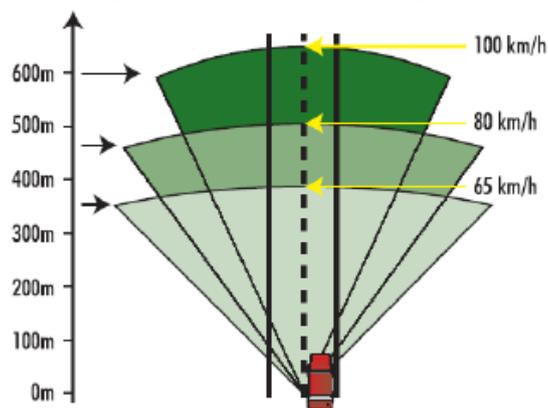
2.1.1. Campo de Visão dos Motoristas

A captação das informações por parte do motorista se dá principalmente por conta da visão, que é responsável por mais de 80% da interação dos humanos com o meio ao seu redor (9)

A boa funcionalidade da visão está associada ao campo visual do motorista, rapidez de leitura, percepção de profundidade, cores e contraste, capacidade de adaptação a diferentes níveis de luminosidade. Todos esses fatores, com exceção do campo visual, podem sofrer alterações por conta da redução da acuidade visual (9).

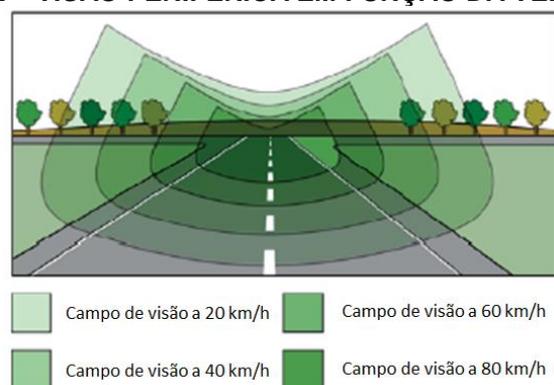
As figuras a seguir ilustram a variação do foco e da visão periférica em função da velocidade do veículo. Quanto mais elevada a velocidade do veículo, maior é a distância focal e menor é a abertura do campo de visão (10).

FIGURA 1 – VARIAÇÃO DO FOCO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE



FONTE (10)

FIGURA 2 – VISÃO PERIFÉRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE



FONTE (10)

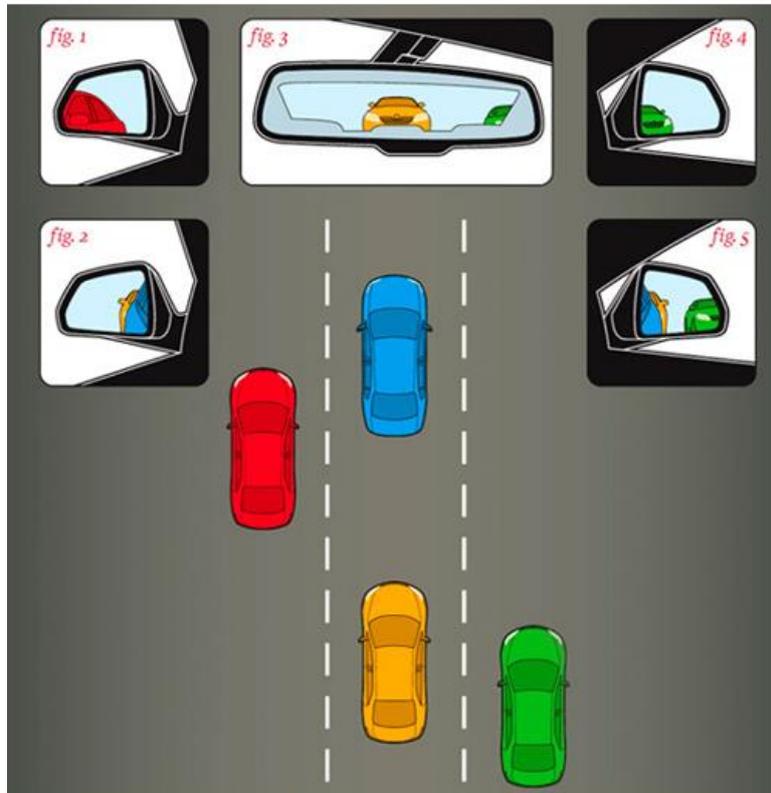
A acuidade visual é a capacidade que o olho humano tem de distinguir detalhes espaciais, ou seja, a capacidade de identificar a forma e o contorno dos objetos (9).

A utilização de lentes corretivas por parte dos motoristas pode melhorar a percepção de profundidade, mas não é capaz de restaurar de forma completa as funções visuais. A título de exemplo: indivíduos com 50% da capacidade de visão costumam apresentar metade da velocidade de leitura e dessa forma, motoristas com esse tipo de limitação devem estar mais atentos à velocidade praticada ao dirigir, de modo a evitar a ocorrência de acidentes (9).

Parte dos acidentes viários ocorrem por conta de objetos posicionados em regiões fora de alcance do campo de visão dos motoristas, regiões essas comumente denominadas de “pontos cegos” (10).

As figuras 3 e 4 ilustram a ocorrência de pontos cegos para veículos de passeio e caminhões (11).

FIGURA 3 – PONTOS “CEGOS” EM AUTOMÓVEIS



Crédito: CarAndDriver.com

Figura 1: Quando ajustado para minimizar os pontos cegos, o espelho da esquerda não mostra mais o carro azul, apenas parte do vermelho. Figura 2: Se ajustado na forma tradicional, o espelho mostra parte do carro azul e do amarelo, enquanto o carro vermelho desaparece.

Figura 3: O carro amarelo que está atrás é visto pelo retrovisor.

Figura 4: Quando ajustado para minimizar os pontos cegos, o espelho da direita mostra o carro verde assim que ele deixa de aparecer no retrovisor. Figura 5: No ajuste tradicional, o espelho da direita ainda mostra parte do carro azul e do que está sendo mostrado no retrovisor.

FONTE (11)

FIGURA 4 – PONTOS “CEGOS” EM CAMINHÕES



FONTE (11)

2.1.2 Envelhecimento da População de Motoristas

O aumento da expectativa de vida das populações se trata de um fenômeno mundial, ocasionando também o envelhecimento das populações de motoristas, pedestres e demais usuários, com a conseqüente queda de capacidades físicas associadas. Ressalta-se a necessidade de, ao longo do desenvolvimento de projetos viários, prever atendimento das necessidades de significativa parcela dos usuários (entre 95% e 99%) (9).

Como exemplo relacionado à degradação das condições físicas dos motoristas é possível citar que, a partir dos 25 anos de idade, a cada década de vida, os motoristas necessitam, em condição noturna, do dobro do brilho para captar as informações por meio da visão (9).

Algumas Limitações dos Motoristas Idosos em Relação ao Motoristas Mais Jovens

De acordo com o *Green Book* (9), os motoristas idosos apresentam dificuldades maiores do que os motoristas mais jovens em relação à operação dos veículos, como:

- Processamento mais lento das informações;
- Necessidade de tempos de reação mais longos;
- Necessidade de maior tempo para tomada de decisões ao dirigir;
- Deterioração da visão;
- Deterioração da audição;
- Redução da capacidade de avaliação de intervalos de tempo, distâncias e velocidades relativas;
- Limitação da mobilidade física;
- Efeitos colaterais associados à utilização de medicamentos.

Ainda de acordo com o *Green Book* (9), o envolvimento de motoristas idosos em acidentes é maior em situações de demanda mais elevada e que possam vir a exigir maior habilidade dos motoristas, aumentando a sua participação em ocorrências como:

- Negociação de conversão à esquerda em cruzamentos em nível sem semáforo;
- Mudança de faixa de rolamento em tráfego de alta velocidade;
- Mudança de faixa de rolamento em vias congestionadas para realização de conversão à direita;
- Passagem por cruzamentos em nível com elevados volumes de tráfego;
- Parada brusca em tráfego congestionado;
- Estacionamento do veículo.

Possíveis Medidas a Serem Consideradas no Desenvolvimento de Projetos Viários Tendo em Vista as Limitações dos Motoristas Idosos

A seguir são indicadas algumas das possíveis medidas associadas ao desenvolvimento de projetos viários que podem vir a ser adotadas com o objetivo de minimizar os impactos negativos ocasionados pelo envelhecimento da população de motoristas (9):

- Contemplar o atendimento entre os percentis de 95% e 99% dos motoristas de forma a procurar abranger os motoristas idosos;
- Ampliar as distâncias de visibilidade por meio de medidas previstas em projeto, especialmente em cruzamentos e interseções;
- Prever a disponibilidade da distância de visibilidade para tomada de decisão;

- Buscar a simplificação da concepção geométrica de cruzamentos e interseções em nível, com o objetivo de facilitar a recepção e processamento das informações;
- Considerar alternativas de solução com menos situações de conflito de movimentos veiculares;
- Ampliar a utilização de proteção para movimentos de conversão à esquerda;
- Nos cruzamentos com semáforo, prever fases com maiores tempos de duração;
- Prever maiores tempos de travessia para os pedestres;
- Com relação à manutenção deverão ser previstos cuidados especiais na conservação da sinalização com o objetivo de manter boas condições de brilho. Aumentar as dimensões das placas de sinalização.

Nas situações nas quais não seja possível disponibilizar maiores distâncias de visibilidade, devem ser estudadas medidas para o reforço da sinalização viária (9).

2.1.3 Captação das Informações e Ações

Os motoristas utilizam os seus sentidos para captar as informações. A maior parte das informações é obtida visualmente por meio da identificação do alinhamento da via e da sinalização horizontal e vertical.

Todavia, os motoristas também detectam informações por meio de seus instintos e experiências acumuladas (9).

Com relação às experiências acumuladas pelos motoristas citam-se a possibilidade de previsão de movimentos e ações dos demais veículos no fluxo de tráfego, como mudança de faixa de rolamento e as memórias de situações de

sucesso passadas e que podem vir a ser utilizadas durante o processo de condução.

Após a captação das informações, o motorista necessita de um intervalo de tempo para interpretação e tomada de decisão.

Tempo de Reação

Antes de tomar as ações com base nas informações captadas, o motorista necessita de um intervalo de tempo para interpretação e tomada de decisão.

Quanto maior a quantidade de informações a serem processadas ou maior a complexidade da decisão a ser tomada, maior o tempo de reação necessário ao motorista e, quanto mais longo o tempo de reação, menor o tempo dedicado às demais tarefas associadas à condução do veículo, menor o tempo para a execução das ações necessárias e maior a possibilidade de ocorrência de erro (9).

Além disso, o tempo de reação pode aumentar no caso de ocorrências não usuais, ou seja, não esperadas pelo motorista.

Expectativas dos Motoristas

As expectativas dos motoristas são formadas a partir de sua experiência e do seu treinamento. Situações que ocorrem de forma similar e o sucesso às respostas nessas situações são incorporadas ao conteúdo de conhecimento dos motoristas (9).

A expectativa dos motoristas está associada à probabilidade de o mesmo responder às demandas presentes de forma similar àquelas já enfrentadas com sucesso no passado. A expectativa influencia o modo como os motoristas captam e manipulam as informações e modificam a velocidade e a natureza de suas respostas (9).

Os motoristas, quando têm as suas expectativas correspondidas, em geral, adotam medidas adequadas de forma rápida. Situações inesperadas que

não vão ao encontro das expectativas dos motoristas podem ocasionar maiores tempos de resposta, respostas inadequadas ou conduzir a falhas do motorista (9).

2.1.4 Erros Cometidos pelos Motoristas

Uma característica comum em locais com elevada concentração de acidentes é que neles, em geral, há demandas superiores à capacidade de processamento e de tratamento das informações por parte dos motoristas. Essas ocorrências também costumam deteriorar as condições de operação da via (9).

Erros Ocasionados por Deficiências dos Motoristas

Muitos erros de condução cometidos pelos motoristas são ocasionados por deficiências associadas à capacitação (física e cognitiva) do motorista ou então por conta de estados temporários (como exemplo, sonolência). Ocorrências desse tipo associadas a deficiências de projeto da via e/ou situações críticas de circulação do fluxo de tráfego (como realização de obras na pista com afunilamento da seção transversal da via, por exemplo) podem prejudicar a avaliação e o julgamento dos motoristas (9).

Geralmente medidas de projeto viário não possibilitam a redução de erros cometidos pelo motorista por conta de deficiência de sua capacitação. Porém, de qualquer forma, os projetos viários devem, na medida do possível, fornecer as condições para a recuperação do erro (“perdoar” o erro cometido pelo motorista).

Erros Ocasionados por Situações Associadas à Demanda na Via

Os motoristas cometem erros de forma frequente em situações nas quais têm de realizar várias tarefas complexas sob pressão.

Esses tipos de falhas costumam ocorrer especialmente em áreas urbanas com elevada densidade de ocorrência de pontos críticos, fluxo de tráfego pesado e características complexas da via (10).

Nesse tipo de situação o motorista recebe elevada quantidade de informações a serem processadas, com a possibilidade de superar a sua capacidade levando à sobrecarga, podendo ocasionar entendimento equivocado da conduta de condução a ser adotada (9).

Por outro lado, em situações de baixo volume de tráfego, baixa densidade de acesso e traçado da via excessivamente retilíneo costumam levar o motorista ao estado de desatenção com a possibilidade de ocorrência de falhas (9).

2.2 O MOTORISTA E A CONDUÇÃO DO VEÍCULO

Para que os motoristas dirijam de forma adequada e segura, faz-se necessário que recebam as informações, tanto da via quanto do entorno, de maneira apropriada.

Os subsídios para a tomada de decisões referentes à condução durante o percurso são obtidos por meio das informações disponibilizadas e captadas ao longo do deslocamento, em tempo real.

As informações recebidas, bem como a situação de momento, são comparadas com as memórias e experiências do motorista, para que, a partir de suas avaliações, ele tome as decisões e execute as ações que considerar necessárias.

Considerando-se a trajetória de deslocamento e o desempenho operacional do veículo ao longo de uma via, as atividades da tarefa de sua condução podem ser agrupadas em 3 níveis: controle, orientação e navegação. A ordem de complexidade cresce da base da pirâmide até o topo, conforme a figura apresentada a seguir e observações descritas na sequência. Já o grau de segurança decresce da base da pirâmide para o topo (10).

FIGURA 5 – NAVEGAÇÃO, ORIENTAÇÃO E CONTROLE



FONTE (10)

- Simples direção e controle de velocidade estão no nível básico da pirâmide está a situação que corresponde ao **CONTROLE** do veículo – atividade simples, mas de extrema importância para a segurança;
- Manutenção do veículo na pista e direção correta, em conformidade com as condições da pista e do fluxo de tráfego estão no nível intermediário da pirâmide, correspondendo às funções de **ORIENTAÇÃO** – complexidade e segurança apresentam nível de dificuldade intermediário;
- O nível mais complexo, localizado no topo de pirâmide, refere-se ao planejamento da viagem e da rota – **NAVEGAÇÃO**, que apresenta pequeno impacto sobre a segurança, mas trata-se de atividade com elevado nível de complexidade. Caso o motorista tome a rota errada, não necessariamente haverá aumento da probabilidade de ocorrência de acidente.

A tarefa de condução do veículo costuma apresentar elevado grau de complexidade, com diversos requisitos a serem cumpridos, por vezes exigindo que o motorista realize inúmeras atividades simultaneamente, com processamento contínuo, preciso e adequado das tarefas e integração de variadas fontes de informações (9).

Dentre as três principais atividades relacionadas à condução (controle, orientação e navegação), o projeto de rodovias e a operação do fluxo de tráfego exercem maior influência sobre a orientação. Dessa forma o projeto deverá considerar de forma atenta a componente orientação da tarefa de condução com o objetivo de proporcionar as melhores condições possíveis para otimizar a performance dos motoristas.

Posicionamento do Veículo no Interior da Faixa de Rolamento

Decisões associadas ao posicionamento do veículo na faixa de rolamento e percurso ao longo da via, incluindo direção e definição da velocidade do veículo são fatores básicos para o processo de condução do veículo.

Ao longo do processo de condução, tomando por referência os alinhamentos horizontal e vertical, em conjunto com as restrições impostas pelas condições específicas da via e do ambiente, os motoristas analisam o seu próprio desempenho (*feedback*), que se configura em importante parâmetro para posicionamento do veículo na faixa e definição da velocidade adotada (9).

A visualização e identificação de ocorrências na pista como objetos, pedestres, realização de obras são fundamentais para esse processo.

Deslocamento Longitudinal Acompanhando o Fluxo de Tráfego

É o processo pelo qual o motorista conduz o veículo seguindo um outro que está à sua frente na corrente de tráfego. Este processo de prosseguimento é mais complexo do que o de simples percurso, pois também engloba a necessidade de controle da velocidade do veículo com o objetivo de manter distância de separação segura em relação àquele que está à sua frente (9).

Para dirigir com segurança é necessário considerar a velocidade do veículo à frente e também as velocidades dos demais veículos do entorno bem como a sua posição relativa. Nessa situação a velocidade é continuamente monitorada e ajustada pelo motorista de forma a manter distâncias seguras de separação em relação aos demais veículos (9).

Manobras de Ultrapassagem

Esse tipo de manobra é o mais complexo de todos, pois o motorista necessita avaliar a velocidade e o potencial de aceleração de seu próprio veículo, a velocidade do veículo à sua frente, a velocidade e a taxa de aproximação do veículo que se aproxima em sentido oposto e a identificação de brecha adequada no fluxo de tráfego que se aproxima em sentido oposto para a realização da manobra (oportunidade de realização da manobra) (9).

Além disso, o motorista deve ainda respeitar os limites legais de velocidade e a sinalização que delimita os trechos da via com manobra de ultrapassagem permitida.

Outras Tarefas Relacionadas à Condução do Veículo

Outras atividades de condução abrangem entrelaçamento de fluxos de tráfego, mudança de faixa, atenção aos pedestres, ciclistas e motociclistas, percepção e reação em relação aos dispositivos de controle de tráfego, envolvendo decisões, julgamentos e estimativas de elevada complexidade (9).

2.3 LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO

As atuais regras de trânsito de vários países têm como base as diretrizes estipuladas na Convenção de Viena sobre o Tráfego Viário, realizada em 1968 pela Organização das Nações Unidas (ONU), as quais têm por objetivo organizar a circulação nas vias e estabelecer regras de tráfego uniformes (12).

Destaca-se o artigo 8º – Condutores, do Capítulo II – Regras aplicáveis ao Trânsito Viário, que especifica que:

- todo veículo em movimento ou todo o conjunto de veículos em movimento deverá ter um condutor;
- que todo condutor deverá possuir as qualidades físicas e psíquicas necessárias para dirigir e estar de posse de estado físico e mental adequados para dirigir;

- que todo condutor deverá ter, a todo momento, domínio do seu veículo.

A Organização das Nações Unidas conta com um fórum específico para a uniformização das regras para a circulação de veículos, tendo em vista a compatibilização global das regulações, com o objetivo de trazer benefícios para a segurança viária, proteção ao meio ambiente e também para o comércio (13).

Considerando o contexto das inovações associadas à automatização da condução veicular e da condução veicular automatizada e conectada, há propostas em estudo na comissão de tráfego viário da ONU para a revisão das regulamentações em vigor (14).

Atualmente existe o consenso de que os testes em vias públicas associados à condução veicular automatizada são permitidos pelas regulamentações de tráfego em vigor, desde que haja um motorista no interior do veículo, em conformidade com as condições estabelecidas no Artigo 8º da Convenção de Viena (15).

Com o desenvolvimento da tecnologia de automatização da condução veicular, torna-se premente a necessidade de adaptação e modernização das regulamentações de trânsito, de forma a permitir a circulação de veículos automatizados em vias públicas, pelo menos de forma preliminar, de modo a ofertar o necessário suporte para a realização de testes de campo.

Ainda neste contexto, a questão da regulamentação e da adequação da legislação para a circulação desses veículos se torna fundamental para que seja possível oferecer as condições mínimas necessárias para a realização de testes em campo para o desenvolvimento das tecnologias associadas, tanto para o uso doméstico, quanto para exportação de veículos com esses novos recursos (16).

Para as regiões autônomas e países de dimensões não continentais, especialmente para os países europeus, é de fundamental importância a compatibilização da regulamentação entre as diversas fronteiras nacionais, de forma a buscar a garantia da compatibilização de tecnologias e de regulamentações de trânsito para a circulação dos veículos automatizados (16).

A seguir são apresentados alguns dos principais aspectos relacionados à regulamentação da circulação dos veículos em alguns países.

Brasil

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) – Lei nº 9503 de 23/09/1997 regulamenta o trânsito de qualquer natureza nas vias terrestres do Brasil abertas à circulação (17).

O Capítulo III do CTB (“DAS NORMAS DE CIRCULAÇÃO E CONDUTA”) – em seu artigo 28º, estabelece que “O condutor deverá a todo momento ter domínio do seu veículo, dirigindo-o com atenção e cuidados indispensáveis à segurança do trânsito”.

A Resolução nº 717 CONTRAN (18), publicada no dia 08/12/2017 no Diário Oficial da União – Edição 235 – Seção 1 – Ministério das Cidades / Conselho Nacional de Trânsito (13) estabelece cronograma de estudos técnicos e proposta para regulamentação de novos itens associados aos veículos e à sua segurança. Os prazos serão contados 30 dias após a publicação da resolução, sendo permitida a sua antecipação. A resolução entrou em vigor na data de sua publicação (08/12/2017).

As principais implementações previstas na Resolução nº 717 CONTRAN são (18):

- Sistema de frenagem automática de emergência – tem por finalidade auxiliar o condutor a executar a frenagem com intensidade adequada, podendo atuar de forma autônoma em alguns casos com o objetivo de minimizar danos em uma possível colisão – prazo: 18 meses
- Indicação de frenagem de emergência – Emissão de alerta, por meio de sinais luminosos e/ou sonoros, de que o veículo está perigosamente próximo a outro que trafega à frente e que apresenta velocidade reduzida – prazo: 6 meses
- Dispositivo limitador de velocidade (para caminhões, micro-ônibus e ônibus) – prazo: 6 meses
- Sistema de visibilidade traseira – prazo: 6 meses

- Alerta de evasão da faixa de rolamento – emissão de sinal visual e/ou sonoro – prazo: 18 meses
- Gravador de acidentes de trânsito – espécie de caixa preta similar à utilizada em aviões tendo em vista a obtenção de subsídios para investigação de causas de acidentes– prazo: 18 meses
- Veículos elétricos: 6 meses
- Veículos autônomos: 48 meses

Os prazos indicados referem-se à conclusão dos estudos para a devida regulamentação. Após a publicação da regulamentação será estipulado um novo prazo para a obrigatória inclusão dos equipamentos nos veículos produzidos em território nacional.

A regulamentação prevê ainda a possibilidade de antecipação dos prazos estabelecidos, em função do desenvolvimento dos estudos. Porém nos casos em que eventualmente os estudos técnicos comprovarem a inviabilidade de determinado (s) item (ns), este (s) será (ão) submetido (s) à deliberação do CONTRAN.

China

A legislação de tráfego de veículos na China é regulamentada pelo Decreto Presidencial nº 8 de 28/10/2003, vigente desde 01/05/2004 (19).

Neste decreto, a seção 2 estabelece que o motorista deve possuir a licença expedida pelo Departamento de Segurança Pública para dirigir e ser aprovado nos exames para obtenção da licença para dirigir um veículo automotor.

Este país estabeleceu as regras administrativas para os testes de veículos conectados e automatizados – *Administrative Rules on Intelligent and Connected Vehicle Road Testing – “National Rules”* (20).

O documento se trata de publicação conjunta do Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação, Ministério da Segurança Pública e Ministério dos

Transportes e foi publicado com o objetivo de fornecer diretrizes para os testes de campo para veículos automatizados e conectados realizados em Pequim, Shanghai e Chongqing.

São definidos como reguladores os ministérios citados (Indústria e Tecnologia da Informação, Segurança Pública e Transportes), que têm a responsabilidade de consolidar de forma regular os dados sobre os testes de campo realizados, inclusive com informações sobre eventuais acidentes ocorridos.

Os candidatos a realização de testes devem ser entidades associadas a atividades à condução veicular automatizadas.

As regulamentações determinam que os responsáveis pela realização dos testes devem ter a capacidade financeira para arcar por danos pessoais e materiais ocorridos durante a realização dos testes. Estes também devem contar com um programa de avaliação e monitoramento remoto com a capacidade de armazenar, analisar e reproduzir os incidentes ocorridos durante os testes

Além da licença para a circulação dos veículos automatizados, o motorista deve portar licença para dirigir com experiência mínima de 3 anos e livre de ocorrências desabonadoras, além de ter bom conhecimento técnico do programa de automatização veicular e das metodologias de operação.

Os testes deverão contemplar veículos de passeio e comerciais excluindo veículos de baixa velocidade e motocicletas e os veículos empregados nos testes devem permitir a troca do modo de condução entre o automatizado e o convencional, em caso de mau funcionamento ou de emergência, permitindo que o motorista assuma efetivamente o controle do veículo.

Os veículos, também devem ter recursos para registrar as informações de forma automática, em especial 90 segundos antes da ocorrência de acidente ou de mau funcionamento. Os órgãos reguladores estabelecem que essas informações deverão ser armazenadas por, no mínimo, 3 anos.

Os órgãos reguladores estipulam ainda que as autoridades locais serão as responsáveis pela definição das vias aonde serão realizados os testes, e que disponibilizem as informações obtidas ao público.

Para a realização dos testes, os interessados deverão fornecer às autoridades de trânsito locais os recursos materiais necessários para as atividades de suporte. Os interessados também deverão comprovar o pagamento de apólices de seguro com o valor mínimo estabelecido pelos órgãos reguladores.

As regras para realização de testes de veículos automatizados preveem que as funcionalidades dos veículos automatizados devem ser testadas e analisadas por institutos de testes reconhecidos pelas autoridades reguladoras.

A autorização para realização dos testes é temporária, com duração máxima de 18 meses

Os veículos de teste contarão com uma placa de identificação, que deverá ser devolvida às autoridades reguladoras quando da finalização dos experimentos.

Os testes deverão ser realizados de forma controlada, nas vias designadas pelos órgãos reguladores, no período de tempo autorizado e nos termos especificados. Não poderão ser utilizados veículos de teste sem a licença / placa provisória, sendo necessária a presença de um motorista posicionado no assento específico, monitorando o veículo de teste e o seu entorno durante todo o tempo, e em condições de retomar o controle do veículo ao notar essa necessidade.

Os motoristas e os responsáveis pelos testes podem ser responsabilizados por quaisquer violações das regras de trânsito e por quaisquer acidentes e danos causados. No caso de acidente com danos pessoais graves, morte ou danos ao veículo, o responsável pela realização dos testes deverá apresentar um relatório à autoridade local em prazo de 24 horas e a autoridade locação deverá encaminhar à autoridade reguladora um relatório após 3 dias úteis.

As regras para realização dos testes incluem veículos automatizados entre os níveis 3 e 5 (SAE J3016). O motorista deverá realizar o monitoramento para todos os níveis de automatização da condução veicular, inclusive o nível 5 (SAE J3016).

Alemanha

As regras de circulação do tráfego de veículos neste país estão contidas na Regulamentação Alemã para o Tráfego Viário (*German Road Traffic Regulations*) – “*Road Traffic Act*” promulgada em 5 de março de 2003 (21).

Essas regras foram adaptadas em junho de 2017, por meio de lei federal – “*Eight Act amending the German Road Traffic Act*”, com o objetivo de permitir a circulação de veículos dotados com recursos / sistemas de condução automatizada nível 3 (SAE J3016) ou superior em vias públicas com as seguintes condições (22):

- O sistema de condução automatizada deve ter a capacidade de controlar a trajetória longitudinal e transversal do veículo, de forma a desempenhar a tarefa de condução, sempre que ativado de forma intencional;
- Deve ter condição de operar em conformidade com as regras de trânsito de maior relevância;
- Deve haver a possibilidade de desativação do sistema automatizado de condução por parte do motorista sempre que houver essa necessidade;
- O sistema automatizado deve ter a condição de indicar ao motorista a necessidade de que este assuma o controle do veículo, com tempo de antecedência adequado;
- O motorista, enquanto o controle do veículo estiver sob o controle do sistema automatizado de condução, pode desviar a sua atenção do seu próprio veículo e dos demais na corrente de tráfego, mas deve se manter em estado de alerta;
- O motorista é obrigado a retomar o controle do veículo imediatamente em caso de necessidade, sem demora injustificada.

A legislação prevê ainda a obrigatoriedade de uma espécie de caixa preta no interior do veículo, responsável pelo registro das informações em caso

de ocorrência de acidente, de modo a explicitar se o acidente ocorreu por falha do motorista ou do próprio sistema de condução automatizada / veículo. Essa previsão não altera a responsabilidade do motorista / proprietário do veículo em relação ao acidente prevista na legislação alemã, ainda que o veículo estivesse sob operação do sistema automatizado, mas seria possível ao motorista demonstrar que ele não tivesse negligenciado as suas obrigações (23).

Reino Unido

A legislação de trânsito no Reino Unido é definida pelo *Highway Code*, que contém as regras aplicáveis para motoristas, motociclistas, pedestres, ciclistas e, também, cavaleiros. O *Highway Code* também conta com anexos sobre manutenção dos veículos, documentação, penalidades e segurança veicular e se aplica para Inglaterra, Escócia e País de Gales (24).

O Reino Unido também conta com uma regulamentação específica para a realização de testes com veículos automatizados: “*Code of Practice: Automated vehicle trialling*”, que tem por objetivo atender às necessidades de teste e avaliação desses veículos, sendo que o governo britânico acredita que as novas tecnologias associadas têm potencial para a criação de novas oportunidades na indústria (25).

As entidades responsáveis pela realização de testes, deverão, além de respeitar a legislação de trânsito atender às seguintes condições:

- O veículo deverá contar com um motorista ou operador, que poderá estar dentro ou fora do veículo, em estado de alerta, capacitado e preparado a assumir o controle do veículo, caso necessário;
- Veículo em condições de uso;
- Apólice de seguro com cobertura em vigor.

Na etapa de planejamento dos testes, os responsáveis deverão entrar em contato com as autoridades responsáveis pelo trânsito de forma a estabelecer plano de ação e registrar as informações obtidas.

Holanda

O governo holandês aprovou regulamentação para realização de testes com veículos automatizados. O Ministério da Infraestrutura considera que oferece oportunidades aos fabricantes de automóveis maiores oportunidades para testar os veículos automatizados (26).

A legislação permite a realização de testes desde julho de 2015, com a condição de presença de um motorista no interior do veículo, que possa tomar o controle em caso de necessidade. Os fabricantes necessitam de autorização da Agência de Transporte Viário para a realização dos testes.

A Agência, em conjunto com o Instituto de Pesquisa de Segurança Viária, as autoridades competentes e a polícia definem aonde e em quais condições os veículos automatizados poderão ser testados.

Estados Unidos

Nos Estados Unidos a legislação de trânsito é regida por cada um dos estados da federação, que são responsáveis pelo licenciamento e registro dos veículos, leis e fiscalização de trânsito e regulamentação das apólices de seguro para os veículos e responsabilidade civil (27).

Dessa forma, com relação aos veículos automatizados, o governo federal fica responsável pela orientação dos estados com relação às melhores práticas para seu desenvolvimento e implementação (28).

Neste contexto foi publicada a diretriz para a política em relação aos veículos automatizados em sua 3ª versão – “*Preparing for the Future of Transportation*”, com o objetivo principal de remover obstáculos e no desenvolvimento voluntário por parte dos principais agentes envolvidos de regulamentações, permitindo oportunidades para testes e implementação das novas tecnologias em desenvolvimento (29).

O primeiro estado a autorizar a circulação dos veículos automatizados foi Nevada, em 2011. Desde então, outros 21 estados e mais o distrito federal

(Columbia) regulamentaram legislação de trânsito para permitir a realização de testes com veículos automatizados em vias públicas (30).

2.4 SEGURANÇA

A segurança viária está associada ao estudo da ocorrência de acidentes nas vias de transporte e contemplam um conjunto de fatores subdivididos em três grupos principais: fatores humanos, associados ao veículo e relacionados ao ambiente (via e entorno) (31).

- Fatores humanos: falhas humanas ao dirigir, excesso de velocidade, embriaguez, dentre outros;
- Fatores associados aos veículos: defeitos de fabricação, manutenção inadequada, causas imprevisíveis (estouro de pneu, por exemplo);
- Ambiente (via e entorno): condições atmosféricas desfavoráveis (chuva forte, granizo, neve, nevoeiro); características associadas à via, como: geometria, iluminação, sinalização, conservação, dentre outras.

Os dados de acidentes apontam que o fator humano corresponde a cerca de 90% das ocorrências, sendo que a gestão do trânsito também pode ser incluída neste grupo.

Dessa forma, a estratégia de atuação para tratamento de pontos críticos em termos de ocorrência de acidentes deve ser multidisciplinar, envolvendo Engenharia, Educação e Esforço Legal (os “3 E s”), sendo a Engenharia o fator mais diretamente relacionado à infraestrutura viária.

O Plano Global para a Década de Segurança Viária 2011-2020 das Nações Unidas, cujo o objetivo inicial é estabilizar e posteriormente reduzir as previsões de acidentes por meio de políticas locais, regionais e globais (32), fundamenta-se em cinco pilares:

- Gerenciamento da segurança Viária;

- Vias mais seguras e mobilidade;
- Veículos mais seguros;
- Melhoria do comportamento dos motoristas, por meio da adoção de condutas mais seguras;
- Melhoria do atendimento após ocorrência de acidentes.

Segurança Viária

No âmbito da segurança viária destaca-se a necessidade de prever a ocorrência de acidentes e tomar medidas de gestão para evitar ou então minimizar a probabilidade de sua ocorrência.

Com relação à via destacam-se as medidas associadas à sinalização e aos dispositivos de segurança / contenção – incluindo-se aí o conceito das rodovias que “perdoam”, que têm por objetivo minimizar a severidade dos acidentes, permitindo que os veículos desgovernados sejam contidos por dispositivos ao longo das laterais da via que os redirecionem à sua trajetória ou então que façam com que a sua energia cinética se dissipe de forma adequada e que sejam dirigidos a uma área segura, como, por exemplo, uma área de escape (33).

Ao longo do presente trabalho serão abordados aspectos associados aos Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transport System* – ITS) e aos Sistema Inteligentes de Transporte Colaborativos (C-ITS – *Cooperative ITS*), também associados à infraestrutura.

Segurança Veicular

Neste quesito destaca-se o Euro NCAP (*European New Car Assessment Program*), responsável pela avaliação da segurança dos automóveis neste continente, responsável pela realização de testes de segurança passiva e ativa em automóveis e pela publicação dos resultados obtidos (34).

A pontuação máxima corresponde a 5 estrelas e considera fatores associados à segurança passiva e à segurança ativa.

A tendência é que a avaliação dos sistemas de segurança ativa passe a ter peso relativo cada vez maior na pontuação obtida pelo veículo, procurando acompanhar a intensa e recente evolução tecnológica dos veículos.

A segurança passiva considera a proteção aos ocupantes do veículo em relação a impactos frontais e laterais. O teste padrão para impacto frontal considera choque contra uma barreira rígida à velocidade de 50 km/h. O impacto lateral com um objeto fixo (defensa metálica, por exemplo) também considera que o veículo tenha velocidade de 50km/h. No caso da colisão transversal, considera-se que o veículo que se desloca nessa direção tenha velocidade de 29km/h.

Os sistemas de segurança ativa oferecem suporte ao motorista, como controle de distância em relação ao veículo da frente (*ACC – Adaptive Cruise Control*), manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento (*LKA – Lane Keep Assistance*), frenagem autônoma de emergência (*Autonomous Emergency Breaking*) e controle eletrônico de estabilidade (*ESP – Electronic Stability Program*). Alguns veículos em comercialização já oferecem esses sistemas

3. TECNOLOGIAS

3.1 VEÍCULOS

3.1.1 Termos e Conceitos Associados à Condução Automatizada

Os principais termos e conceitos são definidos na norma SAE J3016 – *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On Road Motor Vehicles (Surface Vehicle Recommended Practice – SAE J3016. A SAE (Society of Automotive Engineers) é a Associação Internacional dos Engenheiros Automotivos.*

A norma SAE J3016 define os vários níveis de automatização da condução veicular e nomenclatura com os seguintes objetivos (35):

- Esclarecer o envolvimento e o papel do motorista no processo de condução autônoma;
- Responder a questões de escopo para o desenvolvimento de leis, políticas, regulações e normas;
- Fornecer estrutura adequada para as especificações referentes aos sistemas de condução autônoma e especificações técnicas;
- Promover clareza e solidez para as comunicações referentes à condução autônoma, bem como abreviações adequadas para poupar tempo e esforços.

Os níveis de automatização da condução veicular são definidos de acordo com o grau de participação dos agentes (usuário / sistema automatizado de condução veicular / outros sistemas e componentes veiculares).

Os sistemas de segurança ativa (como sistema eletrônico de estabilidade, controle e frenagem de emergência, manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento) não são contemplados pela SAE J3016, já que não atuam de forma contínua ao longo do percurso do veículo e não afetam o desempenho / performance esperado por parte dos motoristas.

Já o sistema automatizado de condução veicular (desde que tenha sido ativado) tem ação contínua ao longo da trajetória do veículo, e tem como premissa a realização de parte – ou então até da totalidade – das atividades do processo de direção do automóvel, incluindo as ocorrências de eventos externos e os períodos entre essas ocorrências.

Os eventos externos constituem-se em situações nas quais o ambiente de condução demanda uma ação por parte do motorista ou então do sistema de condução automatizada – presença de outros veículos nas proximidades, sinalização demarcatória das faixas de rolamento, semáforos).

Observação: os sistemas de segurança ativa podem estar incluídos nos veículos equipados com recursos de condução automatizada em qualquer nível.

A seguir são apresentadas as definições de alguns dos principais termos associados à condução veicular automatizada, conforme a norma SAE J3016 (35).

Sistemas de Segurança Ativa

Os sistemas de segurança captam e monitoram as condições dentro e fora do veículo com o objetivo de identificar situações reais e potenciais de perigo ao veículo, aos seus ocupantes e / ou a outros usuários da via.

Esses sistemas apresentam a capacidade de intervir de forma automática com o objetivo de evitar ou, se não for possível, minimizar potenciais colisões por meio de determinadas ações, como emissão de alertas ao motorista, aplicação de ajustes aos sistemas veiculares e / ou controle ativo de subsistemas veiculares (freios, aceleração, suspensão, outros).

De acordo com a definição da SAE, os sistemas de segurança ativa priorizam a segurança em detrimento ao conforto, conveniência e suporte em geral ao motorista.

Os sistemas de segurança ativa podem emitir alertas ou então intervir situações de risco iminente.

Sistema Automatizado de Condução (ADS – Automated Driving System)

É composto por *hardware* e *software* que, combinados, apresentam a capacidade de desempenhar a tarefa dinâmica de condução (DDT – *Driving Dynamic Task*) de forma contínua, independentemente de haver limitações resultantes das condições de um determinado domínio operacional de projeto (ODD – *Operational Design Domain*). O termo ADS é empregado de forma específica para descrever sistemas de condução automatizada associados aos níveis 3, 4 e 5.

Veículo ADS Dedicado

Trata-se de um veículo concebido para ser operado exclusivamente nos níveis 4 e 5 do sistema de condução automatizada, considerando as limitações de domínio operacional de projeto específicas para esses níveis, se houver.

Veículo Convencional

Veículo desenvolvido para ser conduzido pelo motorista, durante parte ou ao longo de todo o deslocamento.

Automatização da Condução Veicular (*Driving Automation*)

A tarefa dinâmica de condução (DDT) é realizada continuamente por meio de hardware e software (que combinados compõem o sistema de condução automatizada – ADS).

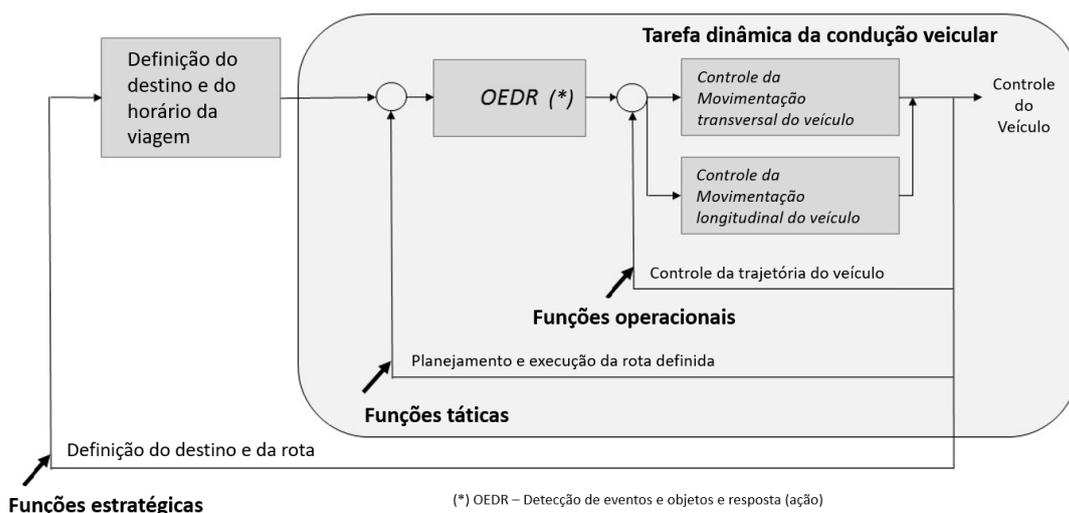
A tarefa de condução dinâmica pode ser desempenhada pelo sistema automatizado de condução (ADS) de forma parcial ou total.

Tarefas Dinâmicas da Condução (Dynamic Driving Task)

Constitui-se no conjunto de todas as tarefas necessárias à condução veicular em fluxo de tráfego e em tempo real. Não contempla funções estratégicas como planejamento da viagem / deslocamento, escolha de destinos e roteiros. Abrange, mas não se limita a:

- Movimentação lateral do veículo via volante (operacional);
- Movimentação longitudinal do veículo – aceleração e desaceleração (operacional);
- Monitoramento do ambiente de direção via objetos e detecção de eventos, reconhecimento, classificação e ação (operacional e tática);
- Ação quando da detecção de objetos e eventos (operacional e tática)
- Planejamento de manobra (tática);
- Aumento da visibilidade / clareza por meio de iluminação, sinalização, gestos etc (tática).

FIGURA 6– TAREFAS DINÂMICAS DA CONDUÇÃO VEICULAR



FONTE (35)

Ambiente de Domínio Operacional (ODD – *Operational Design Domain*)

O Ambiente de Domínio Operacional está associado às limitações do sistema de condução veicular automatizada para cada nível de automatização da condução veicular (36).

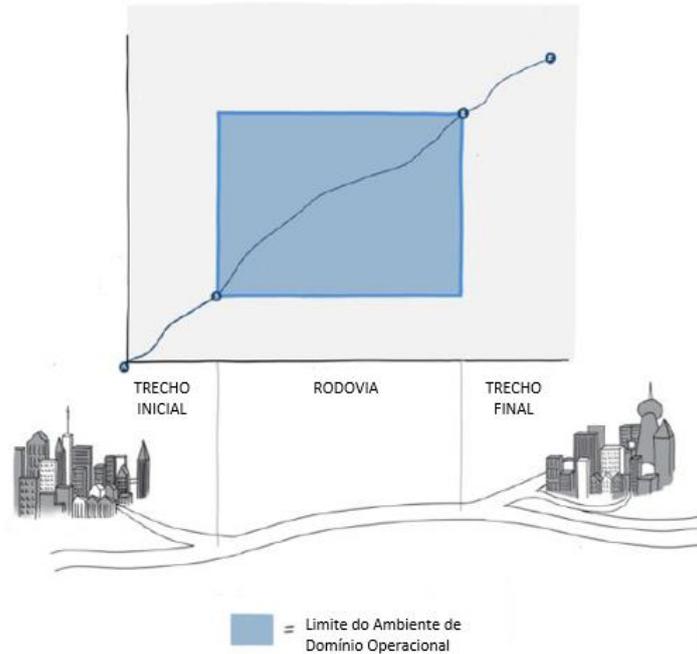
Entre os níveis de condução automatizada de 1 a 4 há restrições associadas ao Ambiente de Domínio Operacional, sempre com a necessidade da presença do motorista.

As restrições não se limitam às tecnologias associadas ao sistema automatizado de condução veicular, mas também a fatores externos como infraestrutura viária física e digital, condições atmosféricas e do fluxo de tráfego, por exemplo.

A Figura 7 apresenta exemplo de limite de Ambiente de Domínio Operacional (ODD), com os trechos inicial e final não contemplados e com o ODD delimitado pelo trecho de rodovia.

No trecho inicial o motorista conduz o veículo. Ao alcançar a rodovia, e o Ambiente de Domínio Operacional, o motorista passa o controle ao sistema automatizado da condução e pode se dedicar a outras atividades. Ao final do segmento de rodovia e do Ambiente de Domínio Operacional, o motorista retoma o controle do veículo.

FIGURA 7 – EXEMPLO DE AMBIENTE DE DOMÍNIO OPERACIONAL (ODD)

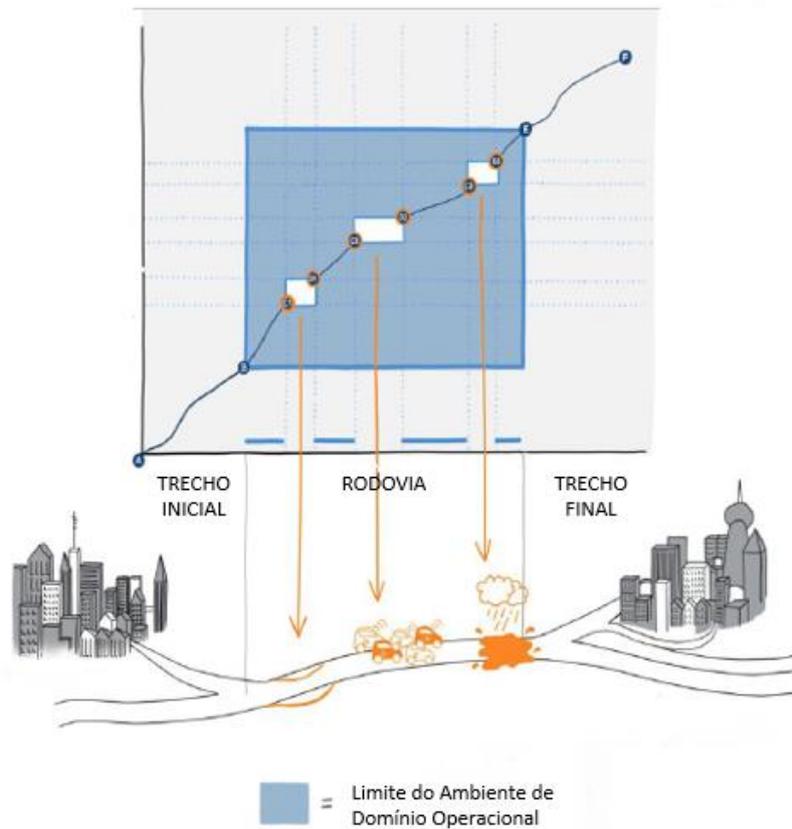


FONTE (36)

Ocorrências ao longo da rodovia (alteração do Ambiente de Domínio Operacional) podem requerer a intervenção do motorista como indicado na Figura 8. Após a normalização da situação, o motorista retoma o controle do veículo.

Ao longo do segmento inicialmente definido como homogêneo – do ponto de vista do Ambiente de Domínio Operacional – podem ocorrer interrupções e eventos que demandem a intervenção do motorista.

FIGURA 8 – EXEMPLO DE ALTERAÇÃO DO AMBIENTE DE DOMÍNIO OPERACIONAL (ODD)



FONTE (36)

Identificação e Resposta a Ocorrências (OEDR – *Object and Event Detection and Response*)

Contempla as subatividades da tarefa dinâmica de condução relacionadas ao monitoramento do ambiente de direção / condução – detecção, reconhecimento e classificação de objetos e eventos / ocorrências e resposta a esses tipos de objetos e eventos.

Retomada do Controle do Veículo por parte do Motorista (DDT *Fallback*)

Nesta situação, o sistema automatizado de condução requer que o motorista retome o controle do veículo para:

- Desempenhar a tarefa dinâmica de condução veicular;

- Conduzir o veículo por determinado período de tempo até que o mesmo seja atinja para uma situação de risco mínimo.

A requisição para intervenção por parte do motorista pode vir a ocorrer por:

- Falha relevante do sistema automatizado que prejudique o processo de condução;
- Alteração das condições do ambiente de domínio operacional (ODD);
- Necessidade de guiar o veículo até que ocorra a estabilização (situação de risco mínimo).

Falha relevante do Sistema de Condução Automatizada

Constitui-se em mau funcionamento do sistema de condução automatizado e / ou de outro subsistema veicular que possa (m) vir a impedir que o sistema automatizado de condução apresente desempenho adequado e contínuo do processo sob sua responsabilidade.

Exemplo para o caso de Nível 1 (quando o sistema automatizado é responsável pelo controle lateral do veículo): ocorrência de falha em uma das câmeras pode vir a comprometer a confiabilidade na identificação das linhas demarcatórias das faixas de rolamento. O sistema então emite um alerta de mau funcionamento e a funcionalidade é desativada de automaticamente, fazendo com que a responsabilidade pela execução dessa tarefa seja assumida pelo motorista.

Solicitação de Intervenção do Motorista

Neste caso o sistema automatizado emite alerta para que o motorista assuma o controle do veículo.

Situação de Risco Mínimo

Em caso de falha relevante ou de quebra das premissas do ambiente de domínio operacional, faz-se necessária a intervenção do motorista para conduzir o veículo até um local seguro, tendo em vista a minimização da possibilidade de ocorrência de incidente / acidente.

Monitoramento

O monitoramento refere-se a um conjunto de funções realizadas em tempo real para detecção e processamento das informações necessárias para operar o veículo, ou então para dar apoio à sua operação.

As atividades de monitoramento podem ser desenvolvidas pelo motorista ou pelo sistema automatizado.

A receptividade do usuário não pode ser confundida com o monitoramento. No caso da receptividade, o motorista recebe uma notificação para que possa entrar em ação. No caso de uma funcionalidade do nível 1, por exemplo, como o ACC, espera-se que o motorista realize o monitoramento tanto do funcionamento do ACC quanto do ambiente de condução e não que aguarde por uma notificação do sistema.

Os tipos de monitoramento previsão são:

- Monitoramento do Motorista: atividades e/ou rotinas automatizadas desenvolvidas com o objetivo de verificar se, e em que grau, o motorista está desempenhando suas funções de maneira adequada.

No contexto da automatização da condução veicular, o monitoramento do motorista tem por objetivo verificar se há, e em qual grau, mau uso ou abuso (incluindo o excesso de confiança por conta da complacência do motorista) dos recursos do sistema de automatização da condução veicular.

O monitoramento do motorista é empregado com maior frequência para os níveis 2 e 3, visto que há evidências de que no nível 1 não foi verificada incidência significativa de mau uso ou abuso da tecnologia de automatização da condução veicular e que, para os níveis 4 e 5, o próprio sistema automatizado tem a capacidade para conduzir o veículo à situação de risco mínimo;

- Monitoramento do ambiente de condução: atividades ou rotinas automatizadas destinadas a acompanhar, em tempo real, detecção de ambientes e objetos no ambiente da via, reconhecimento, classificação e resposta / ação, de acordo com as necessidades para a operação do veículo;
- Monitoramento da performance do veículo – tem por objetivo detectar a ocorrência de falha relevante para a realização da tarefa dinâmica de condução (DDT *Fallback*) e tomar as providências necessárias para a operação do veículo nesse tipo de situação. Para os níveis 4 e 5 o próprio sistema monitora a performance do veículo. Para os demais níveis a expectativa é a de que o motorista esteja receptivo para detectar condições adversas que possam afetar a performance do veículo;
- Monitoramento da performance do sistema de condução veicular automatizada: atividades ou rotinas automatizadas destinadas a avaliar se o sistema automatizado de condução veicular está realizando de forma adequada a totalidade ou então parte da tarefa dinâmica de condução (DDT). Para os níveis 1 e 2 o monitoramento é realizado pelo próprio motorista. Para os demais níveis, o monitoramento é realizado pelo sistema automatizado de condução veicular.

3.1.2 Níveis da Condução Veicular Automatizada

A norma SAE J3016 define seis níveis discretos e mutuamente exclusivos para a condução veicular automatizada (36).

Os principais elementos empregados para a classificação são a participação do motorista e do sistema de condução veicular automatizada na condução do automóvel, considerando a funcionalidade do sistema e a alocação de responsabilidades para a tarefa de condução e para a retomada do controle por parte do motorista.

Nível 0 – Sem Condução Automatizada

Todo o processo de condução veicular é de responsabilidade do motorista, ainda que o veículo disponha de sistemas de segurança ativa, como, por exemplo, ACC, LKA, ESP e frenagem de emergência.

Nível 1 – Assistência ao Motorista

O sistema de condução automatizada realiza de forma contínua, em um determinado ambiente de domínio operacional (ODD), o controle lateral ou longitudinal da trajetória do veículo (não ambos simultaneamente).

Neste nível o sistema de condução veicular automatizada apresenta limitações com relação à detecção de objetos e eventos (OEDR). Dessa forma é necessária a participação ativa do motorista, em complemento a capacidade do sistema automatizado

Nível 2 – Condução Automatizada Parcial

O sistema de condução veicular automatizada controla a trajetória longitudinal e transversal do veículo de forma contínua, sob determinadas condições de ambiente de domínio (ODD).

O motorista deve estar alerta e complementar as atividades de condução – especialmente detecção, reconhecimento e classificação de objetos e eventos, bem como a ação adequada a tais ocorrências.

Nível 3 – Condução Automatizada Condicional

No nível 3, o sistema de condução veicular automatizada realiza de forma contínua as atividades, sob as condições específicas do ambiente de domínio operacional (ODD), com a premissa de que o motorista esteja alerta e pronto para assumir o controle do veículo em caso de necessidade.

Neste nível o sistema automatizado tem a capacidade de realizar Identificação e Resposta a Ocorrências (OEDR – *Object and Event Detection and Response*) e não há necessidade de que o motorista supervisione o sistema de forma contínua ao longo do processo, desde que o mesmo esteja ativado e em operação de acordo com as condições do ambiente de domínio operacional. Ainda assim, o motorista deverá estar em estado de alerta para assumir o controle do veículo em caso de necessidade. Nessa situação, o sistema deverá notificar o usuário com antecedência adequada para que este tome o controle do veículo com segurança.

Um dos exemplos do nível 3 é a condução do veículo em situação de congestionamento – “anda e para”.

Nível 4 – Condução Automatizada Elevada

Neste nível a condução do veículo é realizada de forma integral pelo sistema automatizado, sempre dentro das condições estabelecidas no ambiente de domínio operacional.

Não há necessidade de contar com o motorista em estado de prontidão para assumir o controle do veículo, pois o sistema tem capacidade de atuar em caso de falha relevante (DDT *Fallback*) e conduzir o veículo para uma situação de risco mínimo.

A operação no nível 4 pode ocorrer para deslocamentos completos ou então para determinados segmentos para os quais sejam satisfeitos os requisitos associados ao ambiente de domínio operacional.

Nível 5 – Condução Automatizada Plena

A diferença em relação do nível 5 em relação ao nível 4 é que não há restrição associada ao domínio operacional de projeto, o sistema automatizado pode conduzir o veículo de forma plena sem restrições

Na Tabela 1 são apresentadas descrições resumidas dos níveis da condução automatizada e o diagrama apresenta a lógica para definição do nível de automatização (de zero a 5).

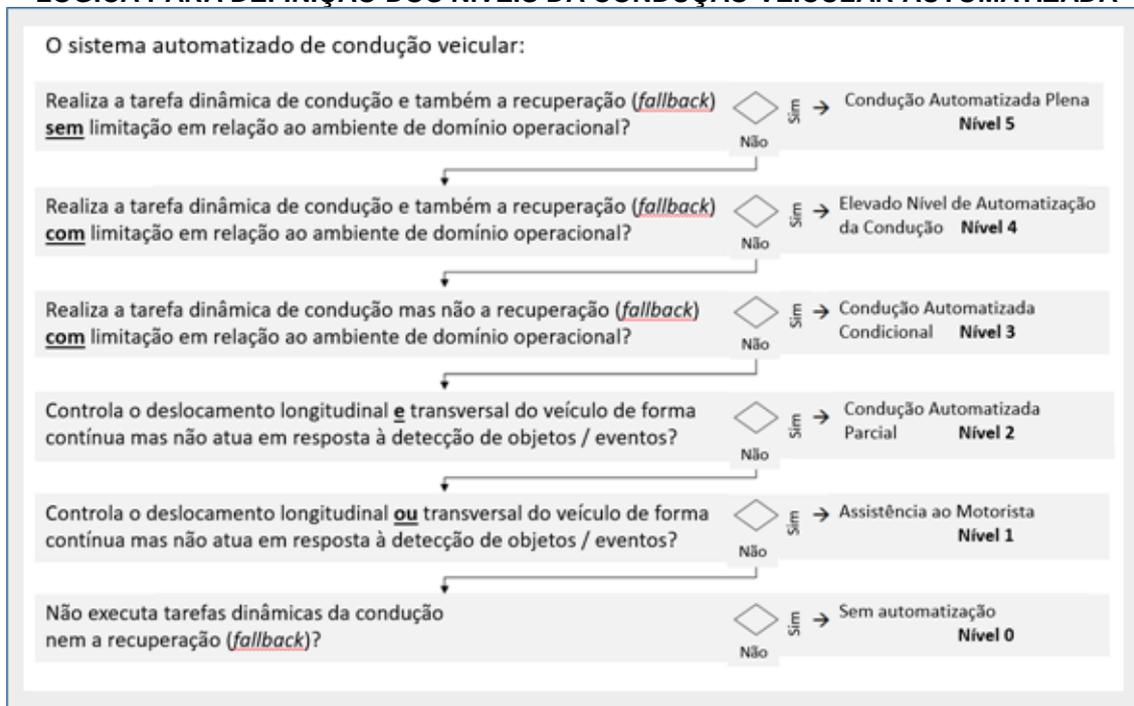
TABELA 1 – RESUMO – NÍVEIS DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA

Nível	Nomenclatura	Descrição	Condução, aceleração / desaceleração	Monitoramento do Ambiente de Direção	Falha de performance do sistema dinâmico de	Capacidades do Sistema (modos de direção)
0	sem automação	O motorista (humano) é responsável por todos os aspectos da tarefa dinâmica de direção, mesmo quando auxiliado por sistemas de alerta e de intervenção	motorista (humano)	motorista (humano)	motorista (humano)	N/A
1	Assistência ao motorista	Execução limitada por parte do sistema de assistência ao motorista de atividade específica como condução ou aceleração e desaceleração utilizando informações obtidas do ambiente de direção com a expectativa de que o motorista (humano) realize todos os demais aspectos associados à tarefa dinâmica de direção	motorista (humano) e sistema	motorista (humano)	motorista (humano)	alguns modos de direção
2	Automação parcial	Modo de direção: execução específica por um ou mais sistemas de assistência de ambos: condução e aceleração / desaceleração a partir das informações do ambiente de direção com a expectativa de que o motorista (humano) realize todos os demais aspectos associados à tarefa dinâmica de direção	sistema	motorista (humano)	motorista (humano)	alguns modos de direção
O sistema automatizado de direção - sistema - monitora o ambiente de direção						
3	Automação condicional ou condicionada / Automação parcial	Modo de direção: o sistema automatizado de direção realiza todas as atividades de monitoramento da atividade dinâmica de direção, com a expectativa de que o motorista (humano) responda de forma adequada sempre que for solicitado	sistema	sistema	motorista (humano)	alguns modos de direção
4	Automação condicional ou condicionada / Automação parcial	Modo de direção: o sistema automatizado de direção realiza todas as atividades de monitoramento da atividade dinâmica de direção, ainda que o motorista (humano) não responda de forma adequada quando solicitado	sistema	sistema	sistema	alguns modos de direção
5	Automação plena / total	Modo de direção: o sistema automatizado de direção realiza todas as atividades associadas à atividade dinâmica de direção ao longo de toda a rodovia e sob todas as condições de entorno, podendo ser gerenciado pelo motorista (humano)	sistema	sistema	sistema	todos os modos de direção

FONTE (36)

A Figura 9 apresenta a lógica para definição do nível de automatização da condução veicular (de zero a 5), de acordo com a SAE J3016 (36).

FIGURA 9
LÓGICA PARA DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA



FONTE (36)

3.1.3 Automatização na Aviação

Atualmente é bastante divulgado o desenvolvimento de tecnologias associadas à automatização da condução veicular, ressaltando-se as evoluções em andamento e quais as mudanças que poderiam ocorrer no dia a dia das pessoas e na sua relação com os veículos e com os transportes públicos,

Entretanto é necessário citar que a aviação já vem convivendo com os aspectos associados à automatização da condução há algumas décadas. Dessa forma considera-se adequado tomar conhecimento de alguns tópicos principais da experiência acumulada na área da aviação com o objetivo de estabelecer referência sobre o tema.

Na cabine de controle das aeronaves (*cockpit*) a utilização de novos recursos tecnológicos para controle e gerenciamento do voo tem crescido consideravelmente ao longo dos últimos anos (37).

Por volta dos anos 1970 e 1980 as aeronaves apresentavam uma série de instrumentos responsáveis pelo direcionamento e orientação do voo, mas sem retirar do piloto a incumbência de controle direto e constante em razão de contarem com pouco ou nenhum dispositivo eletrônico para o gerenciamento informatizado da operação aérea. A automatização em aeronaves passou a ser testada em 1974 em aeronaves como o Boeing 737 (37).

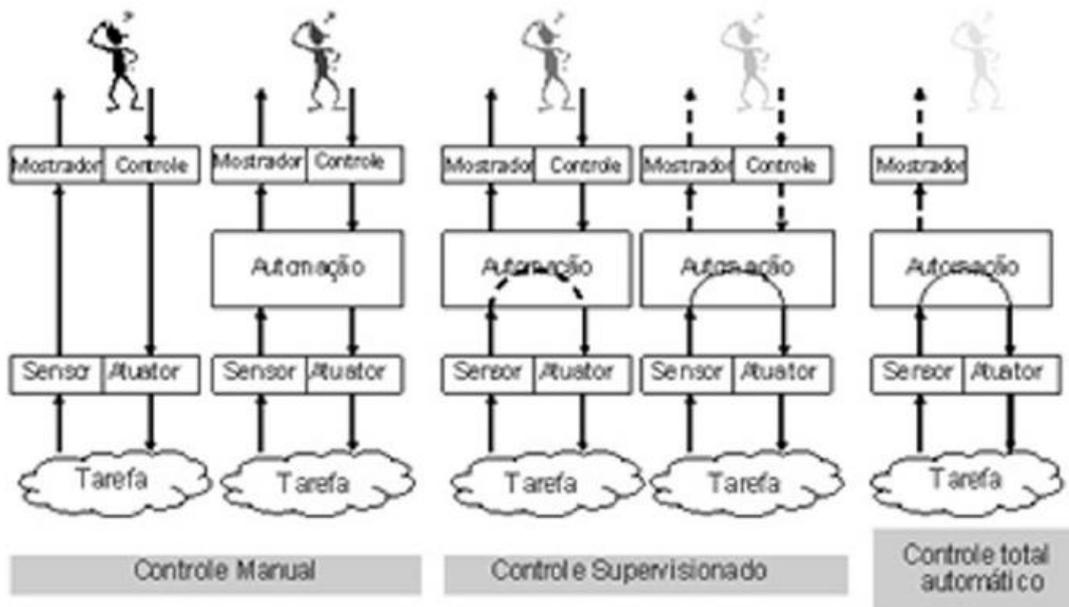
Automatização na Condução de Aeronaves

De acordo com Sheridan e Parasuraman (2005 APUD 37), na aviação, o termo automatização refere-se a:

- Mecanização e integração dos dados captados referentes às variáveis do ambiente envolvido por meio de sensores artificiais
- Processamento de dados e “processo de decisão” realizado por computadores
- Ação mecânica por motores ou equipamentos
- “Ação Informacional” quando da apresentação para o operador, por meio de telas digitais para o operador das diversas informações e dos dados referentes a determinado momento de um voo

A Figura 10 apresenta os diversos estágios de automatização do controle de aeronaves (37).

FIGURA 10 – NÍVEIS DE AUTOMATIZAÇÃO NO CONTROLE DE AERONAVES



FONTE (37)

No **controle manual** o condutor atua de forma direta sobre a aeronave. Apesar de haver algum grau de tecnologia disponível, o piloto identifica as informações, realiza a análise e o processamento e direciona, por meios próprios, as ações a serem executadas.

No segundo estágio (**controle supervisionado**) há certa redução da interação do piloto com o processo direto com maior utilização de tecnologia em algumas áreas. O piloto passa a atuar na aeronave por meio do piloto automático. Nesse estágio o relacionamento passa a ter um caráter de maior teor cognitivo, já que o piloto automático passa a ter controle diretivo sobre a aeronave.

No **estágio mais avançado** a automação é quase completa, com reduzida, ou então inexistente, possibilidade de intervenção do operador no sistema.

Benefícios da Automação da Condução de Aeronaves

A questão da automação do controle das aeronaves está diretamente associada às questões econômicas e de engenharia, mas também há os aspectos relacionados à ergonomia que podem contribuir de maneira

significativa para desenvolvimento de novos dispositivos tecnológicos automatizados.

A automatização do controle das aeronaves trouxe uma nova fase para a aviação civil mundial com benefícios, problemas e também vários desafios a serem enfrentados.

Ao longo dos anos foram observados períodos de adaptação, de observações, de experiências, de ajustes e, principalmente, de correções, tanto para os operadores, quanto para o sistema como um todo tendo em vista o alcance de novo patamar de equilíbrio cognitivo, técnico, administrativo e operacional. Equilíbrio esse que costuma ser perdido de tempos em tempos por conta da chegada do inédito.

Com as inovações, as cabines de controle dos aviões passaram a ser grandes laboratórios para realização de observações e obtenção de informações relevantes para aperfeiçoamento de procedimentos operacionais e de programas de treinamento simulado e gerencial para treinamento, reeducação e padronização de antigos e novos pilotos.

Na aviação erros no gerenciamento dos sistemas automáticos de voo e a perda da consciência da relação lógica entre um comando dado pelo piloto e a execução dos modos automatizados de operação pelos computadores dos aviões perfazem mais de 20% das causas de acidentes durante as fases de aproximação e de pouso.

Alguns dos principais benefícios associados à automatização do controle de aeronaves (37):

- Redução da carga de trabalho dos pilotos a bordo
- Presença de alarmes que antecipam o mau funcionamento dos sistemas
- Economia de combustível
- Dispositivos de prevenção de acidentes
- Redução dos custos de operação, que pode variar entre 20% e 25%

Relação Humano x Máquina

Modelo SHELL

Trata-se de um modelo conceitual empregado para o estudo do relacionamento entre o ser humano e a máquina no contexto do sistema de aviação e foi desenvolvido inicialmente por Elwyn Edwards em 1972 e posteriormente modificado por Frank Hawkins em 1984 permitindo diagnóstico acurado do nível de interação no ambiente operacional (38).

SHELL é uma sigla formada pelas letras iniciais de seus componentes: S (*software*), H (*hardware* – equipamento), E (*environment* – ambiente) e L (*liveware* – elemento humano, o foco do modelo).

A seguir é dada uma breve descrição de cada uma das interfaces (38):

Interface humano x humano: contempla os relacionamentos interpessoais que se estabelecem no ambiente de trabalho no âmbito da condução de aeronaves.

Interface humano x hardware: considera a adaptação das características físicas do equipamento às capacidades e limitações dos seres humanos. Conhecida no meio aeroviário como relação homem x máquina.

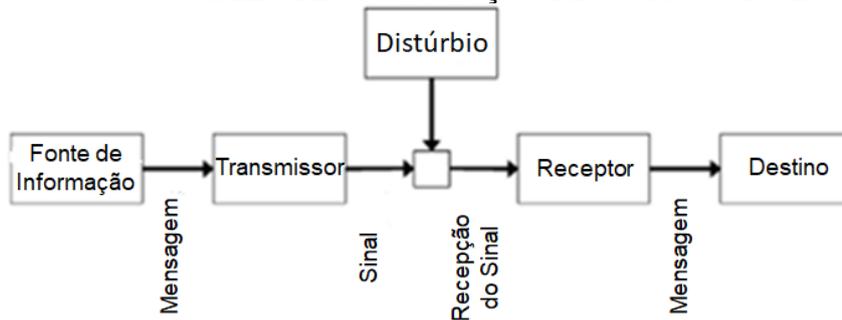
Interface humano x software: interface do ser humano com os programas de suporte lógico e de apoio disponíveis para o desempenho do trabalho.

Interface humano x ambiente: reconhecida no meio aeroviário como importante para a segurança operacional, reflete a relação do indivíduo com a ambiente físico interno e externo e com o ambiente organizacional. O Ambiente interno se constitui na área de trabalho imediata. O ambiente externo é delimitado pelo ambiente interno e muitas vezes está sujeito a rápidas alterações de forma alheia à vontade do piloto. Exemplos: condições meteorológicas congestionamento do espaço aéreo, restrições de infraestrutura aeroportuária e de navegação aérea.

Mudança de Paradigma na Relação Humano x Máquina – Processos de Informação

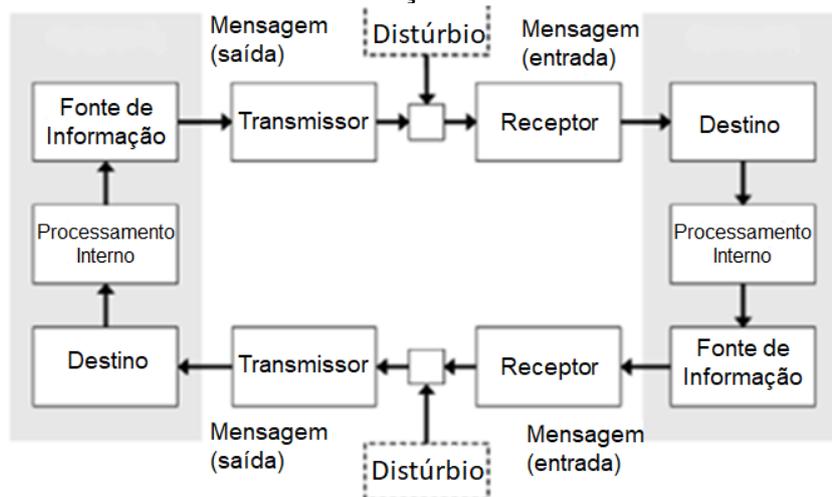
A interpretação de mensagens no padrão analógico ocorre por meio do padrão reconhecido como Estímulo – Processamento – Resposta (Shannon e Weaver – APUD 37), conforme indicado nas figuras 11 e 12.

FIGURA 11 – MODELO DE COMUNICAÇÃO DE SHANNON E WEAVER



FONTE: Shannon e Weaver APUD 37

FIGURA 12 – MODELO DE COMUNICAÇÃO DE SHANNON E WEAVER AMPLIADO



FONTE: Shannon e Weaver APUD 37

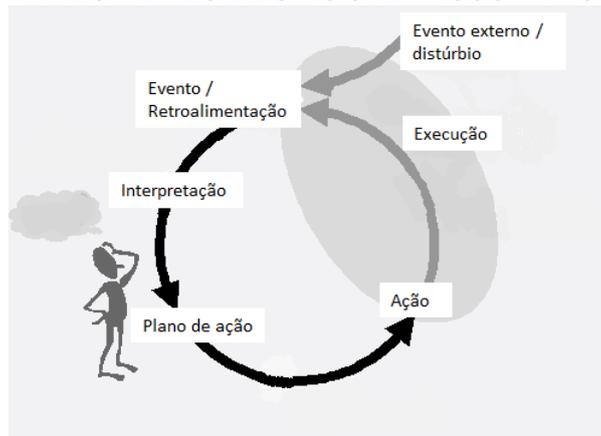
Com a necessidade de lidar com a inteligência própria característica do sistema automatizado, surge a necessidade de reavaliação dos modelos de informação, contemplando uma espécie de diálogo entre ambos (humano e máquina) de forma permitir a possibilidade de adoção de ações integradas entre ambos, considerando que o piloto deve estar alerta e em estado de prontidão para agir, manter-se em constante estado de supervisão com ótimos níveis de consciência situacional (Hollnagel e Woods 2005 – APUD 37).

Há também que se considerar que as ações do homem para que se alcancem determinados objetivos devem ser percebidas como cíclicas e não lineares, sendo necessário o entendimento de que devem ser entendidas como ações coordenadas homem x máquina, por meio da adoção das seguintes premissas (Hollnagel e Woods 2005 – APUD 37):

- As ações são percebidas em conjunto e não de forma independente. O modelo cíclico pressupõe que as ações são definidas por meio de um processo de experiência e devem buscar antecipar atitudes futuras
- A antecipação tem prioridade em relação à resposta. O processo cíclico para entendimento do processo de ação coordenada entre humano e máquina é contínuo com foco no bom desempenho por meio da interpretação de fatos passados e da expectativa do que pode vir a acontecer em diferentes momentos no futuro. Dessa forma o modelo cíclico depende da interação entre homem e tecnologia, combinando retroalimentação de fatos passados e previsões de possíveis eventos futuros
- Os usuários de sistemas tecnológicos devem ser percebidos como parte de um todo maior. O modelo cíclico tem foco na ação coordenada na forma como usuários e ambiente estão envolvidos dinamicamente e nas relações de dependência entre ações e eventos
- O contexto e as situações apresentam influência direta. O contexto pode afetar a forma de trabalho e interação do humano com a máquina, especificamente como os eventos são avaliados de que forma as ações são selecionadas
- Os modelos são mais funcionais do que estruturais. A ênfase do modelo cíclico está no desempenho que tem prioridade em relação ao processo interno

A Figura 13 apresenta de forma esquemática o relacionamento entre os componentes de um sistema cognitivo.

FIGURA 13 – RELACIONAMENTO ENTRE OS ELEMENTOS INTEGRANTES DE UM SISTEMA COGNITIVO



FONTE (37)

De acordo com Hollnagel e Woods (Hollnagel e Woods 2005 – APUD 37), é importante a percepção do conjunto humano e máquina como um sistema único voltado para o alcance do objetivo almejado, formando um sistema cognitivo integrado capaz de modificar o seu comportamento com base em experiências adquiridas com o objetivo de manter o controle das situações, sejam elas normais ou inesperadas.

Os sistemas cognitivos podem ser entendidos como orientados a resultados com base em modelos manipuláveis, adaptáveis e capazes de analisar um problema sob diversas perspectivas e de operar com suas informações obtidas do ambiente além de apresentar a capacidade de planejar e modificar determinadas ações com base em conhecimento prévio, obtendo retornos de experiências passadas e prevendo alternativas para futuros eventos.

3.1.4 Condução Automatizada – Veículos e Sistemas Veiculares

Alguns dos principais avanços da indústria automotiva que passou a oferecer recursos de segurança ativa para auxílio aos motoristas na tarefa da condução veicular (39) são indicados a seguir.

- Meados da década de 1960 – Controle da velocidade do veículo;
- Final de década de 1970 – Sistema antitravamento dos freios (ABS – *Antilock Braking System*);

- Meados da década de 1980 – Controle de tração;
- Meados da década de 1990 – Programa de Estabilidade Eletrônica – ESP *Electronic Stability Program* / Assistente de Frenagem / Alerta de evasão da faixa de rolamento / Controle de Velocidade;
- Entre 2000 e 2010 – Assistente de manobra de estacionamento / monitoramento de pontos cegos / assistente para manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento / Reconhecimento da sinalização / Frenagem de emergência automática;
- Entre 2010 e 2015 – assistente para circulação em vias expressas
- Entre 2015 e 2020 – Assistente de condução em congestionamentos / Estacionamento do veículo sem motorista.

Para essa evolução foi necessário o desenvolvimento de um conjunto de sensores de forma a permitir o desenvolvimento dos sistemas de assistência ao motorista.

O sistema automatizado da condução necessita captar as informações do ambiente, determinar a posição do veículo na via com precisão adequada e tomar a decisão adequada para cada tipo de situação. Dessa forma os veículos automatizados são altamente dependentes dos sistemas computacionais para a adequada ligação entre os sensores e a atuação dos componentes mecânicos do veículo, passando a se constituir em verdadeiros robôs sobre rodas (40).

Os algoritmos principais e os componentes de *software* são divididos em três componentes: percepção, localização e planejamento.

A percepção, componente associado aos sensores, combina os dados de radares, câmeras e LIDAR (*Light Detecting and Ranging*) em representação de objetos dinâmicos e características estáticas. Pela posterior superposição desses dois últimos em mapas previamente disponíveis é possível aplicar filtros de e algoritmos de suavização para calcular de forma precisa a posição de veículo.

A posição de veículo combinada com o mapa e as informações dos objetos captadas pelos elementos de percepção do ambiente permite a elaboração de sequência lógica de ações a serem tomadas pelo sistema veicular. Essa sequência lógica é definida a partir dos alertas de situação e por conta do comportamento previsto dos demais participantes do fluxo de tráfego e da consideração de sua potencial interação. Em cada uma dessas fases são aplicados os últimos avanços do aprendizado de máquina (“*deep learning*”) (40).

3.1.4.1 Principais Funcionalidades

Controle de Velocidade e de Distância (*Adaptive Cruise Control*)

Essa funcionalidade ajusta a velocidade do veículo de acordo com o fluxo de tráfego, mantendo distância segura em relação ao veículo à frente, por meio do controle de velocidade (41).

A Figura 14 apresenta ilustração esquemática do funcionamento do ACC.

FIGURA 14 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA - ACC



FONTE (41)

Adequado para circulação em situações de fluxo de tráfego congestionado, esse recurso garante a manutenção de distância segura em relação ao veículo à frente por meio do controle da velocidade (41).

O radar é o equipamento principal para o ACC e é posicionado na frente do veículo, monitorando de forma permanente o segmento de via à frente (41).

Enquanto o trecho à frente estiver livre, o ACC mantém a velocidade definida pelo motorista. Caso o sistema detecte seja detectado um veículo mais lento à frente, o sistema reduz a velocidade de forma gradual, suavizando a pressão sobre o acelerador ou então acionando os freios. Caso o veículo à frente aumente a velocidade ou mude de faixa de rolamento, o sistema de forma automática acelera o veículo até chegar à velocidade definida pelo motorista (41).

O ACC pode ser utilizado para velocidades a partir de 30 km/h especialmente em rodovias e em vias expressas. Em situações de congestionamentos (situação “anda e para”, bastante comum em áreas urbanas), esse recurso pode ser empregado para velocidades a partir de 20 km/h, mantendo distância adequada em relação ao veículo à frente, podendo até parar o veículo em caso de necessidade (41).

Principais benefícios

Maior conforto para o motorista em situações de fluxo pesado ou congestionamento e também em longos percursos.

Possibilita que o motorista se concentre de melhor forma nas condições do tráfego, redução do risco de colisão traseira e do consumo de combustível.

Dispositivos associados

Radar frontal, câmera multiuso, câmera estereoscópica.

Frenagem Automática de Emergência (AEB – *Automatic Emergency Braking*)

Tem por objetivo reduzir o risco de ocorrência de colisões traseiras ou então mitigar as suas consequências em caso tal tipo de ocorrência (42).

A Figura 15 apresenta ilustração do princípio de funcionamento do AEB.

FIGURA 15 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA - AEB



FONTE (42)

Para velocidades superiores a 30km/h, caso o sistema detecte que a distância em relação ao veículo que está à frente se torne crítica o sistema de freios é preparado para uma potencial frenagem de emergência. Caso o motorista não reaja à situação de perigo, o sistema emite um sinal sonoro seguido de um toque no pedal de freio. Assim o sistema inicia frenagem parcial para reduzir a velocidade e dar ao motorista tempo para reagir. Assim que o motorista pressiona o pedal de freio, o sistema oferece suporte de frenagem. Para isso, o sistema calcula de forma contínua a desaceleração necessária ao veículo para evitar a colisão. Caso o sistema detecte que o motorista não aplicou desaceleração suficiente, ele mesmo aumenta a pressão sobre os freios, de modo a tentar possibilitar que o motorista pare o veículo antes que a colisão ocorra. Caso o motorista não reaja de forma imediata ao risco de colisão e o sistema detecte que a colisão seja inevitável, é iniciada a frenagem total do veículo, em trabalho conjunto com a câmara de vídeo, com o objetivo de reduzir a severidade da colisão para ambos os veículos (42).

De acordo com informações sobre acidente ocorridos na Alemanha (42), até 72% das colisões com dados ocorridas com velocidades superiores a 30km/h poderiam ter sido evitadas com essa funcionalidade. De acordo com as mesmas informações (42), até dois terços de todas as colisões ocorridas com feridos e danos materiais com velocidades superiores a 30 km/h poderiam ter sido evitadas com essa funcionalidade (42).

Principais benefícios

Reação mais rápida do motorista, resultando em menores distâncias de parada, suporte para redução da severidade em caso de colisão, redução do risco de lesões na impossibilidade de evitar a colisão.

Dispositivos associados

Radar, câmera multifuncional, Câmera estereoscópica.

Assistência para Reconhecimento da Sinalização da Via (Road Sign Assist)

Tem por objetivo identificar a sinalização relevante ao longo da via e apresentá-la ao motorista por meio de ícones no painel do veículo (43).

Também auxilia o motorista a dirigir de acordo com a regulamentação. Por exemplo, a funcionalidade identifica as placas de velocidade regulamentada e avisa o motorista caso a velocidade seja excedida (43).

A funcionalidade emprega câmera de vídeo para reconhecimento associada a algoritmos de detecção e classificação (regulamentação, advertência). Também estabelece os limites de aplicação da velocidade regulamentada, segmentos com ultrapassagem proibida, sentido obrigatório, parada obrigatória, áreas em obras.

A Figura 16 apresenta ilustração do princípio de funcionamento.

FIGURA 16 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA – ROAD SIGN ASSIST



FONTE (43)

O sistema tem a capacidade de reconhecer de forma confiável as informações disponibilizadas por meio da sinalização estática, painéis de mensagens variáveis, dentre outros. Também tem a capacidade de emitir alguns tipos de alerta, como superação do limite de velocidade, área com ultrapassagens proibidas e identificação de parada obrigatória (43).

Principais benefícios

Apresentação da sinalização para o motorista no painel do veículo.

Dispositivos associados

Câmera estereoscópica, Câmera multifuncional.

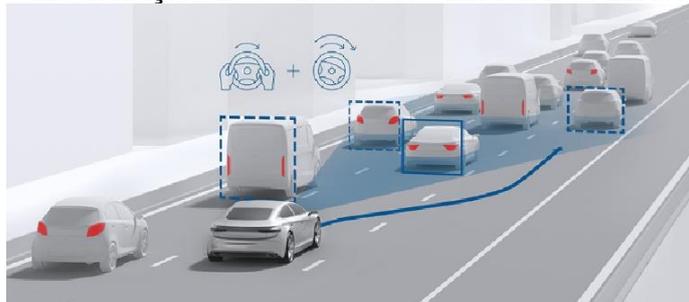
Desvio de obstáculos (*Evasive Steering Support*)

Funcionalidade do sistema automatizado de condução veicular que tem por objetivo alterar a trajetória do veículo em situação de risco iminente de colisão por meio de aplicação de torque ao volante (44).

A estimativa de um dos fabricantes do dispositivo é de que o giro máximo do volante de direção seja atingido em apenas 25% do tempo gasto em condições normais de direção (44).

A Figura 17 ilustra o funcionamento do desvio de obstáculos de forma esquemática.

FIGURA 17 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA – EVASIVE STEERING SUPPORT



FONTE (44)

Principais benefícios

- Auxilia o motorista a evitar potenciais colisões com objetos / veículos / usuários vulneráveis à sua frente;
- Auxilia o motorista a manter trajetória segura do veículo;
- Manutenção da estabilidade do veículo, mesmo em manobras bruscas;
- Redução do risco de colisões e lesões;
- Ângulo máximo de giro do volante alcançado com maior rapidez;

Dispositivos associados

Câmera estereoscópica, câmera multifuncional, radar.

Controle da luminosidade dos faróis do veículo (*Intelligent Headlight Control*)

Essa funcionalidade é controlada pela câmera de vídeo que quantifica a luminosidade do ambiente e estima a distância dos veículos à frente e dos veículos que se aproximam em sentido oposto. Essas informações são utilizadas para ajustar a intensidade e a direção dos feixes luminoso dos faróis dos veículos

O farol baixo do veículo pode ser ativado ou desativado automaticamente em função das condições de iluminação da via. O farol alto

também pode ser ativado ou desativado em função das condições de iluminação da via e da detecção do tráfego à frente (no mesmo sentido de circulação do veículo) e em sentido oposto.

Tanto a intensidade do feixe luminoso dos faróis quanto o seu cone de abertura são ajustados de forma automática por meio das informações captadas pela câmera de vídeo. Dessa forma é possível iluminar uma região em curva horizontal com um cone mais amplo, auxiliando o motorista a identificar a presença de pedestres, por exemplo.

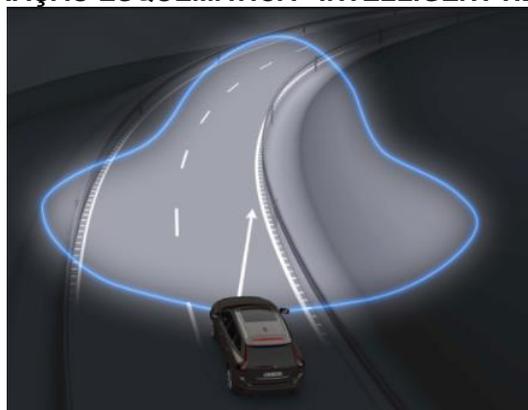
As figuras 18 e 19 ilustram o funcionamento de forma esquemática.

FIGURA 18- ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –INTELLIGENT HEADLIGHT CONTROL



FONTE (45)

FIGURA 19 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –INTELLIGENT HEADLIGHT CONTROL



FONTE (46)

Por meio da ativação contínua do controle dos faróis altos o motorista pode utilizá-los sem prejudicar os demais motoristas, já que os faróis são constituídos por segmentos de LEDs tanto na horizontal quanto na vertical e a iluminação é controlada de forma a maximizar a visibilidade do motorista do veículo sem trazer prejuízo aos motoristas dos demais veículos.

Principais benefícios

- Otimização da iluminação da via, melhorando as condições de direção para o motorista;
- Aumento do alcance da visão do motorista em condição noturna;
- Minimização do ofuscamento e do incômodo dos motoristas dos demais veículos;
- Maior conforto e segurança para condução noturna.

Dispositivos associados

Câmera multifuncional, câmera estereoscópica.

Alerta de Evasão da Faixa de Rolamento (*Lane Departure Warning*)

Essa funcionalidade compara a sinalização horizontal de demarcação das faixas de rolamento com a posição do veículo no interior da faixa de rolamento. Caso o sistema detecte que haja risco de o veículo sair da faixa de rolamento de forma não intencional, é emitido um alerta visual, sonoro e/ou tátil, como, por exemplo, vibração do volante. Tais alertas não são emitidos quando o sinal de seta estiver acionado, posto que, nessa situação, o motorista tem a intenção de mudar de faixa de rolamento (47).

Principais benefícios (47)

- Auxílio para a manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento, contribuindo para a prevenção de acidentes;
- Possibilita a rápida correção de desvios de trajetória;
- Auxilia o motorista a manter o veículo no interior da faixa em situação de falta de atenção;

- Detecta a demarcação das faixas de rolamento a uma distância de 60 metros à frente;
- Na maioria das situações, após a emissão do alerta por parte do sistema, é possível corrigir a trajetória do veículo a tempo de evitar ocorrência de acidente / incidente.

Dispositivos associados

Câmera multifuncional, câmera estereoscópica.

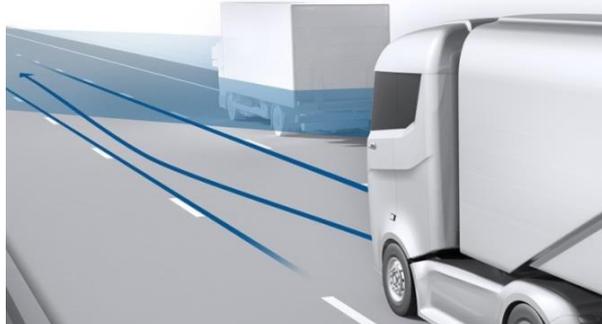
Assistência para manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento (LKA – Lane Keeping Support)

Essa funcionalidade auxilia o motorista a manter o veículo no interior da faixa de rolamento.

De acordo com dados de acidentes ocorridos na Alemanha, cerca de 26% dos acidentes com feridos ocasionados por veículos comerciais podem ser prevenidos por esse tipo de funcionalidade (48).

A Figura 20 ilustra o funcionamento de forma esquemática.

FIGURA 20 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –LANE KEEPING SUPPORT



FONTE (48)

O sistema emprega uma câmera para identificar as linhas demarcatórias das faixas de rolamento à frente do veículo. Caso não seja mantida distância mínima do veículo em relação à faixa demarcatória, o sistema de auxílio é ativado. Para os veículos com direção eletromecânica o sistema emite o alerta

por meio de vibração suave do volante. Para veículos que não sejam equipados com a direção eletromecânica o alerta pode ser emitido por meio do acionamento individualizado dos freios em cada roda do veículo (48).

Essa funcionalidade pode ser ativada para velocidades a partir de 60 km/h e pode ser desativada pelo motorista a partir de um movimento contrário aplicado ao volante.

Principais benefícios

Os benefícios são idênticos àqueles descritos no item Alerta de Evasão da Faixa de Rolamento, com a diferença de que o sistema atua de forma efetiva sobre os controles do veículo de forma a mantê-lo no interior da faixa de rolamento, salvo mudança de orientação expressa por parte do motorista.

Dispositivos associados

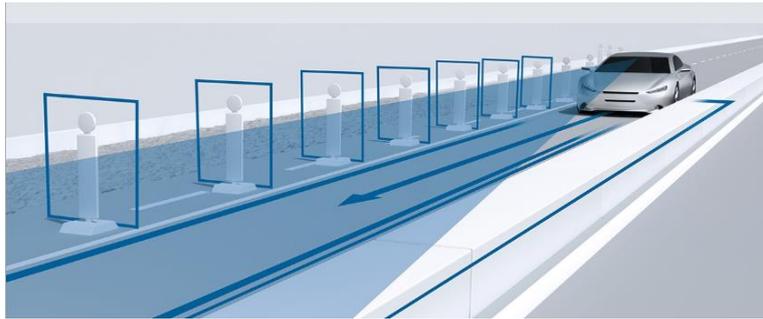
Câmera multifuncional, câmera estereoscópica direção eletromecânica (opcional).

Assistência para circulação em trechos com obras em realização (Construction Zone Assist)

Essa funcionalidade tem por objetivo ajudar o motorista a manter distância de separação segura em trechos com realização de obras, que costumam apresentar redução da largura da faixa de rolamento e menor distância em relação aos veículos nas faixas adjacentes e em relação aos dispositivos de separação / segregação. Atua de acordo com o mesmo mecanismo empregado para auxiliar a manter o veículo na faixa de rolamento (LKA) (49).

A Figura 21 ilustra o funcionamento de forma esquemática.

FIGURA 21 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –CONSTRUCTION ZONE ASSIST



FONTE (49)

Principais benefícios (49)

- Auxilia o motorista a percorrer trechos com redução da largura das faixas de rolamento;
- O sistema impõe torque ao volante e assim guia o veículo pela região de estreitamento;
- Ajuda a prevenir abalroamentos laterais com outros veículos e também com dispositivos de separação utilizados para delimitar as áreas de obras.

Dispositivos associados

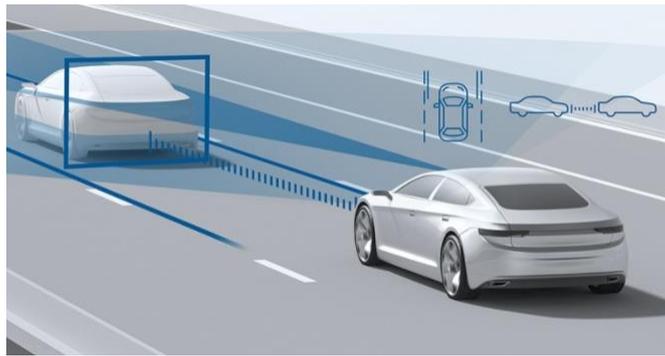
Sensor ultrassônico, câmera estereoscópica.

Assistência para circulação em situações de trânsito livre – vias expressas e rodovias (*Highway Assist*)

Essa funcionalidade tem por base os recursos associados ao controle de velocidade e distância (ACC) e manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento (LKA).

A Figura 22 ilustra o funcionamento de forma esquemática.

FIGURA22 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –HIGHWAY ASSIST



FONTE (50)

Principais benefícios

Em regiões com baixos volumes de tráfego, poucas interferências com o entorno e traçado da via excessivamente retilíneo, o motorista pode ficar desatento.

Essa funcionalidade tem por objetivo pilotar automaticamente o veículo, controlando a sua trajetória longitudinal e transversal (manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento) e a distância em relação aos demais veículos no fluxo de tráfego.

Dispositivos associados

Câmera multiuso, Câmera estereoscópica.

Assistência para circulação em situações de trânsito congestionado (Traffic Jam Assist)

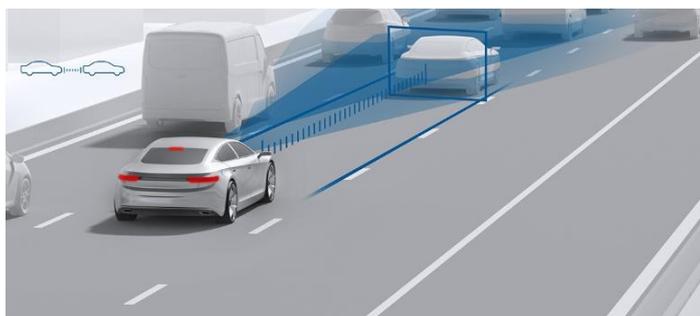
Essa funcionalidade tem por objetivo oferecer maior conforto aos motoristas em situações de tráfego intenso ou congestionamento na condução parcialmente automatizada.

Por meio dessa funcionalidade, o sistema exerce o controle das trajetórias longitudinal (ACC) e transversal (LKA) do veículo, permitindo que o mesmo se movimente, acelere ou freie sem a intervenção do motorista, mediante

determinadas premissas. O motorista deve supervisionar o sistema de condução automatizada permanentemente e estar pronto para assumir o controle do veículo a qualquer momento (51).

A Figura 23 ilustra o funcionamento de forma esquemática.

FIGURA 23 – ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –TRAFFIC JAM ASSIST



FONTE (51)

Principais benefícios

Nesse tipo de situação – “anda e para”, o motorista pode estar sujeito a se distrair, possibilitando assim a ocorrência de colisão. Dessa forma, o recurso oferece maior conforto e segurança ao motorista, em situações de congestionamento, prevenindo a ocorrência de acidentes / incidentes ocasionados por falta de atenção (51).

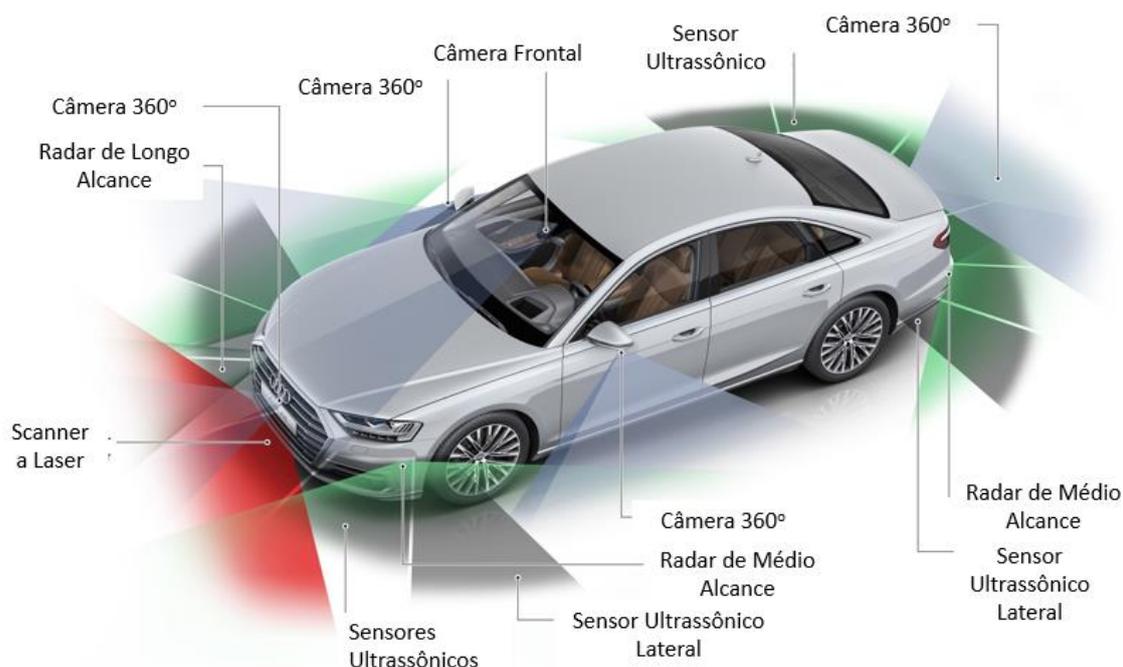
Dispositivos associados

Controle eletrônico de estabilidade, radar, radar frontal, direção eletromecânica, câmera multifuncional.

3.1.4.2 Sensores

Os veículos automatizados contam com uma série de sensores para detecção, conforme indicado de forma esquemática na Figura 24 (39).

FIGURA 24– ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA –SENSORES



FONTE (39)

O sistema automatizado da condução necessita captar as informações do ambiente, determinar a posição do veículo na via com precisão adequada e tomar a decisão mais indicada para cada tipo de situação. Dessa forma, os veículos automatizados são altamente dependentes dos sensores e sistemas computacionais tendo em vista a atuação dos componentes mecânicos do veículo, com o automóvel passando a se constituir em um verdadeiro robô sobre rodas (40).

Existem três tipos de sensores empregados na condução veicular automatizada: câmeras de vídeo com uma lente (bidimensionais) e estereoscópicas (tridimensionais), radares e LIDAR.

Além disso a cobertura proporcionada pelos sistemas de detecção na condução automatizada deve ser redundante, de forma a procurar cobrir a eventual falha ou indisponibilidade de algum de seus componentes.

O conjunto formado pelas câmeras de vídeo associadas aos radares consegue fornecer com precisão adequada a posição e velocidade, bem como os contornos de obstáculos e objetos em movimento

A seguir é fornecida descrição sucinta de alguns dos principais sensores e sistemas associados à condução veicular automatizada.

Câmeras de Vídeo

A visão é sem dúvida o recurso mais utilizado pelo motorista durante o processo de condução do veículo.

De forma análoga, as câmeras de vídeo fornecem informações indispensáveis para a condução veicular automatizada, trazendo elementos para a representação do ambiente que envolve o veículo.

As câmeras de vídeo com uma única lente fornecem imagens bidimensionais. Para a obtenção de imagens tridimensionais torna-se necessária associação de duas ou mais câmeras bidimensionais ou então a utilização de uma câmera estereoscópica (com duas ou mais lentes).

Os principais parâmetros associados as câmeras de vídeo são a taxa de atualização das imagens e a sensibilidade às condições de iluminação externa (52).

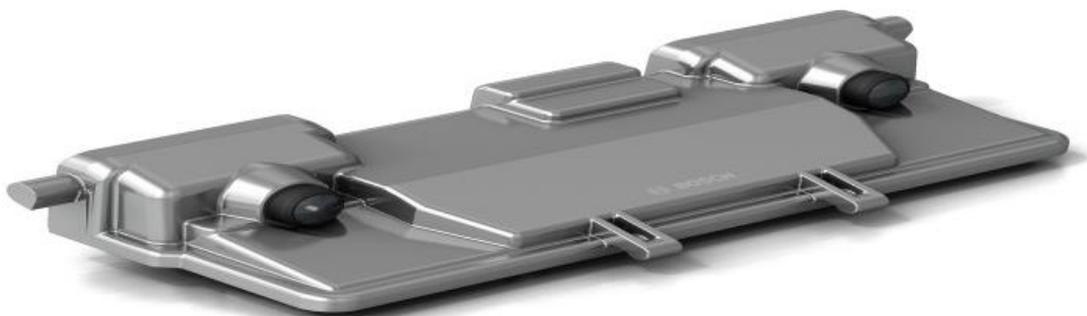
Câmera de Vídeo Estereoscópica

A câmera de vídeo estereoscópica conta com duas ou mais lentes, com um sensor de imagem para cada lente, o que permite a simulação da visão binocular humana, possibilitando a captura de imagens tridimensionais por meio do processo de estereoscopia (53), com o objetivo de obter o mapeamento tridimensional do ambiente ao redor do veículo.

Há fabricantes que disponibilizam câmeras com lentes de vídeo CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*), permitindo a captura de imagens com resolução de 1280x960 pixels, com ângulo de abertura de 50 graus na horizontal e 28 graus na vertical. Os sensores de imagem com tecnologia de iluminação dinâmica e de alta sensibilidade permitem processar imagens de elevado contraste cobrindo o comprimento de onda visível ao olho humano (54).

A Figura 25 traz exemplo de câmara de vídeo tridimensional – ou estereoscópica.

FIGURA 25 – CÂMARA DE VÍDEO COM DUAS LENTES – TRIDIMENSIONAL / ESTEREOSCÓPICA



FONTE (54)

A imagem digital obtida por meio da câmera deve ser combinada com algoritmos de última geração e inteligência artificial para utilização na condução veicular automatizada (54).

Por meio do efeito estereoscópico, a câmera pode produzir um mapa tridimensional do ambiente ao redor do veículo, permitindo a definição de distâncias de pontos identificados nas imagens. As mudanças de posicionamento desses pontos nas imagens são detectadas permitindo a definição do seu tamanho, da sua velocidade e da sua distância em relação a outros objetos, como: outros veículos, pedestres, ciclistas e motoristas, bem como obstáculos posicionados na via ou em suas proximidades (54).

Câmara de Vídeo Bidimensional

A câmara de vídeo bidimensional conta com um sistema de alta performance embutido para processamento de algoritmos de imagens combinado com os tradicionais algoritmos de processamento de imagens e métodos de inteligência artificial para detecção dos objetos e interpretação imagens. (55).

A Figura 26 apresenta exemplo de câmara de vídeo bidimensional.

FIGURA 26– CÂMARA DE VÍDEO COM UMA LENTE - BIDIMENSIONAL



FONTE (55)

Por meio de algoritmos previamente desenvolvidos, as câmeras identificam e classificam os objetos, como veículos, ciclistas e elementos de sinalização da via.

O equipamento também utiliza o fluxo óptico e a estrutura de movimentos identifica, por imagens subsequentes, outros elementos ao longo da via, como guias, canteiros centrais, barreiras rígidas e defensas metálicas.

A diferença de posição dos pixels nas imagens subsequentes é mapeada e então é esboçada uma estrutura tridimensional a partir da imagem obtida pela câmara bidimensional.

Procedimentos de inteligência artificial são empregados por meio do aprendizado de máquina (*deep learning*), de forma a permitir que o dispositivo utilize bancos de dados com informações referentes a situações anteriores, que são empregadas para os processos de classificação de objetos

As gerações mais recentes do dispositivo possuem recursos que permitem a identificação de diferentes superfícies ao longo da via e ao seu redor por meio de redes neuronais e segmentação semântica.

Os processos de classificação também podem utilizar procedimentos adicionais de processamento como rastreamento clássico, detecção de semáforos e disparidade estereoscópica.

Principais Características

- Campo horizontal de visão: +/- 50°;
- Campo vertical de visão: + 25° para cima /- 21° para baixo;
- 45 quadros por segundo;
- Resolução de 2048 x 1280 pixels.

RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

O RADAR é constituído de sistema eletrônico que envia ondas eletromagnéticas de radiofrequência e as recebe de volta quando são refletidas por objetos encontrados ao longo do seu trajeto. Embora os detalhes dos vários sistemas de radar possam variar, estes devem incluir subsistemas como transmissor, antena, receptor e processador de sinais digitais (Richard; Holm; Scheer, 2010 – APUD 56).

O transmissor é o responsável pela geração das ondas eletromagnéticas. A antena interpreta essas ondas eletromagnéticas com entradas vindas do transmissor e as introduz em um meio de propagação – geralmente a atmosfera. O transmissor está conectado à antena por meio de um dispositivo de transmissão / recepção. O sinal transmitido propaga-se pelo meio rumo ao seu objetivo. As ondas eletromagnéticas induzem correntes sobre o objeto atingido e fazem com que o mesmo também irradie ondas eletromagnéticas. Além do objeto alvo são igualmente atingidos outros

elementos que também irradiarão ondas eletromagnéticas – estas não desejáveis (MELVIN; SCHHER; 2013 APUD 56).

Os sensores do tipo radar costumam ser posicionados à frente e na parte traseira do veículo com o objetivo de monitorar o tráfego em seu entorno, com capacidade de medir distâncias de centímetros a algumas centenas de metros, e costumam utilizar as frequências de 24Ghz e de 77Ghz. A frequência de 77Ghz oferece maior precisão para medição de distâncias, velocidades e ângulos (52).

Algumas das principais funcionalidades associadas à automatização da condução veicular que se utilizam das ondas de rádio de curto alcance são (56):

- Monitoramento de pontos cegos;
- Posicionamento do veículo no interior da faixa de rolamento e mudança de faixa de rolamento;
- Radar no para choque traseiro para alerta de colisão e prevenção de colisão;
- Assistência para estacionamento do veículo;
- Monitoramento de aproximação lateral de veículos.

Algumas das principais aplicações das ondas de rádio de longo alcance (56):

- Assistente para frenagem;
- Frenagem de emergência;
- Controle de distância.

LIDAR (*Light Detection and Ranging*)

O LIDAR foi inicialmente empregado para aplicações militares e industriais. O sistema emite feixes de laser e calcula a distância em relação aos objetos detectados por meio do período de tempo de retorno dos feixes luminosos.

A medição também contempla a intensidade luminosa do feixe luminoso que retorna, permitindo assim a avaliação da reflexividade da superfície do objeto detectado.

O dispositivo tem a capacidade de detectar a forma e o tamanho dos objetos detectados, ao contrário dos sensores RADAR. O LIDAR não tem a capacidade de detectar características além a posição e da intensidade dos sinais refletidos, sendo necessário que as suas informações por ele captadas sejam complementadas por outros tipos de sensores, como a câmera estereoscópica que, por exemplo, pode fornecer informações sobre a cor e a textura dos objetos detectados (56).

O LIDAR é composto por complexos sistemas mecânicos de espelhos que proporcionam visibilidade de 360 graus, capturando imagens tridimensionais de objetos tanto estacionários quanto em movimento. Apesar de todas as vantagens do LIDAR a sua utilização na condução veicular automatizada vem sendo limitada por conta do seu elevado custo (52), mesmo com a tendência de queda dos preços (56).

Além do elevado custo do LIDAR, o grande desafio do seu emprego no sistema automatizado de condução veicular é garantir o seu adequado funcionamento sob uma ampla variação das condições atmosféricas (temperatura, radiação solar, escuridão, chuva, neve, dentre outros) com a identificação de objetos para distâncias superiores a 270m (52).

3.1.4.3 Sistemas Veiculares

A seguir são apresentados alguns dos principais sistemas veiculares associados às evoluções dos veículos automatizados.

Controle de Estabilidade do Veículo

Trata-se de uma das inovações de maior impacto associadas à segurança veicular e serve de base para outras aplicações de assistência ao motorista e à condução automatizada.

Caso o sistema detecte iminência de ocorrência de derrapagem do veículo, a funcionalidade é acionada de forma imediata, independentemente de ação do motorista, utilizando o sistema de freios do veículo para interferir na sua trajetória e mantê-lo na pista.

Há várias denominações no mercado para essa funcionalidade como ESP (*Electronic Stability Program*), DSC (Controle Dinâmico de Estabilidade), VSA (Assistência à Estabilidade do Veículo) e VSC (Controle da Estabilidade do Veículo).

As figuras 27 e 28 ilustram situações em curva com e sem o recurso de controle de estabilidade do veículo.

FIGURA27– CONTROLE DE ESTABILIDADE EM CURVA



FONTE (57)

FIGURA 28 – CONTROE DE ESTABILIDADE – MANOBRA EVASIVA



FONTE (57)

O sistema de controle de estabilidade emprega vários sensores como objetivo de detectar a eventual perda de controle da trajetória do veículo. O sistema realiza cerca de 25 varreduras por segundo comparando a trajetória pretendida pelo motorista com a trajetória real do veículo (57).

Quando há discrepância entre a trajetória pretendida e a trajetória real, significa que está ocorrendo a perda do controle da trajetória do veículo. Detectada a ocorrência, o sistema prontamente reduz a aceleração do veículo com o objetivo de recuperar a sua estabilidade. Caso isso não seja suficiente, os freios passam a ser acionados individualmente e de forma diferenciada, com o objetivo de reverter a perda de controle da trajetória (57).

Amplificador do Sistema de Frenagem

Dispositivo que substitui o servo-freio assistido a vácuo e que pode ser empregado em todas as configurações do sistema de transmissão, sendo especialmente indicado para veículos híbridos e veículos elétricos (58).

A Figura 29 traz exemplo do sistema de amplificação do sistema de frenagem.

FIGURA 29 – DISPOSITIVO DE AMPLIFICAÇÃO DO SISTEMA DE FRENAGEM



FONTE (58)

No sistema convencional (freio a vácuo), uma válvula controla a entrada de ar e amplifica a força aplicada pelo motorista sobre o pedal de freio. Com o Amplificador, a atuação sobre o pedal de freio é detectada por meio de um sensor e as informações são enviadas à unidade de controle. A unidade de controle emite os sinais de comando para o motor elétrico, ao mesmo tempo em que um redutor converte o torque do motor na potência necessária. A energia fornecida pelo Amplificador é convertida em pressão hidráulica por meio de um cilindro de freio (58).

Com a utilização desse sistema, a bomba de vácuo – seja ela mecânica ou elétrica, não é mais necessária, reduzindo o consumo de combustível e a emissão de poluentes (58).

O amplificador, em conjunto com o Controle de Estabilidade do Veículo apoia as funções de assistência ao motorista e viabiliza a recuperação plena para frenagens com taxas de até 30% da aceleração da gravidade (59).

Além disso, por utilizar o motor elétrico, o Amplificador gera a pressão necessária sem acionamento do pedal de freio. Dessa forma, a pressão necessária é alcançada em um tempo três vezes menor e a frenagem é ajustada de forma mais precisa por meio da central eletrônica de controle, oferecendo benefícios relevantes para o sistema de frenagem de emergência, por exemplo (58).

Em combinação com o sistema de Controle de Estabilidade do Veículo, o Amplificador provê a redundância necessária à segurança na condução automatizada do veículo (59).

Direção Eletromecânica

Trata-se de um sistema elétrico e mecânico que auxilia a dirigir o veículo com a ajuda de um motor elétrico. É apresentado exemplo na Figura 30.

FIGURA 30– DIREÇÃO ELETROMECÂNICA



FONTE (60)

O sistema funciona a partir das informações recebidas por um sensor de torque localizado na direção, as quais são enviadas para a unidade de controle eletrônico que determina as ações necessárias e as envia ao motor elétrico, que é responsável pelo fornecimento da energia necessária.

O sistema pode ser empregado tanto para veículos leves quanto para veículos comerciais, com os necessários ajustes, e podem ser utilizadas não apenas as informações do volante, mas também outras provenientes dos demais sistemas veiculares e que são processadas pela central eletrônica e pelos aplicativos responsáveis à interligação entre os sistemas veiculares e os componentes (60).

Dessa forma, a direção eletromecânica se torna fundamental para a condução veicular automatizada e é dotada de um sistema redundante tendo em vista a prevenção contra falhas para permitir a operação em elevados níveis de automação da condução veicular (60).

3.2 VIAS

3.2.1. Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transport System - ITS*)

De acordo com o ITS *Handbook* 2000 (APUD Caderno 8), os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) constituem-se em ampla gama de ferramentas para gerenciamento de redes de transportes.

Essas ferramentas são alicerçadas em três características fundamentais: informação, comunicação e integração. Aquisição, processamento, integração e disponibilização das informações formam o núcleo central dos sistemas ITS (6).

De acordo com a resolução 3.323 de 18/11/2009 – ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), os Sistemas inteligentes de Transporte constituem-se no conjunto de equipamentos e sistemas de monitoramento de tráfego utilizados nas rodovias federais concedidas, abrangendo os equipamentos e sistemas de coleta de dados, dispositivos de monitoramento e sensoriamento instalados em postos de operação e fiscalização e equipamentos e sistemas instalados nos Centros de Controle Operacional (CCO) das Concessionárias – sejam eles de coleta de dados ou de gestão operacionais, assim como nos demais Centros de Controle com os quais esses sistemas trocam informações (61).

A utilização das soluções disponibilizadas pelos Sistemas Inteligentes de Transporte em rodovias tem por objetivo a melhoria das condições de segurança de usuários e pedestres em ambientes com circulação de elevados volumes veiculares e, portanto, com maior probabilidade de ocorrência de acidentes.

Para tanto, são instalados equipamentos e sistemas ao longo das rodovias – preferencialmente em postos de operação e de fiscalização, com o objetivo de auxiliar a sua gestão e a sua operação, inclusive para atendimento aos usuários, permitindo a comunicação entre os operadores da via e os usuários e o meio de fornecimento de informações para os gestores. Os sistemas

que compilam e consolidam as informações e controlam os equipamentos localizam-se nos CCO (6).

Dada a grande quantidade de equipamentos e sistemas, torna-se necessária a padronização dos mesmos, de forma a permitir a comunicação entre todos eles.

Nesse sentido, a ANTT, por meio da Resolução 3323 define as diretrizes para a utilização dos equipamentos ITS e seu emprego nos sistemas de monitoramento das rodovias, de forma a garantir plena comunicação entre postos de fiscalização, praças de pedágio e outros equipamentos de coleta de dados posicionados ao longo das vias com os Centros de Controle Operacional (CCO).

3.2.1.1 Arquitetura ITS para Rodovias

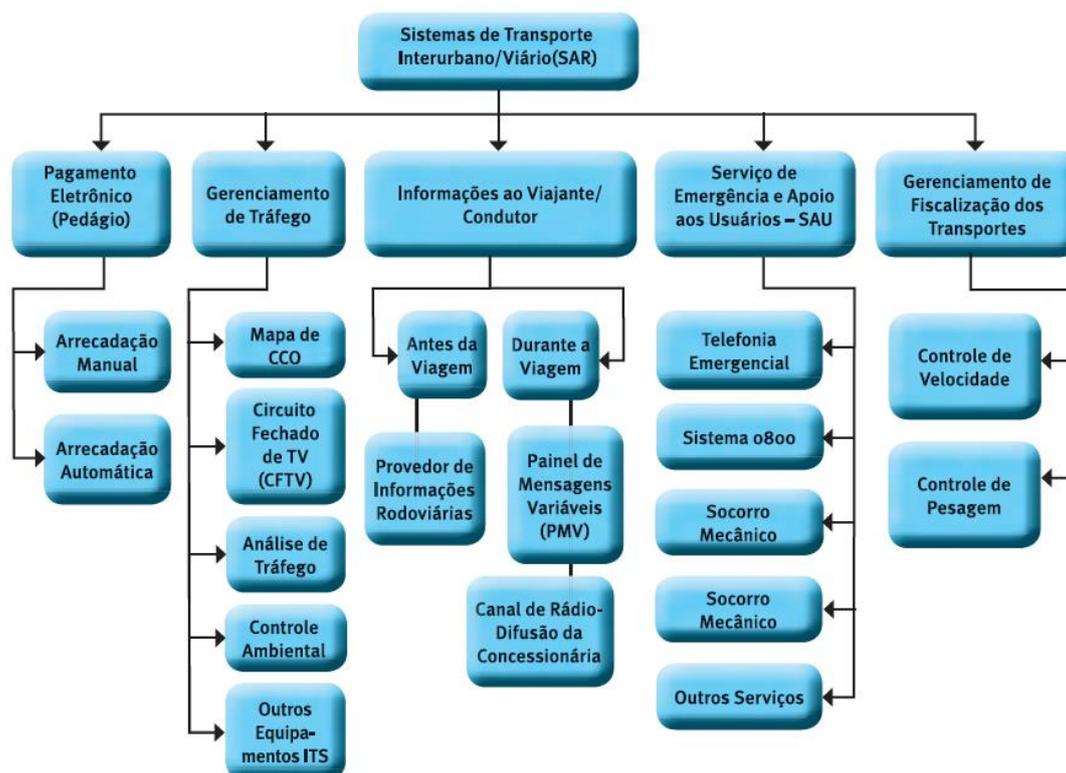
O sistema ITS em rodovias oferece suporte para as atividades de operação, manutenção, engenharia de tráfego, administração, assim como para eventos associados ao sistema rodoviário.

A figura mais adiante apresenta exemplo de arquitetura ITS para aplicação em rodovias, com a definição de cinco principais grupos de funções (6):

- Pagamento eletrônico de pedágio;
- Informações aos viajantes (usuário) / condutor (motorista);
- Gerenciamento do tráfego;
- Gerenciamento de fiscalização dos transportes;
- Serviços de emergência de apoio aos usuários.

Tais grupos de funções interagem entre si, trocando informações. A Figura 30 apresenta exemplo de arquitetura ITS para rodovias.

FIGURA 31– EXEMPLO DE ARQUITETURA ITS PARA RODOVIAS



FONTE (6)

3.2.1.2 Alguns dos Principais Sistemas ITS para Rodovias

Pagamento Eletrônico (Pedágio)

Considerando-se a arrecadação das tarifas de pedágio em rodovias, os sistemas podem ser classificados em abertos e fechados.

Nos sistemas fechados o valor de tarifa é variável, em função da distância percorrida ao longo da via com cobrança (tarifa de pedágio) e os pontos de cobrança / pedágio estão localizados nas entradas e saídas do sistema.

Nos sistemas abertos a cobrança ocorre em pontos isolados da via, nas praças de pedágio, a preço fixo, ou seja, independentemente da distância percorrida pelo usuário ao longo do sistema viário tarifado.

Um exemplo do sistema fechado é o Ponto a Ponto da Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP), que utiliza pórticos fixos nas entradas e saídas das rodovias. Nesses pórticos há antenas e

leitores que funcionam na mesma frequência que o chip eletrônico que é fixado nos veículos pelas operadoras de serviço de arrecadação autorizadas a operar no estado de São Paulo. Ao passar pelo pórtico as antenas e leitores reconhecem o dispositivo instalado no veículo, fazem a leitura e debitam o valor dos créditos do usuário com a operadora (62).

A Figura 32 apresenta exemplo de praça de pedágio.

FIGURA 32– PRAÇA DE PEDÁGIO



FONTE (6)

Centro de Controle Operacional (CCO)

O CCO Centraliza o monitoramento das informações e ocorrências ao longo da rodovia, tendo por objetivo oferecer maior agilidade e otimização dos recursos operacionais disponíveis com o principal objetivo de reduzir o tempo de atendimento aos usuários (6).

A Figura 33 apresenta exemplo de CCO.

FIGURA 33– EXEMPLO DE CCO



Ocorrências como acidentes, quebras, presença de animais na pista, realização de obras e ocorrência de congestionamento são registradas em sistema denominado Mapa de CCO, que também contém as ações tomadas pelos agentes da operadora da via (6).

A partir dessas informações são geradas as estatísticas e informações sobre a operação da rodovia que servem de apoio às agências reguladoras para verificação do atendimento aos requisitos contratuais (6).

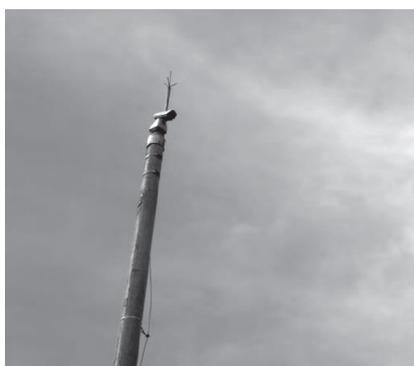
Circuito Fechado de TV (CFTV)

O Circuito Fechado de TV (CFTV) é utilizado no monitoramento e detecção de incidentes, contribuindo para melhor visualização dos processos em localizações críticas, como praças de pedágio, postos de pesagem e pontos estratégicos ao longo do sistema (6).

O CFTV é constituído por conjunto de câmeras de vídeo instaladas ao longo da via, de modo a oferecer cobertura adequada da área monitorada. O CFTV é dotado de meio de comunicação para transporte das imagens até o CCO para, em condições adequadas, permitir o tratamento, o armazenamento e a disponibilização das mesmas aos operadores.

A Figura 34 ilustra poste com câmera de TV integrada ao sistema.

FIGURA 34– POSTE COM CÂMARA CFTV



FONTE (6)

Principais aplicações do CFTV: Contagem de veículos, detecção de congestionamentos, detecção de incêndios, fumaça, detecção de incidentes

como intrusão de pedestres ou animais, veículos com baixas velocidades e/ ou avarias

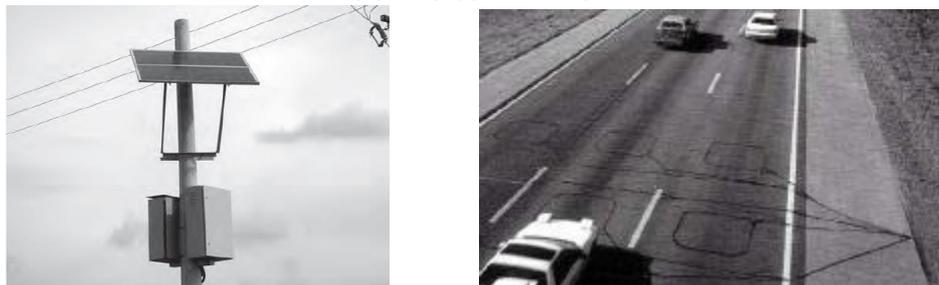
Sistema de Análise de Tráfego (SAT)

Os Sistemas de Análise de Tráfego (SAT) são equipamentos instalados ao longo da via responsáveis pela detecção da passagem dos veículos por meio de sensores instalados sobre a pista, por laços indutivos ou piezoelétricos (6).

Dessa forma, torna-se possível a obtenção de informações sobre os volumes de veículos em determinadas seções transversais da via ao longo do tempo, as velocidades com que os veículos cruzam tais seções transversais, bem como a classificação dos mesmos segundo o peso (leve, médio e pesado) e segundo os seus comprimentos / número de eixos.

As figuras 35A e B apresentam exemplo de SAT.

FIGURAS 35A E B - SAT



Os SAT também são utilizados para verificação quanto à conformidade dos níveis de serviço ofertados pela via em relação aos requisitos especificados para a operação da via. (6)

As informações são registradas e enviadas para o CCO para visualização e elaboração de estatísticas, tais informações servem de subsídios para planejar futuras intervenções e reduzir os feitos indesejados causados por congestionamentos e acidentes (6).

Estações Meteorológicas / Controle Ambiental

Esses equipamentos devem estar posicionados de forma estratégica ao longo da malha viária, proporcionando informações sobre temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento e visibilidade, com transmissão das informações em tempo real para o CCO.

No caso de condições atmosféricas adversas, as informações coletadas permitem que os operadores adotem medidas como organização do fluxo de tráfego em comboios de veículos e envio de alertas por meio dos painéis de mensagens variáveis e outros dispositivos.

As figuras 36A e B apresentam exemplos de estações meteorológicas.

FIGURAS 36A e B- ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS



3.2.1.3 Sistemas Inteligentes de Transporte Colaborativos (*Cooperative ITS* – C-ITS)

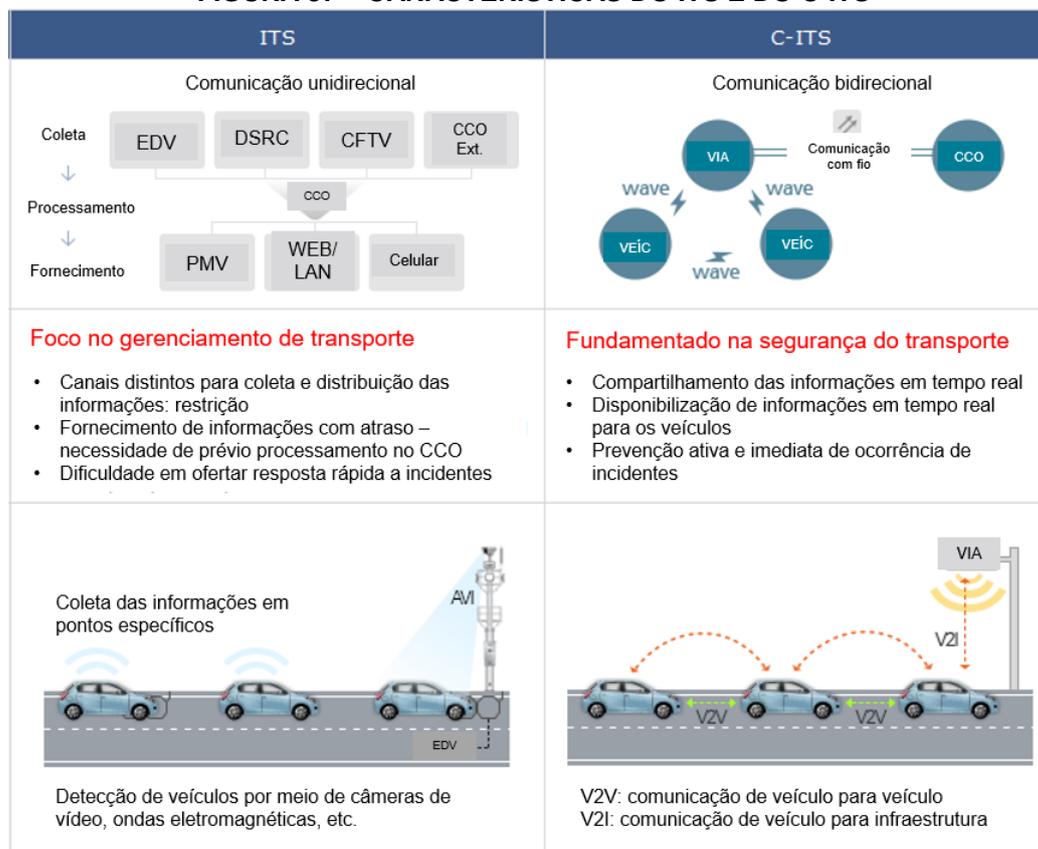
3.2.1.3.1 ITS E ITS Colaborativo

O ITS Colaborativo (C-ITS) tem foco na coleta das informações dos veículos no fluxo de tráfego e na comunicação bidirecional e em tempo real entre os diversos participantes das atividades de transporte – veículos, infraestrutura, pedestres, ciclistas, motociclistas, dentre outros. (63).

Assim sendo, após o processamento das informações coletadas, o ITS Colaborativo, tem condições de transmitir orientações em tempo real para os veículos no fluxo de tráfego tendo em vista a otimização da capacidade viária e a oferta de melhores condições de segurança (64).

A Figura 37 apresenta de forma esquemática algumas das principais características do ITS e do ITS Colaborativo.

FIGURA 37 – CARACTERÍSTICAS DO ITS E DO C-ITS



FONTE (64)

Nos sistemas ITS o fluxo das informações é unidirecional. As informações são captadas em pontos específicos por meio de laços contadores / EDV (Estações Detectoras de Veículos), comunicações dedicadas de curto alcance (DSRC), imagens do Circuito Fechado de TV e de CCO externos. As informações são processadas nos CCO, as ações são definidas e transmitidas aos usuários e aos responsáveis pela operação da via por meio de painéis de mensagens variáveis (PMV), rede de telefonia celular e rede (WEB / LAN).

No ITS Colaborativo as informações são trocadas entre veículos, dispositivos, infraestrutura e usuários por meio do protocolo WAVE – *Wireless Access in Vehicle Environments* – Ambiente Veicular sem Fio e em Movimento, por meio de ondas de rádio (65).

O protocolo WAVE permite a realização de comunicações V2V entre veículos no fluxo de tráfego, entre veículos e infraestrutura (V2I) e entre veículos e demais dispositivos / demais usuários (V2X), sempre de forma bidirecional.

3.2.1.3.2 Conectividade como Elemento para Interação dentre Infraestrutura e Veículos

A conectividade é um elemento fundamental em função da necessidade de interação entre as partes envolvidas: sistemas veiculares, infraestrutura viária, órgãos responsáveis pela operação das vias e usuários.

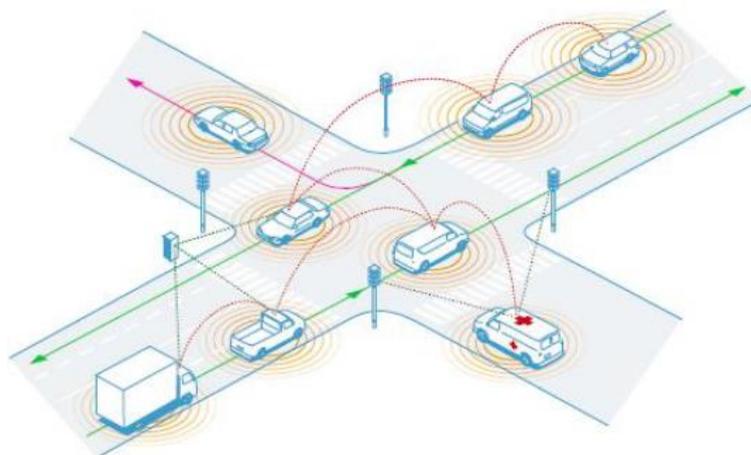
Dessa forma torna-se de fundamental importância assegurar as condições necessárias de modo a se obter ambiente proativo para o desenvolvimento da condução automatizada conectada (*Connected and Automated Driving* – CAD), na qual, além do conhecimento do posicionamento geográfico, torna-se necessária a digitalização do relacionamento entre os agentes envolvidos.

As comunicações de curto alcance ocorrem principalmente por meio do protocolo sem fio DSRC (Comunicações dedicadas de curto alcance ou *Dedicated Short Range Communication*), utilizado basicamente nas comunicações entre veículos (V2V) e entre veículos e infraestrutura (V2I).

As informações entre veículos (V2V – *Vehicle to Vehicle*) são trocadas ao longo do próprio fluxo de tráfego, enquanto a comunicação V2I (*Vehicle to Infrastructure*) ocorre ao longo das vias nos locais aonde estão posicionados os dispositivos de comunicação (RSU – *Roadside Units*). As comunicações entre veículos e outros dispositivos e usuários da via – como pedestres, motociclistas e ciclistas, ocorre por meio das comunicações V2X (*Vehicle to Everything*) (66). Essas trocas de informações utilizam majoritariamente o protocolo sem fio DSRC (*Dedicated Short Range Communication*).

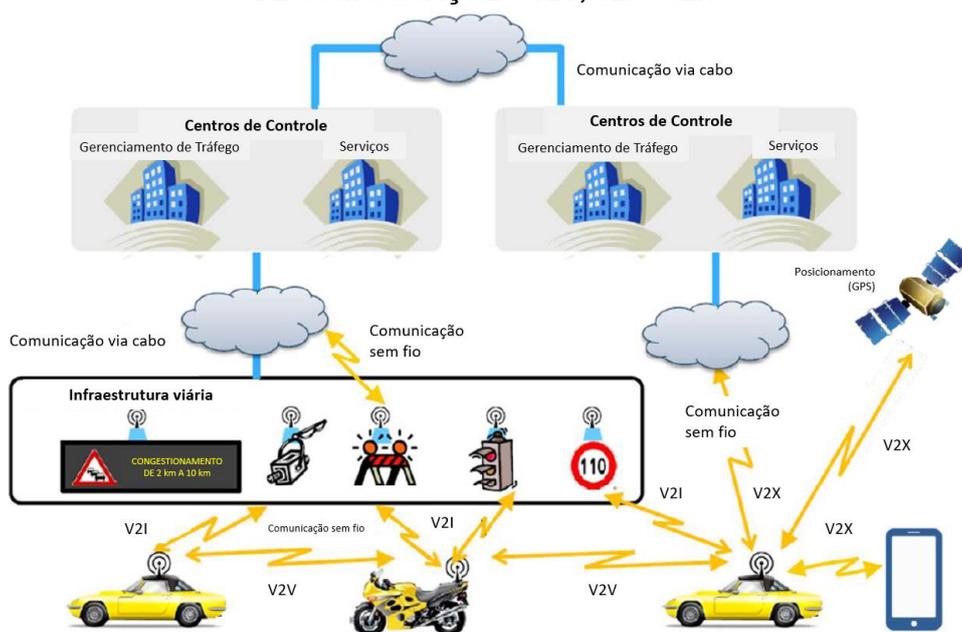
As figuras 38 e 39 apresentam exemplos de comunicações de curto alcance no ITS Colaborativo.

FIGURA 38 – EXEMPLO DE INTERAÇÕES NO ITS COLABORATIVO



FONTE (66)

FIGURA 39– REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CONEXÕES COM FIO E SEM FIO E DE COMUNICAÇÕES V2V, V2I e V2X



FONTE (67)

A Figura 40 traz exemplo de utilização do ITS Colaborativo com o envio de informações de ocorrência de incidente / acidente na via ao Centro de Controle Operacional por meio da comunicação V2I, envio das informações para o fluxo à montante com aviso para desvio de percurso.

FIGURA 40 – EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO ITS COLABORATIVO



FONTE (64)

Um dos fatores importantes para a evolução da conectividade de longo alcance sem fio é o desenvolvimento das redes de telefonia móvel 5G, mais poderosas que as atuais redes 3G e 4G, atualmente empregadas principalmente para simples acessos à Internet móvel.

No ITS Colaborativo, há *links* para trocas de informações com as estações móveis (veículos, *smartphones*, dentre outros) como avisos de realização de obras na pista, frenagem brusca à frente e movimentos em cruzamentos.

Espera-se que a tecnologia de 5ª geração da telefonia celular (5G) amplie as condições de conectividade de longo alcance de forma significativa, disponibilizando recursos sofisticados de arquitetura de redes móveis, com grande largura de banda e elevada latência na troca de informações.

3.2.1.3.3 ITS Colaborativo – Serviços em Potencial

A seguir é apresentada lista de serviços passíveis de oferta por parte dos sistemas de ITS Colaborativo, agrupadas de acordo com o tipo de comunicação (V2X, V2I, V2X), finalidade (segurança, aplicação em rodovias; vias expressas, meio urbano, estacionamento, definição de rotas, logística,

usuários vulneráveis, prevenção de colisões e aviso de circulação em contramão) e cronograma de implementação (implantação inicial – “Day 1”, implantação complementar “Day 1.,5”) (66).

O grupo inicial (*Day 1*) contém os serviços com maiores benefícios sociais esperados, tecnologia mais desenvolvida para implementação e com possibilidade de disponibilização em prazo mais curto.

Já os serviços a serem implantados de forma complementar (*Day 1.5*), são aqueles considerados desejados pelo mercado e com tecnologias suficientemente desenvolvidas, mas ainda com necessidade de desenvolvimento de padronizações e aprimoramento de especificações.

Serviços Iniciais (*Day 1*)

Grupo 1 – Comunicação V2V – Segurança

- Alerta de frenagem de emergência;
- Alerta de aproximação de veículo de emergência;
- Alerta de veículo lento ou parado à frente;
- Alerta de congestionamento à Frente.

Grupo 2 – Comunicação V2I – Rodovias

- Notificação de local perigoso;
- Aviso de obras na pista;
- Condições meteorológicas;
- Apresentação da sinalização no painel do veículo;
- Apresentação dos limites de velocidade no painel do veículo;
- Captura de informações do veículo;

- Recomendações de velocidade com o objetivo de reduzir congestionamento e a densidade do o fluxo de tráfego.

Grupo 3 – Comunicação V2I – Áreas Urbanas

- Otimização da circulação do fluxo para redução do tempo de espera em semáforos;
- Desrespeito ao sinal vermelho / segurança em cruzamentos;
- Prioridade no verde do semáforo para veículos de emergência.

Serviços Complementares (Day 1.5)

Grupo 4 – Comunicação V2I – Estacionamento

- Informações sobre vagas de estacionamento pagas;
- Informações sobre vagas de estacionamento na rua e gerenciamento.

Grupo 5 – Comunicação V2I – Rotas Inteligentes

- Informações sobre estações de abastecimento e de recarga para veículos elétricos
- Informações sobre o tráfego e definição de rotas;
- Controle de acesso para áreas urbanas.

Grupo 6 – Comunicação V2I – Logística

- Gerenciamento de áreas de carga e descarga.

Grupo 7 – Comunicação V2X – Proteção aos Usuários Vulneráveis

- Proteção aos Usuários Vulneráveis (pedestres e ciclistas).

Grupo 8 – Comunicação V2V – Prevenção de Colisões

- Alerta Colaborativo de Risco de Colisões;
- Indicação de Aproximação de Motociclista.

Grupo 9 – Comunicação V2I – Contramão

- Alerta de circulação na contramão.

3.2.1.3.4 Alguns dos Principais Aspectos Associados à Implantação do ITS-Colaborativo

A seguir é apresentada breve descrição de alguns dos principais aspectos associados (66).

Acesso às Informações dos Veículos

Como a trajetória dos veículos é rastreada pelos dispositivos do ITS Colaborativo, torna-se necessário o consentimento dos usuários / proprietários na utilização das informações coletadas sobre os veículos (roteiro, velocidade, horários, locais de estacionamento, dentre outras).

Também se fazem necessárias medidas para garantir a proteção das informações coletadas de forma a garantir a privacidade e segurança dos usuários e das empresas.

Além disso, os dispositivos do ITS Colaborativo que se comunicam com os veículos e captam as informações, não devem interferir no seu

funcionamento, de modo a não haver alteração das responsabilidades atribuídas aos fabricantes dos automóveis e demais componentes.

Também são de fundamental importância as questões associadas à padronização na especificação de equipamentos, sistemas e protocolos de comunicação de forma a assegurar a interoperabilidade entre os diversos sistemas envolvidos.

Segurança

Apesar das vantagens associadas ao ITS Colaborativo, a sua implantação pode trazer fatores colaterais com impacto sobre a segurança associados à falta de conhecimento adequado dos motoristas e usuários sobre os recursos e sistemas associados, percepção equivocada, excesso de confiança nas funcionalidades e serviços disponibilizados, dentre outros, daí a necessidade de enfatizar as questões associadas ao treinamento e conscientização.

Além disso, a circulação mista no fluxo de tráfego de veículos convencionais e de veículos aptos a usufruir das funcionalidades do ITS Colaborativo pode ocasionar riscos que devem ser identificados, analisados e solucionados.

Também é de fundamental importância a interface do sistema com os usuários (motorista x máquina).

Responsabilidade

Mesmo com os benefícios decorrentes da implantação do ITS Colaborativo há questões sensíveis à segurança que devem ser abordadas, como:

- **O excesso de confiança dos usuários nas informações fornecidas pelo ITS Colaborativo** – especialmente aquelas provenientes das autoridades públicas. É necessário esclarecer e conscientizar os usuários de que há limitações com relação às

informações oferecidas especialmente para os serviços de alerta críticos e com relação à sinalização da via (nos casos em que não houver sinalização física);

- **Em ambientes de elevada conectividade e automatização da condução veicular as informações fornecidas pelo ITS Colaborativo podem vir a desencadear ações do veículo, tornando necessária análise criteriosa quanto às responsabilidades envolvidas em especial para os serviços referentes às etapas mais avançadas do C-ITS.**

Aceitação das Tecnologias do ITS Colaborativo

As principais características e benefícios associados à implantação do ITS Colaborativo devem ser muito bem esclarecidos e documentados, de forma a fornecer os argumentos necessários para angariar o apoio dos profissionais das áreas técnicas envolvidas, usuários e operadores, com o objetivo de buscar a viabilização para os investimentos decorrentes em veículos e infraestrutura viária.

Elementos de Custos Envolvidos

Abrangem itens de investimento e de manutenção de dispositivos, equipamentos e aplicativos necessários ao funcionamento do ITS Colaborativo:

- **Central ITS** – pode estar integrada a uma central de gerenciamento de tráfego. Subsistema capaz de gerir serviços em meio urbano ou rodoviário;
- **Dispositivos ITS pessoais** – dispositivos móveis não incorporados aos veículos como *smartphones*, *tablets*, e outros, que podem habilitar a comunicação V2I ao longo de vias e regiões dotadas de dispositivos;

- **Dispositivos ITS embarcados no veículo** – implantados pelos fabricantes dos veículos, habilitando a comunicação V2V e V2I ao longo de vias e regiões dotadas de dispositivos;
- **Dispositivos ITS posicionados ao longo da via** – como sensores instalados em postes, pórticos, semáforos inteligentes, dentre outros, habilitando a comunicação V2I ao longo de trechos específicos de vias.

3.2.1.3.5 ITS Colaborativo e Condução Veicular Automatizada

Os sistemas de automatização da condução veicular podem oferecer suporte ao motorista em determinados segmentos ao longo do seu trajeto, ofertando funcionalidades como ACC, LKA, permitindo evitar a realização de manobras de ultrapassagem em condições inseguras e oferecendo assistência em interseções e interconexões, proporcionando benefícios relevantes para o aumento das condições segurança.

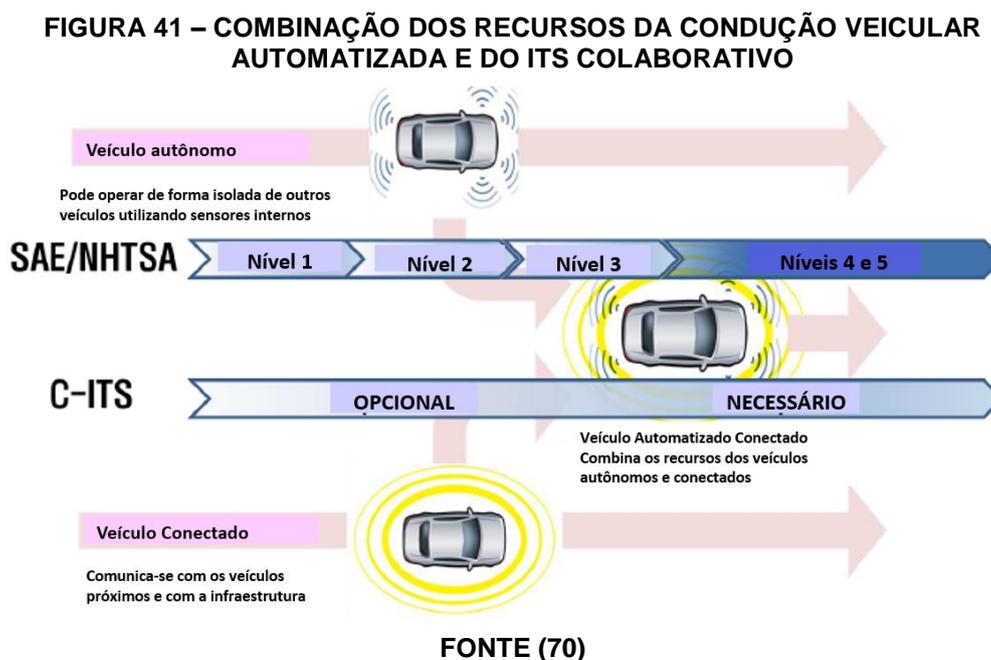
Todavia, para que seja possível alcançar a plenitude dos benefícios da condução veicular automatizada, faz-se necessário associar a ela o emprego dos recursos associados ao C-ITS (68).

Os veículos dotados com os recursos da condução automatizada associados à infraestrutura viária equipada com os recursos do ITS Colaborativo podem trocar informações entre si, possibilitando que os motoristas tenham conhecimento ou seja, sejam alertados sobre eventos na malha viária com antecedência e que estejam preparados para tomar as medidas necessárias para evitar possíveis situações de risco. Dessa forma é possível concluir que a combinação dos recursos da condução automatizada com o ITS Colaborativo apresenta potencial para aumentar a segurança viária (69).

No contexto da automatização da condução veicular, há o entendimento de que, os seus níveis mais elevados – 4 e 5 (SAE J3016); somente poderiam ser alcançados de forma efetiva por meio do suporte ofertado pelo ITS Colaborativo.

Nessas situações, os recursos associados ao ITS Colaborativo poderiam ser empregados para superar as limitações inerentes aos sistemas veiculares constituintes dos veículos automatizados, em especial em relação às informações detectadas pelas sensores e limitações decorrentes de fatores externos, como, por exemplo, condições atmosféricas e de luminosidade. Os recursos associados ao ITS colaborativo também podem auxiliar os veículos automatizados a lidar com as interações complexas, múltiplas e simultâneas entre motoristas, pedestres e via, especialmente em meios urbanos.

A Figura 41 ilustra a combinação entre as funcionalidades da condução veicular automatizada e do ITS Colaborativo, de forma a ofertar as condições necessárias à condução veicular automatizada em seus níveis mais elevados (4 e 5 da SAE J3016) (70).



3.3 INFRAESTRUTURA VIÁRIA

A infraestrutura viária constitui-se no meio físico que propicia suporte para a circulação dos vários tipos de veículos e a interação entre esses e os diversos tipos de usuários, inclusive os vulneráveis, como pedestres, ciclistas e motociclistas.

As obras de infraestrutura viária apresentam características peculiares como a grande magnitude associada aos recursos para implantação, operação

e de manutenção, além do caráter multidisciplinar, envolvendo geometria, pavimentação, sinalização, drenagem, hidrologia, geotecnia, estruturas, tráfego, dentre outras.

Além disso, tais obras têm como uma das principais características a extensa vida útil, com o objetivo de maximizar os benefícios gerados e minimizar os custos associados à sua implantação, manutenção e operação.

Dessa forma, é relevante a consideração do impacto sobre a infraestrutura viária das recentes inovações associadas à condução veicular automatizada e conectada (CAD – *Connected and Automated Driving*), que, com os seus recursos associados, podem otimizar a utilização das obras de infraestrutura viária.

Além das questões associadas à infraestrutura viária, há também os aspectos relacionados às regulamentações e legislação de trânsito em geral, necessários para oferta das condições necessárias para a realização de testes e para a utilização dos veículos dotados de recursos da condução automatizada em vias públicas.

Torna-se necessário então, pelo menos a longo prazo, que a infraestrutura viária reúna as condições mínimas necessárias para dar adequado suporte, por meio de elementos físicos e digitais, à circulação dos veículos automatizados nos diversos níveis previstos pela SAE, especialmente os mais elevados (4 e 5).

A seguir é apresentada alguns dos principais requisitos desejáveis à infraestrutura viária tendo em vista o fornecimento de condições minimamente adequadas para a fase inicial de transição para a circulação de veículos com recursos embarcados da condução automatizada e conectada. (71).

- Boa qualidade e visibilidade (em especial o contraste) das linhas demarcatórias das faixas de rolamento, de modo a facilitar o controle do movimento transversal do veículo;
- Disponibilidade de visibilidade tanto para os motoristas, quanto para o adequado funcionamento dos sensores, de modo a permitir a adequada visualização dos dispositivos de sinalização. Devem ser tomadas medidas para evitar que os dispositivos de sinalização

sejam encobertos por vegetação e que a sua reflexividade seja adequada para permitir a boa visualização;

- Representação da sinalização viária também em meio digital – informações estáticas e informações dinâmicas referentes ao tráfego por meio de bases de dados, mapas e também dos dispositivos de sinalização ao longo da via;
- Vias com acostamentos com o objetivo de proporcionar locais seguros de parada em situações de emergência;
- Utilização de sistemas de semáforos inteligentes que se comuniquem com dispositivos de controle, interagindo com os demais elementos / usuários por meio da infraestrutura digital;
- Os painéis de mensagens variáveis deverão ter tecnologia compatível com as características necessárias para a adequada captação por parte das câmeras de vídeo empregadas nos veículos automatizados;
- Identificação e comunicação de circulação de veículos em comboios ao longo do sistema viário;
- Destinação de faixas dedicadas à circulação de veículos automatizados em casos viáveis do ponto de vista econômico.

3.3.1 Infraestrutura Digital

A infraestrutura digital é constituída por bases de dados e informações geográficas, bem como as informações provenientes de simulações e análises dinâmicas.

A infraestrutura digital deve contemplar as informações estáticas e dinâmicas e se conectar e interagir com os veículos em circulação no fluxo de tráfego por meio de sistemas de comunicação híbrida – curto alcance e longo alcance. A troca de informações deve ocorrer por meio da ampliação contínua da cobertura de telefonia celular para a comunicação de longo alcance e o desenvolvimento da comunicação com a infraestrutura ao longo da via por

dispositivos de curto alcance (tanto em ambientes urbanos quanto em ambientes rurais) (71).

O emprego do sistema automatizado da condução veicular, do ITS Colaborativo e do gerenciamento avançado do fluxo de tráfego passa a demandar os recursos da infraestrutura viária digital

Quanto maior a adaptação da infraestrutura aos requisitos da condução veicular automatizada e conectada, maiores as condições para a melhoria da segurança, da capacidade viária e da redução dos custos de deslocamento (72).

A seguir são indicadas as principais características da infraestrutura digital (71):

- Troca bidirecional entre veículos e infraestrutura de informações relacionadas à segurança, ao fluxo de tráfego e alertas em tempo real envolvendo, por exemplo, congestionamentos e condições atmosféricas desfavoráveis;
- Posicionamento de sensores ao longo da infraestrutura de forma a detectar os elementos do fluxo de tráfego como veículos e outros como pedestres e ciclistas e transmissão dessas informações aos veículos em circulação;
- Realizar transmissões de informações padronizadas sobre ocorrências como realização de obras na pista e acidentes, fornecendo localização, indicação da faixa de rolamento bloqueada, horário, limite de velocidade, etc. Essas informações podem ser transmitidas por meio de mapas dinâmicos locais e mapas de alta definição;
- Transmissão das informações sobre os tempos de ciclo dos semáforos e realização de ajustes desses tempos função do fluxo de tráfego em circulação, fornecimento de informações sobre os cruzamentos em nível;
- Fornecimento de informações sobre a regulamentação local de trânsito (semáforos, paradas obrigatórias, preferências, dentre outras);

- Informação sobre os limites (dinâmicos de velocidade), limites de velocidade em áreas urbanas;
- Informação sobre a circulação de veículos de emergência (como ambulâncias, bombeiros e polícia) de forma a priorizar o seu deslocamento, inclusive em cruzamentos e corredores.

A Figura 42 apresenta de forma conceitual o relacionamento entre a adequação da infraestrutura e os investimentos em recursos embarcados nos veículos.

FIGURA 42 – RELACIONAMENTO ENTRE O ÍNDICE DE ADEQUAÇÃO DA INFRAESTRUTURA E O NÍVEL DE AUTOMATIZAÇÃO DA CONDUÇÃO VEICULAR



FONTE (72)

A seguir são indicados alguns dos requisitos para a adequação das vias à circulação dos veículos automatizados, como (73):

- Atualização e adaptação dos processos e requisitos para manutenção da infraestrutura viária, como pavimentação e sinalização
- Consideração de elementos de projeto específicos de modo a assegurar que a condução automatizada veicular seja segura e

eficiente tanto nas vias a serem implantadas, quanto nas vias existentes – em uma futura fase de transição com a circulação mista de veículos automatizados e convencionais.

- Necessidade de centros de gerenciamento de tráfego para organizar de forma eficaz e segura tanto o fluxo de veículos convencionais quanto o fluxo de veículos automatizados.

Além disso a Infraestrutura Digital também contempla os elementos necessários à integração de seus diversos integrantes, como (73):

- Dispositivos de localização como satélites, posicionamento via celular e LAN, e elementos de sinalização viária
- Infraestrutura de comunicação
- Procedimentos computacionais incluindo centros de gerenciamento de informações, servidores e bases de informações, servidores para troca de dados, sensores de fluxo de tráfego, dentre outros.

É possível considerar que as atuais características da infraestrutura viária sejam adequadas para os veículos com recursos até o Nível 2 / SAE da condução veicular automatizada.

A partir do Nível 3 / SAE, surge a necessidade de recursos adicionais à infraestrutura, de forma a permitir a adequada circulação dos veículos automatizados no fluxo de tráfego.

3.3.1.1 Níveis de Suporte da Infraestrutura

No contexto da condução veicular automatizada e conectada é possível definir diferentes níveis de suporte ofertados pela infraestrutura viária relacionados aos recursos ofertados pela via.

O programa INFRAMIX (74) estabelece classificação esquemática da infraestrutura viária, de acordo com os recursos de suporte às tecnologias digitais e ITS Colaborativo, denominado ISAD – *Infrastructure Support Levels for*

Automated Driving, ou Índice de Disponibilidade de Informações Ofertadas pela Infraestrutura.

A classificação define 5 níveis, que não têm qualquer relação com a classificação SAE para a condução veicular automatizada.

A seguir é fornecida uma breve descrição para cada um dos 5 níveis. Os níveis A, B e C contemplam recursos associados à infraestrutura digital. Já os níveis D e E referem-se apenas à infraestrutura convencional.

Nível A – Condução Colaborativa (Infraestrutura Digital)

Neste nível as informações sobre as movimentações dos veículos são disponibilizadas em tempo real e a infraestrutura viária conta com os recursos para orientar a circulação dos veículos automatizados – em grupos (comboios) ou isolados, com o objetivo de otimizar o fluxo de tráfego.

Possíveis tipos de orientação aos veículos no Nível A: permanência ou mudança da faixa de rolamento, distância de separação em relação ao veículo que está à frente e velocidade praticada (73).

Nível B – Condução Colaborativa / Perceptiva (Infraestrutura Digital)

Neste nível, a infraestrutura é capaz de detectar ocorrências microscópicas no fluxo de tráfego (como uma frenagem de emergência, por exemplo) e de fornecer essas informações aos veículos em tempo real.

As informações dinâmicas são obtidas por meio da comunicação V2X (73).

Nível C – Informações Dinâmicas Digitais (Infraestrutura Digital)

Todas as informações dinâmicas e digitais referentes à infraestrutura estão disponíveis em formato digital.

Disponibilidade do mapeamento digital do sistema viário incluindo intervenções previstas e em execução, regulamentações de trânsito. Disponibilidade de informações sobre o fluxo de tráfego como ocorrência de congestionamentos, acidentes, incidentes, ocorrências meteorológicas pontuais (73).

Nível D – Informações Estáticas Digitais / Suporte de Mapeamento (Infraestrutura Convencional)

Dados do mapeamento digital disponíveis inclusive com a sinalização estática da via. As informações do mapeamento podem ser complementadas por pontos físicos de referência ao longo das vias.

Como a infraestrutura digital não está disponível neste nível, os veículos automatizados devem necessariamente identificar ocorrências como: sinalização de intervenções ao longo da via, informações fornecidas pelos painéis de mensagens variáveis (PMV), tempos semaforicos em cruzamentos.

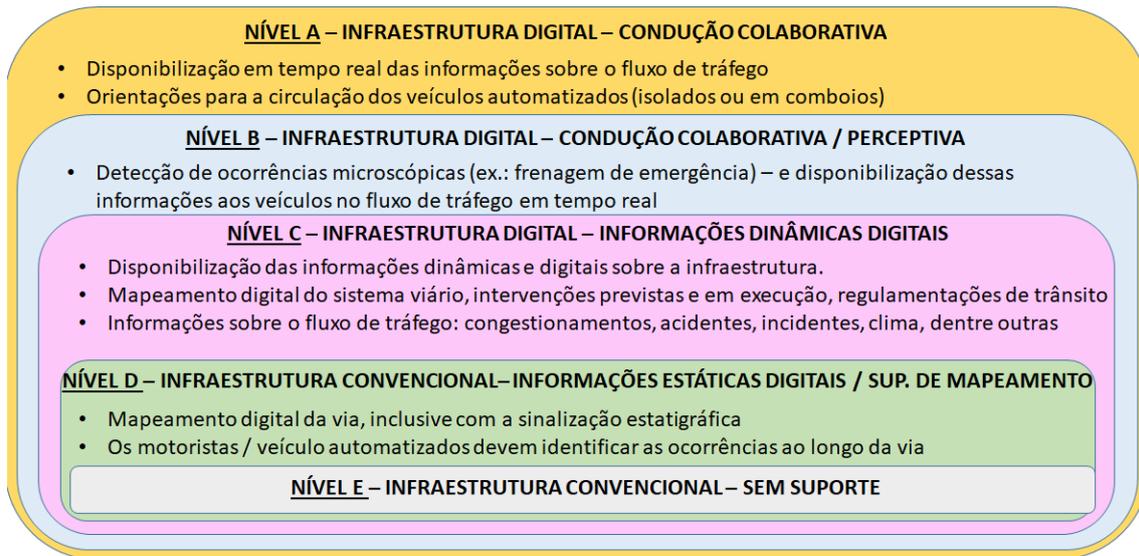
Nível E – Infraestrutura Convencional – Indisponibilidade de Suporte à condução Veicular Automatizada

Neste caso sequer há a disponibilidade do mapeamento digital da via e de seus elementos de sinalização estática.

Dessa forma, o sistema automatizado da condução deverá ter as condições para identificar os elementos de geometria e de sinalização da via de forma a permitir a circulação do veículo.

A Figura 43 apresenta de forma esquemática os diversos níveis de suporte digital passíveis de serem ofertados pela infraestrutura.

FIGURA 43 – NÍVEIS DE SUPORTE DIGITAL OFERTADOS PELA INFRAESTRUTURA



FONTE (74, 75)

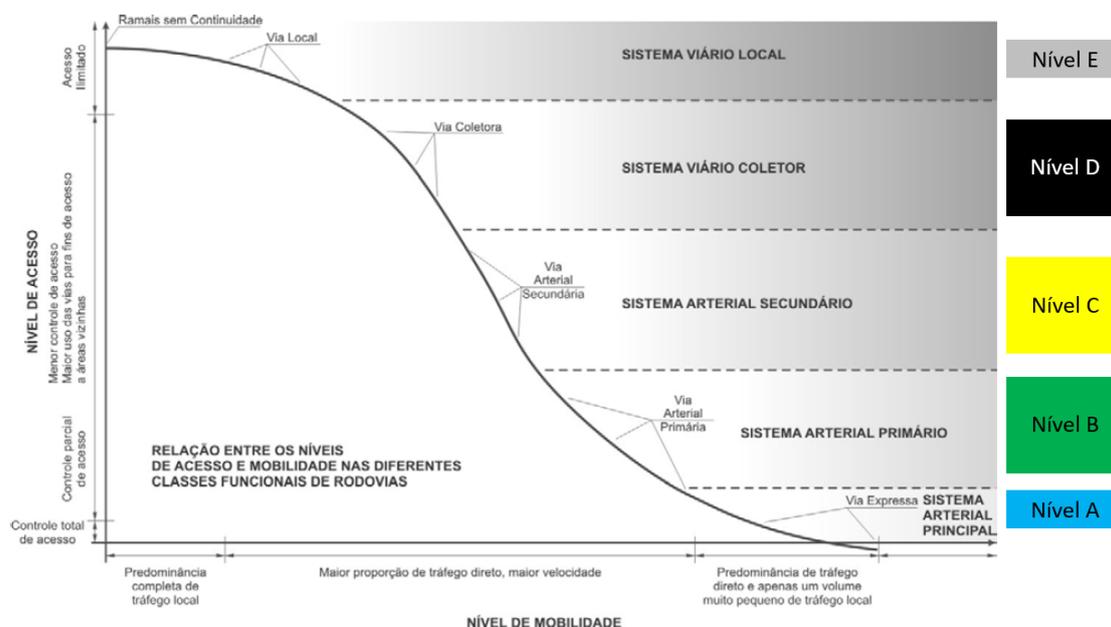
3.3.1.2 Relação entre a Classificação Funcional das Vias e os Níveis de Suporte da Infraestrutura

Do ponto de vista funcional, as vias podem ser classificadas em (75):

- Vias arteriais: proporcionam alto nível de mobilidade para elevados volumes e densidades de tráfego, destinadas a viagens de longa distância. Podem ser subdivididas em sistema arterial principal, primário e secundário. Velocidades de operação entre 40km/h e 120km/h;
- Vias coletoras: têm como função atender tráfego intermunicipal e centros geradores de tráfego de menor vulto não atendidos pelo Sistema Arterial. Atende distâncias de viagens mais curtas. Complementa o sistema de vias arteriais e pode ser subdividido em coletor primário e coletor secundário. Velocidades de operação entre 30km/h e 60km/h;
- Viário local: constituído por vias de pequena extensão destinadas ao acesso de pequenas propriedades. Pode apresentar descontinuidade, mas é interligado ao restante da malha viária. Velocidades de operação de 20km/h a 50km/h.

No contexto da condução veicular automatizada conectada, torna-se possível estabelecer uma correlação entre a classificação funcional das vias e o nível de suporte ofertado pela infraestrutura, conforme indicado na Figura 44.

FIGURA 44 – RELACIONAMENTO ENTRE A DISPONIBILIDADE DE RECURSOS DIGITAIS DA INFRAESTRUTURA E A CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DAS VIAS

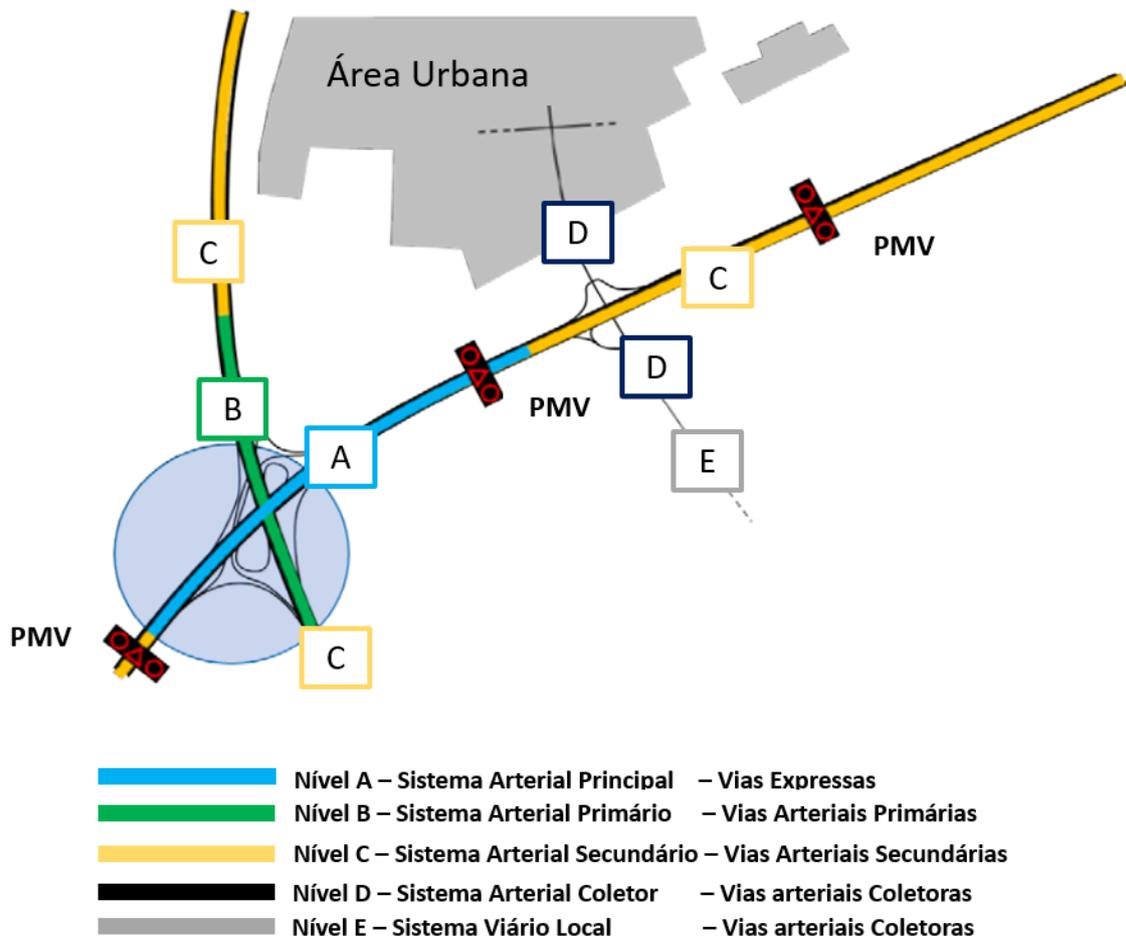


FONTE (74, 75)

As vias de classificação funcional e velocidades de operação mais elevadas devem contar com suporte de infraestrutura digital de maior abrangência. Dessa forma o Sistema Arterial Principal deveria contar com o nível A de Suporte Digital à Infraestrutura, Sistema Arterial Primário com o nível B e Sistema Arterial Secundário com nível C, conforme indicado na Figura 45.

Ainda de acordo com o programa INFRAMIX (74), o ambiente de domínio operacional (condução automatizada – correspondente ao setor automotivo) e o nível de suporte ofertado pela infraestrutura viária (referente ao setor de infraestrutura viária) estão diretamente associados e devem ser desenvolvidos e implementados de maneira integrada, considerando a oferta de infraestrutura digital (como dispositivos eletrônicos de regulamentação) e física / analógica (como estado de conservação das linhas demarcatórias das faixas de rolamento e das placas de sinalização vertical).

FIGURA 45 – DISPONIBILIDADE DE RECURSOS DIGITAIS DE INFRAESTRUTURA EM FUNÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DA VIA



PMV - PAINEL DE MENSAGENS VARIÁVEIS

FONTE (74, 75)

4. CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA (CAD – CONNECTED AND AUTOMATED DRIVING)

O termo Condução Veicular Automatizada e Conectada (*Connected and Automated Driving*), é empregado para a associação entre os recursos da condução veicular automatizada – em seus diversos níveis, de acordo com a SAE J3016, do ITS Colaborativo e da infraestrutura viária – tanto a física quanto a digital.

As tecnologias associadas à Condução Automatizada e Conectada apresentam grande potencial de contribuição para a segurança, eficácia e eficiência e são consideradas fundamentais para influenciar o futuro da mobilidade e, conseqüentemente, da qualidade de vida das pessoas, destacando-se os seguintes aspectos (8):

- Segurança – possibilidade de redução dos acidentes causados pelos erros humanos;
- Novas soluções de mobilidade proporcionando aumento da eficiência dos sistemas de transporte, menor consumo de energia e redução da emissão de poluentes;
- Maior conforto permitindo que o motorista realize outras atividades enquanto o sistema automatizado estiver no controle do processo de condução;
- Maior possibilidade de inclusão social, oferecendo mais opções para idosos, crianças e jovens e portadores de necessidades especiais.

4.1 ALGUNS DOS PRINCIPAIS ASPECTOS ASSOCIADOS À IMPLANTAÇÃO DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA

De acordo com o guia desenvolvido pela Comissão Europeia para Pesquisa e Inovação (36) torna-se necessária a consideração de aspectos

técnicos e também de fatores sociais, humanos, legais e econômicos, propondo uma abordagem em 5 níveis principais, descritos a seguir.

Aspectos Técnicos

Do ponto de vista técnico, a condução veicular automatizada e conectada é fundamentada a aplicação de sistemas de controle e retroalimentação (*feedback*) constituídos de componentes para aquisição de informações, percepção, comunicação, tomada de decisão, controle e atualização.

As tecnologias envolvidas basicamente são sistemas inteligentes, como sensores posicionados ao longo da malha viária, mapas e sistemas de classificação, conexões sem fio, micro controladores e algoritmos, sistemas eletrônicos de controle e sistemas conectados via cabo.

Apenas recentemente, com a disponibilidade dos recursos tecnológicos, tornou-se possível o desenvolvimento desses sistemas, com avanços na percepção e na capacidade cognitiva, cogitando-se então a disponibilização de funcionalidades associadas aos níveis 2 e 3 SAE J3016, como circulação de veículos em vias expressas em situações de fluxo congestionado, bem como *shuttles* operando no nível 4 SAE J3016 em ambientes controlados e outras.

A Figura 46 apresenta um exemplo de *shuttle* conduzido de forma autônoma (nível 5) para o transporte de pessoas (até quinze passageiros).

FIGURA 46 – SHUTTLE CONDUZIDO DE FORMA AUTÔNOMA (NÍVEL 5)



FONTE (76)

Apesar dos recentes avanços ainda há vários desafios de grandes dimensões a serem superados para o alcance da automatização no nível 4 SAE

J3016, em especial em ambientes de operação complexos como situações com circulação tráfego misto (veículos convencionais e veículos automatizados e conectados) ou tráfego urbano com presença de usuários vulneráveis, sendo ainda mais complexo o alcance do nível 5 SAE J3016, que não supõe limitações associadas ao ambiente de domínio operacional (ODD).

Aspectos Sociais

Com relação ao aspecto social, os principais fatores associados são a segurança e a melhoria das condições de circulação em fluxo intenso.

Há estudos que indicam que a quantidade de quilômetros percorrida, e consequentemente o consumo de combustível, pode subir em função das conveniências proporcionadas pela condução veicular automatizada e conectada: o consumo de energia por quilometro rodado pode ser reduzido a 1/3 do atual, mas o consumo total de energia – em relação ao que hoje é gasto, pode vir a ser triplicado.

Verificou-se que a percepção das pessoas em relação aos benefícios proporcionados pela condução automatizada e conectada podem variar em função do gênero, idade, localidade e outros fatores populacionais e que os problemas referentes à aceitação estão relacionados a a preocupações com segurança, saúde e bem-estar dos passageiros e outros usuários do sistema viário, segurança cibernética e ética dos critérios quanto à utilização de informações pessoais e processos de inteligência artificial empregados.

Aspectos Econômicos

A introdução da condução veicular automatizada e conectada traz a possibilidade de desenvolvimento de novos modelos de negócios, que necessitam ser desenvolvidos e amadurecidos e que deverão aumentar a competitividade na indústria automobilística e setores associados.

Como exemplo é possível citar projetos de mobilidade sob demanda (MaaS – *Mobility as a Service*) em desenvolvimento utilizando *shuttles* em ambientes controlados e com baixa velocidade de circulação.

Na Europa há vários projetos em desenvolvimento com o objetivo de definir os requisitos necessários para a condução automatizada e conectada como as comunicações V2X, que possibilitarão desenvolvimento de soluções para veículos, aplicativos e infraestrutura de modo a promover a necessária integração para a criação de novos serviços e modelos de negócios.

Aspectos Legais

A Convenção de Viena de 1968 estabelece diretrizes sobre a circulação tráfego em vias e é adotada como referência por grande quantidade de países, dentre eles o Brasil.

Dentre essas diretrizes está a aquela a regulamentação que estabelece que o motorista mantenha o domínio e o controle do veículo ao longo de todo o trajeto.

Dessa forma, de modo a permitir a circulação dos veículos automatizados e conectados, o Fórum Global das Nações Unidas para Tráfego e Segurança Viária, em 2018, definiu a necessidade de realizar adaptações de modo a permitir a possibilidade de circulação dos veículos automatizados e conectados no fluxo de tráfego.

Tais medidas são necessárias para que seja possível a realização de testes de campo tendo em vista a confrontação com as situações reais de circulação e as necessárias homologações dos veículos e sistemas.

Também há a necessidade de desenvolvimento de protocolos de segurança envolvendo a troca de informações, inclusive a segurança cibernética.

4.2 ADAPTAÇÕES A SEREM REALIZADAS NAS VIAS TENDO EM VISTA A IMPLANTAÇÃO DA CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA (VIA AUTOMATIZADA)

De acordo com o programa *Forever Open Roads* – Comunidade Europeia, a via adaptada à condução automatizada e conectada (denominada “via automatizada”) integrará informação, monitoramento e sistemas de controle entre usuários, veículo e operadores, com foco na integração plena da inteligência dos dispositivos conectados à via com as tecnologias de comunicação e informação voltadas para os usuários, veículos, serviços, operações e gerenciamento (72).

A Figura 47 apresenta esquemática algumas das características de uma via dotada de recursos para a circulação de veículos automatizados e conectados – “via automatizada”.

FIGURA 47 – VIA AUTOMATIZADA



FONTE (72)

De acordo com o programa *Forever Open Roads*, a transição para a automatização abrange dois grupos (72):

- **Estratégias Inteligentes de Gestão do Tráfego** (ITMS – *Intelligent Traffic Management Strategies*): Gestão dos deslocamentos dos usuários ao longo de malhas regionais tendo em vista a minimização do tempo dispendido e dos impactos ambientais a partir da crescente participação dos veículos automatizados e conectados no fluxo de tráfego;
- **Sistemas Avançados de Comunicação da Infraestrutura** (AICS – *Advanced Infrastructure Communication Systems*) – desenvolvimento das aplicações e funcionalidades para os veículos automatizados e conectados para o fornecimento dos subsídios necessários ao ITMS. As aplicações dessas novas tecnologias deverão ser predominantemente locais. Os recursos associados ao AICS seriam aplicados em corredores ou segmentos específicos inseridos na malha viária

Principais elementos envolvidos para as Estratégias Inteligentes de Gestão do Tráfego – ITMS – *Intelligent Traffic Management Strategies*:

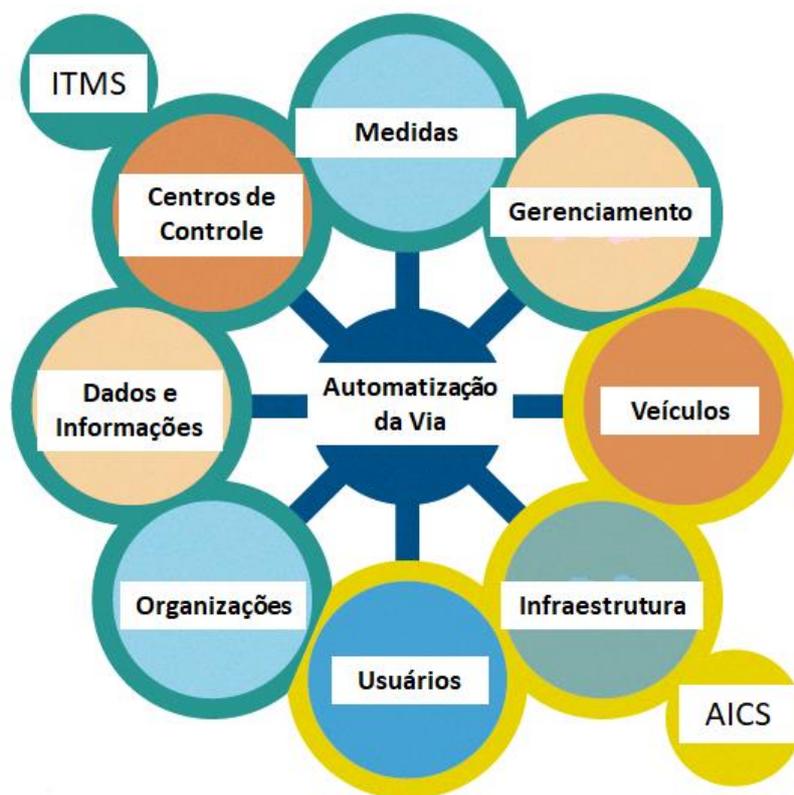
- Princípios de Gestão;
- Medidas;
- Centros de Controle de Tráfego;
- Dados e Informações;
- Organizações.

Principais elementos envolvidos para as Sistemas Avançados de Comunicação da Infraestrutura – AICS – *Advanced Infrastructure Communication Systems*:

- Veículos;
- Infraestrutura;
- Usuários.

A Figura 48 apresenta de forma esquemática os elementos envolvidos na transição para a automatização da via, de acordo com o Programa *Forever Open Roads*.

FIGURA 48 – ESQUEMA DE RELACIONAMENTO – PROGRAMA *FOREVER OPEN ROADS*



FONTE (72)

Usuários

As novas tecnologias de gerenciamento de tráfego deverão oferecer possibilidade de personalização com fornecimento de informações para grupos de usuários e usuários individuais.

Em contrapartida os usuários da via deverão fornecer informações que poderão ser utilizadas para o gerenciamento do tráfego, como: origem, destino, objetivo da viagem e itinerário.

As informações poderão ser obtidas a partir dos aparelhos de telefonia celular e também a partir dos veículos conectados.

A partir das informações obtidas junto aos usuários, os responsáveis pela operação da via podem prever a oferta de serviços personalizados e mais eficazes, inclusive do ponto de vista do gerenciamento do fluxo de tráfego. Torna-se, então, necessária então a anuência dos usuários para disponibilização de suas informações pessoais, que nesse cenário passam a ter participação ativa no processo.

Medidas

Atualmente a gestão do fluxo de tráfego está voltada ao âmbito coletivo com procedimentos a serem seguidos quando da ocorrência de acidentes e incidentes e em áreas bem definidas, como corredores e segmentos localizados.

Todavia, os avanços tecnológicos recentes têm demonstrado a possibilidade de adoção medidas de maior abrangência, no contexto da malha de transporte e não apenas de segmentos localizados.

As medidas de gestão no âmbito da malha podem antecipar situações de tráfego, propiciar condições para prevenir a ocorrência de congestionamentos, otimizar o fluxo de tráfego e aumentar a segurança.

Além disso há a expectativa de que as medidas de gestão envolvam cada vez mais ações conjuntas dos setores público e privado com o objetivo de aumentar a sua eficácia, visto que o setor privado costuma captar de melhor maneira as necessidades dos usuários.

Existe a possibilidade de provedores de serviços comerciais fornecerem produtos específicos que combinem medidas de gestão do fluxo de tráfego com conteúdo próprio, de acordo com seus interesses e dos usuários.

No futuro, com a difusão da mobilidade sob demanda (MaaS), poderá haver a possibilidade da integração de diferentes redes de transporte para disponibilização de serviços multimodais

Essa situação levaria não apenas à coordenação entre distintos operadores de tráfego, mas também entre os setores público e privado e também entre distintos modais de transporte.

Centros de Controle de Tráfego

Com a tendência de integração entre diferentes redes de tráfego, as medidas de gerenciamento deverão ter foco nas operações regionais, requerendo tecnologias e ferramentas para suporte e tomada de decisão.

Tais ferramentas devem ser desenvolvidas de modo a permitir a previsão de cenários de tráfego permitindo subsidiar a tomada de decisão por parte dos gestores do fluxo de tráfego.

As intervenções por parte dos operadores deverão apenas se fazer necessárias quando da ocorrência de incidentes / eventos.

Gerenciamento

Atualmente os sistemas de gerenciamento de tráfego estão focados para ações do ponto de vista governamental. Para futuro há a expectativa e de que o foco seja ampliado, considerando além da otimização do fluxo de tráfego outros objetivos almejados pela sociedade.

A gestão da via automatizada demandará a colaboração a cooperação entre os agentes públicos e privados e, dessa forma, os princípios de gestão deverão refletir objetivos de ambas as partes.

Dessa forma, a combinação de estratégias e de objetivos coletivos e individuais deverão influenciar as medidas para a automatização das vias.

Organizações

Com a automatização da via, as medidas deverão passar do nível local ao regional, buscando gerenciar a malha viária de forma integrada.

Dessa forma, o trabalho das organizações responsáveis pela gestão do tráfego deverá ter caráter estratégico e colaborativo, abrangendo, por exemplo, acordos de serviços comerciais.

Uma das possíveis tarefas dos órgãos / agências no futuro seria monitorar e supervisionar esses contratos.

Os órgãos gestores deverão atuar em conformidade com as políticas e objetivos estabelecidos para as malhas regionais, interagindo com diversos provedores de serviços e de infraestrutura.

Espera-se que as competências associadas aos gestores de tráfego além do enfoque no nível operacional tenham foco também em ações estratégicas e táticas.

Veículos

A partir da consolidação da interação entre veículos e infraestrutura, espera-se que os veículos passem a ser um elemento integrado e proativo no contexto dos sistemas de comunicações e de controle do fluxo de tráfego, por meio da conectividade para troca de informações entre veículo, via e operadores da via.

Inicialmente, os veículos forneceriam informações para gerenciamento do fluxo de tráfego e monitoramento das condições da via.

Em um momento futuro, os veículos estariam capacitados a responder a determinadas mensagens ou comandos emitidos pela central de controle e transmitidos por meio dispositivos posicionados às margens da via ou por outros dispositivos de comunicação sem fio.

Dessa forma o veículo poderia vir a se tornar um sensor e um elemento atuador que poderia responder aos comandos orientações provenientes da central de gerenciamento de tráfego ou provenientes de informações retransmitidas pelos veículos próximos no fluxo de tráfego. No futuro, o veículo poderia se tornar uma parte automatizada do todo representado pelo sistema de gerenciamento do tráfego.

Infraestrutura

Com o desenvolvimento da condução veicular automatizada e conectada surge a necessidade de que a infraestrutura ofereça os recursos necessários às comunicações e troca de informações, possibilitando a transferência de dados entre veículos e dispositivos móveis como *smartphones* e outros dispositivos localizados ao longo da via (*roadside systems*) e os centros de controle de tráfego.

Com o crescimento do volume de informações, a ser promovido pelas parcerias entre o setor privado e o setor público, é possível que a propriedade dos sistemas e dispositivos de comunicação da infraestrutura seja transferida a terceiros, como, por exemplo, os próprios provedores de serviços ou então a empresas de infraestrutura, como construtoras.

Dados e Informações

Com a implantação da condução automatizada e conectada a quantidade de informações coletadas e de conteúdo será muitíssimo superior àqueles hoje verificados.

Tais informações permitirão a realização de análises e o desenvolvimento de modelos preditivos tendo em vista a eficácia da gestão da malha de transporte, o desenvolvimento de modelos de previsão de tráfego e a possibilidade de oferta de serviços personalizados aos usuários.

Deverão ser desenvolvidas novas soluções de gestão fundamentadas a partir do conceito de infraestrutura digital a das enormes quantidades de informações coletadas pelos sensores posicionados no interior dos veículos e fora deles.

Também deverão ser considerados aspectos relacionados à confiabilidade e segurança, visto que as informações deverão ser coletadas e compartilhadas por diferentes agentes públicos e privados.

4.3 ALGUNS DOS PRINCIPAIS FATORES HUMANOS ASSOCIADOS À CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA

Apesar dos avanços associados à segurança, as novas tecnologias relacionadas aos veículos e às vias não serão capazes de eliminar as falhas humanas relacionadas à ocorrência de acidentes.

Juntamente com as novas tecnologias, haverá a interface com os usuários, ocorrendo aí um novo campo para a indesejada ocorrência de falhas humanas bem como os acidentes e demais consequências decorrentes.

A seguir são apresentadas algumas das possíveis ocorrências previstas em decorrência dessas novas tecnologias (77).

Excesso de Confiança dos Motoristas nos Novos Sistemas Veiculares e em seus Recursos Associados

Em razão de um possível excesso de confiança nos novos sistemas veiculares e em seus recursos associados, os motoristas podem vir a delegar de forma integral a responsabilidade das tarefas de condução ao sistema veicular – independentemente de o sistema ter condições de assumir tais responsabilidades de forma plena ou não, ou então os motoristas podem vir a delegar uma determinada tarefa para a qual o sistema não tem capacidade de execução.

O excesso de confiança pode ocorrer por conta da falta de atenção dos motoristas ou por conta do seu mau entendimento quanto às capacidades e limitações dos recursos tecnológicos, inclusive com a possibilidade de ocorrência de situações de risco no caso de o sistema automatizado de condução veicular não ter sido ativado.

Pode também ocorrer o caso do usuário não se certificar de que o veículo que utiliza conta com os recursos com os quais está acostumado ou o caso em que há necessidade de que o motorista retome o controle do veículo (DDT *Fallback* Níveis 3 e 4 SAE J3016).

A conscientização dos motoristas quanto às capacidades e limitações do sistema de automatização da condução e do ITS Colaborativo e a emissão de alertas em momentos adequados podem ajuda-los a diminuir os riscos associados ao eventual excesso de confiança que venham a ter.

Possibilidade de Condutas Inseguras dos Motoristas

Os benefícios de segurança proporcionados pelo emprego do sistema de automatização da condução veicular e do ITS Colaborativo podem alterar a percepção do risco por parte dos motoristas, com possibilidade de estimular condutas mais arriscadas.

Essa potencial situação de risco pode ser amplificada no período de transição em que houver a circulação de tráfego misto de veículos automatizados e convencionais, por conta da conduta distinta dos motoristas dos veículos dotados com recursos dos sistemas automatizados e dos motoristas dos veículos convencionais.

Além disso os motoristas dos veículos convencionais podem se ver tentados a adotar condutas semelhantes àquelas praticadas pelos motoristas dos veículos com recursos de condução automatizada, como menor distância de separação em relação ao veículo à frente, dentre outras, sem a retaguarda oferecida pelas novas tecnologias de assistência, tornando assim, a sua condução insegura.

Possível Sobrecarga dos Motoristas

A sobrecarga sobre os motoristas pode vir a ser causada por conta da grande quantidade de informações disponibilizadas pelo sistema e diferenciados níveis de relevância das mesmas.

A conscientização dos motoristas sobre as funções dos sistemas e a otimização da disponibilização das informações por parte do sistema podem ajudar a mitigar a ocorrência do risco de sobrecarga de informações,

especialmente nos casos em que os motoristas têm de supervisionar o sistema de forma contínua – por exemplo, no Nível 2 (SAE).

Por outro lado, os sistemas de automatização veicular e o ITS Colaborativo podem vir a reduzir de forma excessiva a necessidade de concentração dos motoristas em determinadas situações, levando-os a ficarem desinteressados e, possivelmente desatentos, com a possibilidade de perigo em caso de necessidade de retomada de controle do veículo – Níveis 3 e 4 (SAE).

Possível Falta de Concentração dos Motoristas x Necessidade de que os Mesmos se Mantenham em Estado de Alerta

As informações disponibilizadas por meio de alertas emitidos pelos sistemas de automação da condução veicular e pela via podem vir a se tornar um fator de distração para os motoristas, desviando a sua atenção de potenciais perigos reais e retardando a tomada de decisão em situações críticas.

Também existe a possibilidade de que os motoristas se tornem menos atentos por conta dos recursos disponibilizados pela condução automatizada e pelo ITS Colaborativo, dedicando-se a atividades secundárias, alheias ao processo de condução veicular.

Esse tipo de situação pode vir a ensejar a instalação de um círculo vicioso com a falta de atenção ocasionada pelo excesso de confiança no sistema, estimulando o motorista a se envolver em atividades secundárias, sendo que tal envolvimento pode vir a incentivar o excesso de confiança dos sistemas de automatização.

Por outro lado, há que se destacar a necessidade de que o motorista esteja em estado de alerta em caso de eventual necessidade de retomada do processo de condução do veículo, por conta da falha de algum sistema ou de quebra de alguma premissa do ambiente de domínio operacional.

Aceitação do Sistema da Condução Veicular Automatizada e de seus Recursos por parte dos Motoristas

A aceitação de trata de um fator crítico para o sucesso das novas tecnologias e está diretamente relacionado ao nível de confiança do motorista.

Existe a possibilidade de que haja resistência por parte dos motoristas na aceitação dos novos recursos e tecnologias caso não exista a confiança de que os mesmos sejam confiáveis, seguros e eficazes.

A aceitação do ITS Colaborativo e da condução automatizada por parte dos motoristas pode vir a ser amplificada caso os usuários os considerem dignos de confiança, que apresentem relação benefício / custo vantajosa, com adequada proteção e privacidade das informações, bem como segurança em relação a possíveis ataques cibernéticos.

Eventual Redução da Capacitação / Habilidade dos Motoristas

A automatização de parte da tarefa de condução veicular pode vir a ocasionar uma redução da habilidade de condução dos motoristas em conduzir o veículo.

Essa situação torna-se potencialmente perigosa nos níveis 3 e 4 da automatização da condução veicular (SAE), nas quais o motorista a bordo precisa estar preparado a assumir o controle do veículo caso necessário.

Interface Máquina (Sistema) x Motorista (Condutor)

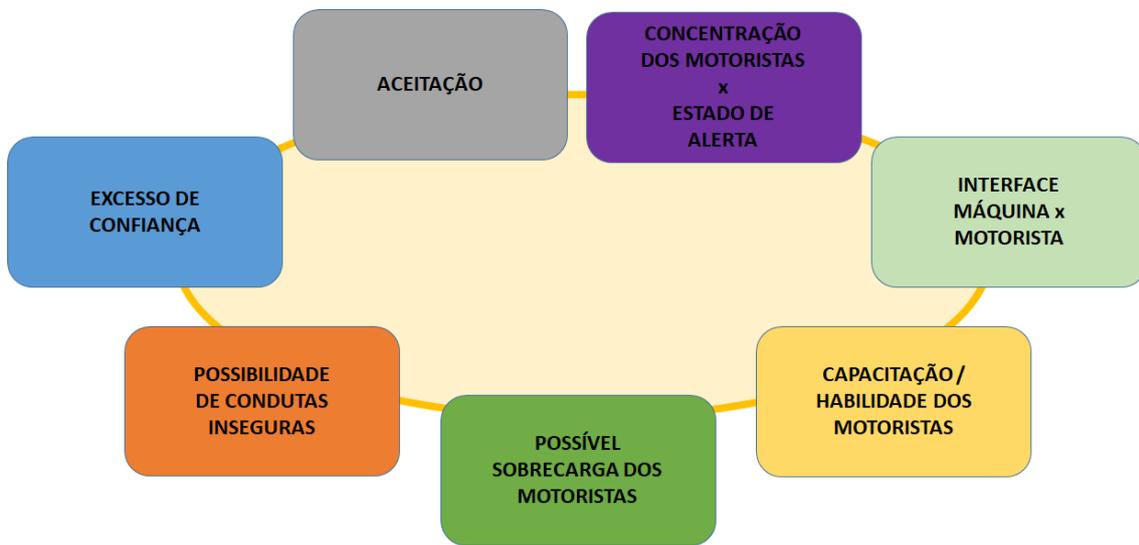
O projeto da interface é de fundamental importância para que a utilização das novas tecnologias se dê de forma adequada.

A interface deve ser projetada de forma a não causar sobrecarga – e conseqüente desinteresse quanto às informações apresentadas, nem tampouco deixar de ser atrativa para os condutores.

Preferencialmente deve prover entendimento simples e rápido de forma compatível e clara de modo a permitir a sua utilização em diversos países e contextos, com informações visuais e linguagem acessíveis para os condutores e demais usuários.

A Figura 49 ilustra de forma esquemática os fatores humanos associados.

FIGURA 49 – PRINCIPAIS FATORES HUMANOS ASSOCIADOS À CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA



FONTE (77)

5. PRINCIPAIS NORMAS RELACIONADAS À CONDUÇÃO VEICULAR AUTOMATIZADA E CONECTADA

No contexto da condução veicular automatizada e dos recursos associados à infraestrutura, as normas têm papel fundamental com o objetivo de procurar garantir a homogeneidade e a interoperabilidade entre os diversos sistemas e equipamentos.

Neste sentido, destaca-se o trabalho desenvolvido pelo projeto ARCADE, iniciativa do programa Horizon 2020 da Comunidade Europeia (86), que conta com equipe destinada a analisar as normas associadas à condução veicular automatizada e conectada e buscar a compatibilização e harmonização.

A lista de normas apresentada na Tabela 2 foi obtida a partir da publicação mais recente disponibilizada pelo projeto ARCADE (87).

TABELA 2 – NORMAS JÁ PUBLICADAS (FONTE 87)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO 21717:2018	<i>Intelligent transport systems — Partially Automated In-Lane Driving Systems (PADS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 16787:2017	<i>Intelligent transport systems — Assisted Parking System (APS) — Performance requirements and test procedure</i>
ISO 20035	<i>ITS – Cooperative adaptive cruise control systems</i>
ISO 19638	<i>ITS – Road boundary departure prevention systems</i>
SAE J3045	<i>Truck & bus lane departure warning systems test procedure</i>
ETSI TS 101 539	<i>Intersection collision risk warning</i>
PAS 1880:2020	<i>Guidelines for developing and assessing control systems for automated vehicles</i>
J3171_201911	<i>Identifying Automated Driving Systems-Dedicated Vehicles (ADS-DVs) Passenger Issues for Persons with Disabilities</i>
P2846	<i>P2846 – Assumptions for Models in Safety-Related Automated Vehicle Behavior</i>
P2040.2	<i>Recommended Practice for Multi-Input Based Decision Making of Automated Vehicles Driving on Public Roads</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO 19237:2017	<i>Intelligent transport systems — Pedestrian detection and collision mitigation systems (PDCMS) — Performance requirements and test</i>
ISO 22078:2020	<i>Intelligent transport systems — Bicyclist detection and collision mitigation systems (BDCMS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 15622:2018	<i>Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 20900:2019	<i>Intelligent transport systems — Partially automated parking systems (PAPS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 11067:2015	<i>Intelligent transport systems — Curve speed warning systems (CSWS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 11270:2014	<i>Intelligent transport systems — Lane keeping assistance systems (LKAS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 15623:2013	<i>Intelligent transport systems — Forward vehicle collision warning systems — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 17361:2017	<i>Intelligent transport systems — Lane departure warning systems — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 17386:2010	<i>Transport information and control systems — Manoeuvring Aids for Low Speed Operation (MALSO) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 17387:2008	<i>Intelligent transport systems — Lane change decision aid systems (LCDAS) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO 22839:2013	<i>Intelligent transport systems — Forward vehicle collision mitigation systems — Operation, performance, and verification requirements</i>
ISO 22840:2010	<i>Intelligent transport systems — Devices to aid reverse manoeuvres — Extended-range backing aid systems (ERBA)</i>
ISO 26684:2015	<i>Intelligent transport systems (ITS) — Cooperative intersection signal information and violation warning systems (CIWS) — Performance requirements and test procedures</i>
CEN ISO/TS 19468	<i>Intelligent transport systems – Data interfaces between centers for transport information and control system</i>
IEEE 1609.12	<i>IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) – Identifiers</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
CEN ISO/TS 19091	<i>Intelligent transport systems – Cooperative ITS – Using V2I and I2V communications for application related to signalized intersections</i>
IEEE 1609.2b	<i>IEEE standard for wireless access to vehicular environment</i>
CEN/TR 17297-1	<i>Intelligent transport systems – Location referencing harmonization for urban ITS – Part 1: State of the art and guidelines</i>
ISO 20078-3	<i>Road vehicles – Extended vehicle (ExVe) web services – Part 3: Security</i>
ISO 20080	<i>Road vehicles – Information for remote diagnostic support</i>
ISO 20078-2	<i>Road vehicles – Extended vehicle (ExVe) web services – Part 2: Access</i>
ISO 20078-1	<i>Road vehicles – Extended vehicle (ExVe) web services – Part 1: Content</i>
SAE J2945/2	<i>DSRC performance requirements for V2V safety awareness</i>
ETSI TS 138 522	<i>5G; NR; User equipment conformance specification</i>
ETSI TS 102 965	<i>Intelligent transport systems; application object identifier</i>
ETSI TR 121 914	<i>Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Release description; Release 14</i>
ETSI TS 124 386	<i>LTE; User equipment to V2X control function</i>
ISO 20077-1: 2017	<i>Road Vehicles — Extended vehicle (ExVe) methodology — Part 1: General information</i>
SAE J2945	<i>Dedicated Short Range Communication (DSRC) Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts</i>
ISO 20077-2	<i>Road Vehicles — Extended vehicle (ExVe) methodology — Part 2: Methodology for designing the extended vehicle</i>
ETSI TS 122 185	<i>LTE; Service requirements for V2X services</i>
ETSI EN 302 571 v2.1.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Radio communications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band</i>
ISO/DIS 13185 (part 1-4)	<i>Intelligent transport systems — Vehicle interface for provisioning and support of ITS Services</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
J3067_202010	<i>Candidate Improvements to Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary [SAE J2735] Using Systems Engineering Methods (STABILIZED Oct 2020)</i>
J2735ASN_202007	<i>V2X Communications Message Set Dictionary™ ASN file</i>
J2735SET_202007	<i>V2X Communications Message Set Dictionary™ Set</i>
J2735_202007	<i>V2X Communications Message Set Dictionary™</i>
J2945/1A_202007	<i>Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communication</i>
J2945/2A_201907	<i>Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness™ ASN File</i>
ETSI GR IP6 030	<i>IPv6-based Vehicular Networking (V2X)</i>
ETSI TR 103 496	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Cooperative ITS (C-ITS) support for transport pollution management applications; Use cases and standardization study</i>
ETSI EN 302 890-2	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities Layer function; Part 2: Position and Time management (PoTi); Release 2</i>
ETSI TS 122 185	<i>LTE; Service requirements for V2X services</i>
ISO-20078-1: 2019	<i>Road vehicles — Extended vehicle (ExVe) web services — Part 1: Content</i>
ISO-20078-2: 2019	<i>Road vehicles — Extended vehicle (ExVe) web services — Part 2: Access</i>
ISO-20078-3: 2019	<i>Road vehicles — Extended vehicle (ExVe) web services —Part 3: Security</i>
ISO-20078-4: 2019	<i>Road vehicles — Extended vehicle (ExVe) web services — Part 4: Control</i>
ISO 23132:2020	<i>Road vehicles — Extended Vehicle (ExVe) time critical applications — General requirements, definitions and classification methodology of time-constrained situations related to Road and ExVe Safety (RExVeS)</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ETSI TR 138 900	<i>Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz</i>
ETSI TR 138 185	<i>Security aspect for LTE support of Vehicle-to-Everything (V2X) services</i>
ETSI TR 121 914	<i>Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G;</i>
ETSI EN 302 895	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM)</i>
ETSI EN 302 686	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 63 GHz to 64 GHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive</i>
ETSI EN 302 663	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band</i>
EN 302 571	<i>Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band;</i>
ETSI EN 302 637-2 V1.4.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service</i>
ETSI EN 302 637-3 V1.3.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service</i>
ETSI TS 102 894-2 V1.3.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary</i>
ETSI EN 302 665 V1.1.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture</i>
ETSI TS 102 792 V1.2.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range</i>
ETSI TS 103 301 V1.3.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO/TS 19321:2020	<i>Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Dictionary of in-vehicle information (IVI) data structures</i>
ETSI EN 302 636-5-1 V2.2.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol</i>
ETSI EN 302 636-4-1 V1.4.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality</i>
IEEE 1609.4	<i>IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Multi-Channel Operation</i>
IEEE 1609.3	<i>IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Networking Services</i>
ETSI EN 303 613	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band</i>
ISO 17515-3:2019	<i>Intelligent transport systems — Evolved-universal terrestrial radio access network — Part 3: LTE-V2X</i>
ISO 17427-1:2018	<i>Intelligent transport systems — Cooperative ITS — Part 1: Roles and responsibilities in the context of co-operative ITS architecture(s)</i>
ISO 17419:2018	<i>Intelligent transport systems — Cooperative systems — Globally unique identification</i>
ISO 17423:2018	<i>Intelligent transport systems — Cooperative systems — Application requirements and objectives</i>
ISO 24102 (part 1-6)	<i>Intelligent transport systems — Communications access for land mobiles (CALM) — ITS station management</i>
ISO/TS 17429:2017	<i>Intelligent transport systems — Cooperative ITS — ITS station facilities for the transfer of information between ITS stations</i>
ISO 14813 (part 1-6)	<i>Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector</i>
ISO/TR 21959-1:2020	<i>Road vehicles — Human performance and state in the context of automated driving — Part 1: Common underlying concepts</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO/TR 21959-2:2020	<i>Road vehicles — Human performance and state in the context of automated driving — Part 2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes</i>
ISO/TR 23049:2018	<i>Road Vehicles — Ergonomic aspects of external visual communication from automated vehicles to other road users</i>
ISO 15007:2020	<i>Road vehicles — Measurement and analysis of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems</i>
SAE J3134	<i>Automated driving system marking lights</i>
J3197_202004	<i>Automated Driving System Data Logger</i>
ISO 21111 -1-10	<i>Road vehicles — In-vehicle Ethernet — Part 1 – 10</i>
ISO/TR 20545:2017	<i>Intelligent transport systems — Vehicle/roadway warning and control systems — Report on standardisation for vehicle automated driving systems (RoVAS)/Beyond driver assistance systems</i>
CEN/TS 17400:2020	<i>Intelligent transportation systems – Urban ITS – Mixed vendor environments, methodologies & translators</i>
P2040	<i>Standard for General Requirements for Fully Automated Vehicles Driving on Public Roads</i>
P2040.3	<i>Recommended Practice for Permitting Automated Vehicles to Drive on Public Roads</i>
EN 16803-1	<i>Space – Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS) – Part 1: Definitions and system engineering procedures for the establishment and assessment of performances</i>
ETSI TS 103 246-1	<i>Satellite Earth Stations and Systems (SES); GNSS based location systems; Part 1: Functional requirements</i>
ISO 14296:2016	<i>Intelligent transport systems — Extension of map database specifications for applications of cooperative IST</i>
ISO 14825:2011	<i>Intelligent transport systems — Geographic Data Files (GDF) — GDF5.0</i>
ISO 17572 (part 1-4)	<i>Intelligent transport systems (ITS) — Location referencing for geographic databases</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO 18750:2018	<i>Intelligent transport systems — Co-operative ITS — Local dynamic map</i>
ISO/TS 21177:2019	<i>Intelligent transport systems — ITS station security services for secure session establishment and authentication between trusted devices</i>
CEN ISO/TS 21177	<i>Intelligent transport systems – ITS station security services for secure session establishment and authentication between trusted devices</i>
BSI PAS 1885	<i>Fundamental principles of automotive cyber security</i>
BSI PAS 11281	<i>Connected automotive ecosystems. Impact of security on safety. Code of practice.</i>
SAE J3061	<i>Cybersecurity guidebook for Cyber-Physical vehicle Systems</i>
ETSI TR 103 460	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Pre-standardization study on Misbehaviour Detection; Release 2</i>
ETSI TS 103 097 V1.4.1	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security header and certificate formats</i>
ISO/PAS 21448	<i>Road vehicles – Safety of the intended functionality</i>
ISO 26262-11	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 11: Guidelines on application of ISO 26262 to semiconductors</i>
ISO 26262-10	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 10: Guidelines on ISO 26262</i>
ISO 26262-9	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 9: Automotive safety integrity level (ASIL) – oriented and safety-oriented analyses</i>
ISO 26262-7	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 7: Production, operation, service and decommissioning</i>
ISO 26262-6	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 6: Product development at the software level</i>
ISO 26262-5	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 5: Product development at the hardware level</i>
ISO 26262-4	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 4: Product development of the system</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO 26262-3	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 3: Concept phase</i>
ISO 26262-2	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 2: Management of functional safety</i>
ISO 26262-1	<i>Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary</i>
PAS 1881:2020	<i>Assuring safety for autonomous vehicle trials and testing</i>
ISO/TR 21718:2019	<i>Intelligent transport systems — Spatio-temporal data dictionary for cooperative ITS and automated driving systems 2.0</i>
SAE_J3016	<i>Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles</i>
SAE J2735D	<i>Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary (REVISED)</i>
J3216_202005	<i>Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles</i>
P2040.1	<i>Taxonomy and Definitions for Connected and Automated Vehicles</i>
PAS 1883:2020	<i>Operational design domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS). Specification</i>
SAE J3018	<i>Guidelines for safe on-road testing of SAE level 3,4 and 5 prototype automated driving systems</i>
CEN ISO/TS 21189	<i>Intelligent transport systems – Cooperative ITS – Test requirements and protocol implementation conformance statement (PICS)</i>
ISO 19206-1:2018	<i>Road vehicles — Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions — Part 1: Requirements for passenger vehicle rear-end targets</i>
ISO 19206-2:2018	<i>Road vehicles — Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions — Part 2: Requirements for pedestrian targets</i>
ISO 19206-4	<i>ISO 19206-4 Road vehicles — Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions — Part 4: Requirements for bicyclist targets</i>

A Tabela 3 contém as normas que estão em estágio de desenvolvimento (87).

TABELA 3 – NORMAS EM DESENVOLVIMENTO (FONTE 87)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO/DIS 22737	<i>Intelligent transport systems — Low-speed automated driving (LSAD) systems for predefined routes — Performance requirements, system requirements and performance test procedures</i>
ISO/AWI 23374	<i>Intelligent transport systems – Automated valet parking systems (AVPS) – System framework, communication interface, and vehicle operation</i>
ISO/PRF 21202	<i>ITS – Partially automated lane change systems (PALS) – Functional/operational requirements and test procedures</i>
ISO/AWI 23375	<i>Intelligent transport systems — Collision evasive lateral manoeuvre systems (CELM) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO/CD 23376	<i>Intelligent transport systems — Vehicle-to-vehicle intersection collision warning systems (VVICW) — Performance requirements and test procedures</i>
ISO/AWI 4272	<i>Intelligent transport systems — Truck platooning systems (TPS) — Function and operational requirements</i>
ISO/WD 23792-1	<i>Intelligent transport systems — Motorway chauffeur systems (MCS) — Part 1: Framework and general requirements</i>
NEMA TS 10	<i>Connected vehicle infrastructure-roadside equipment</i>
226260	<i>Road Infrastructure – Automated Vehicle interactions reference framework</i>
226263	<i>Road equipment – Interactions between automated vehicles and road infrastructure – Gap and overlap analysis for road equipment in digital geographic infrastructure standards for connected and automated vehicles</i>
J3161	<i>C-V2X Deployment Profiles</i>
ETSI TS 103 324	<i>Intelligent Transport Systems (ITS); Cooperative Perception Services CPS</i>

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO/AWI TR 23254	<i>Intelligent transport systems — Architecture — Use cases and high-level reference architecture for connected, automated vehicles</i>
ISO/PRF 21217	<i>Intelligent transport systems — Station and communication architecture</i>
ISO/WD TS 5283	<i>Road vehicles — Ergonomic aspects of driver monitoring and system interventions in the context of automated driving</i>
ISO/AWI TR 23735	<i>Road vehicles – Ergonomic design guidance for external visual communication from automated vehicles to other road users</i>
ISO/AWI TR 23720	<i>Road vehicles – Methods for evaluating other road user behaviour in the presence of automated vehicle external communication</i>
ISO/DIS 23150	<i>Road vehicles — Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions — Logical interface</i>
ISO/AWI TS 22726-2	<i>Intelligent transport systems — Dynamic data and map database specification for connected and automated driving system applications — Part 2: Logical data model of dynamic data</i>
ISO 20524-2	<i>Intelligent transport systems — Geographic Data Files (GDF) GDF5.1 — Part 2: Map data used in automated driving systems, Cooperative ITS, and multi-modal transport</i>
ISO/AWI TS 22726-1	<i>Intelligent transport systems — Dynamic data and map database specification for connected and automated driving system applications — Part 1: Architecture and logical data model for harmonization of static map data</i>
ISO/SAE DIS 21434	<i>Road vehicles – Cybersecurity engineering</i>
SS_V2X_001	<i>Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards</i>
ISO/CD TR 4804	<i>Road vehicles — Safety and cybersecurity for automated driving systems — Design, verification and validation methods</i>
UL 4600	<i>A safety standard governing self-driving cars</i>
ISO/WD 34503	<i>Road vehicles — Taxonomy for operational design domain for automated driving systems</i>
ISO/WD 34501	<i>Road vehicles — Terms and definitions of test scenarios for automated driving systems</i>

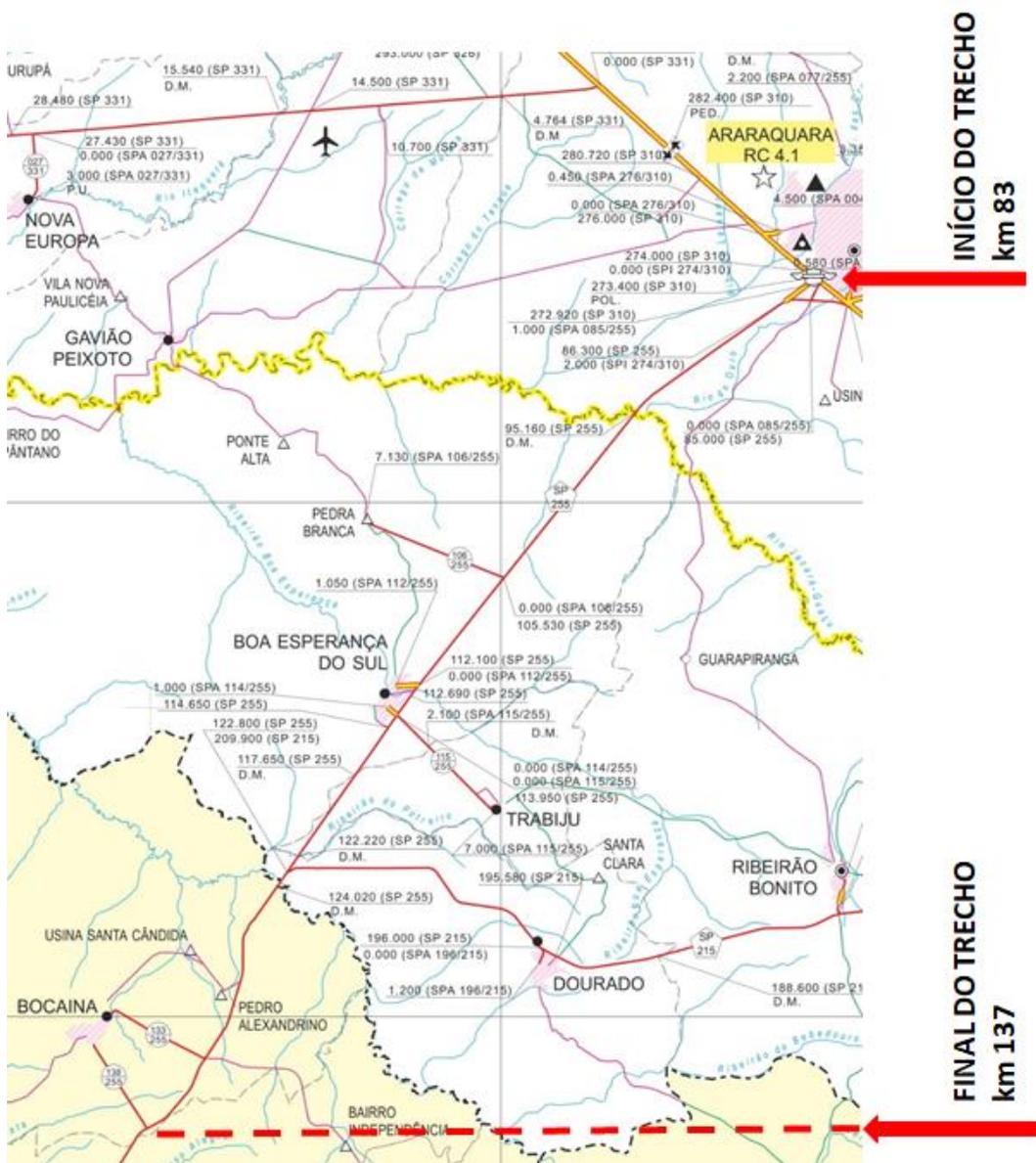
CÓDIGO	DESCRIÇÃO
ISO/SAE AWI PAS 22736	<i>Intelligent transport systems – Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles</i>
AVSC00002202004	<i>AVSC Best Practice for Describing an Operational Design Domain: Conceptual Framework and Lexicon</i>
ISO/WD 24650	<i>Road Vehicles — Sensors for automated driving under adverse weather conditions — Assessment of the cleaning system</i>
ISO/AWI 21734-1	<i>Public transport — Performance testing for connectivity and safety functions of automated driving bus — Part 1: General framework</i>
ISO/AWI TS 22133	<i>Road vehicles — Test object monitoring and control for active safety and automated/autonomous vehicle testing — Functional requirements, specifications and communication protocol</i>
ISO/DIS 19206-3	<i>Road vehicles — Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions — Part 3: Requirements for passenger vehicle 3D targets</i>
ISO/DIS 22735	<i>Road vehicles — Test method to evaluate the performance of lane-keeping assistance systems</i>
ISO/DIS 22733-1	<i>Test method to evaluate the performance of autonomous emergency braking systems — Part 1: Car-to-car</i>
ISO/AWI 22733-2	<i>Test method to evaluate the performance of autonomous emergency braking systems — Part 2: Car to pedestrian</i>
ISO/DIS 11010-1	<i>Passenger cars — Simulation model classification — Part 1: Vehicle dynamics</i>

6. ESTUDO DE CASO – DUPLICAÇÃO DE RODOVIA E ANÁLISE CRÍTICA – DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE

Como estudo de caso foi selecionado o projeto funcional para duplicação da rodovia SP 255 localizada no interior do estado de São Paulo entre os municípios de Araraquara e Bocaina. As obras estão inseridas no programa de concessões rodoviárias do Estado de São Paulo.

A Figura 50 apresenta o mapa de localização do trecho em questão.

FIGURA 50 – ESTUDO DE CASO – MAPA DE LOCALIZAÇÃO



A rodovia SP 255 apesar de contar com pista simples pode ser enquadrada na Classe IB (78).

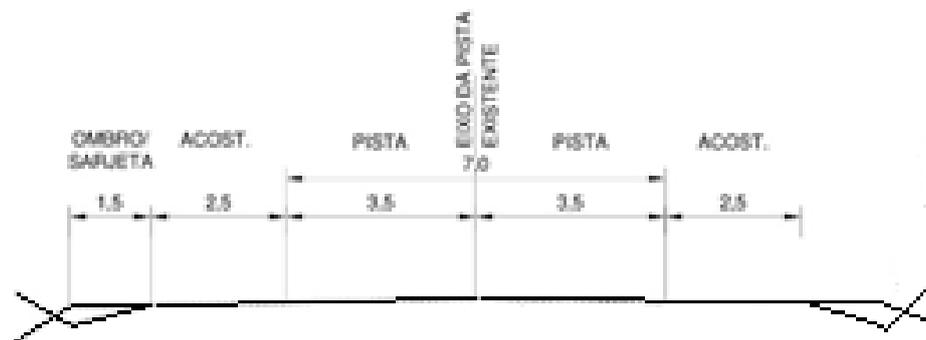
6.1 CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA

6.1.1 Situação Atual

Atualmente a rodovia conta com pista simples com uma faixa de rolamento por sentido e os dispositivos em nível para conexão com outras vias.

A Figura 51 apresenta a seção transversal da rodovia na situação atual.

FIGURA 51 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA RODOVIA – SITUAÇÃO ATUAL



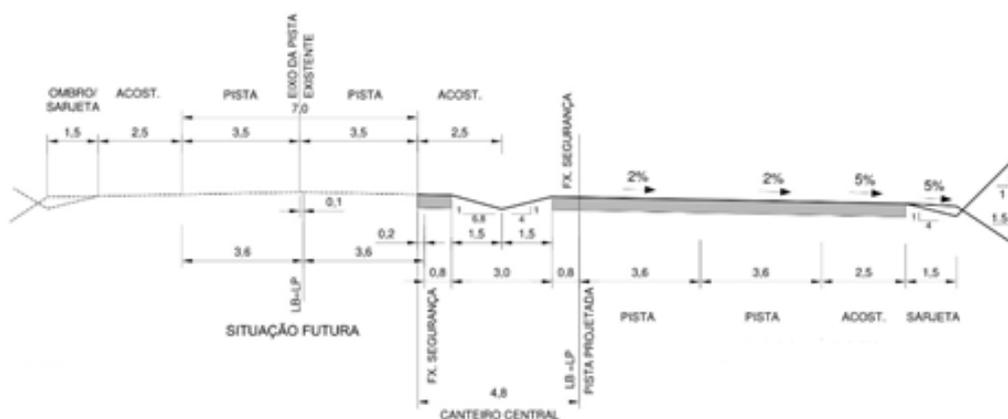
6.1.2. Projeto de Duplicação

O projeto de duplicação (Anexo A) prevê a duplicação da rodovia com implantação de canteiro central, uma nova pista com duas faixas de rolamento e largura de 3,60m para cada faixa além da implantação de dispositivos de conexão em desnível.

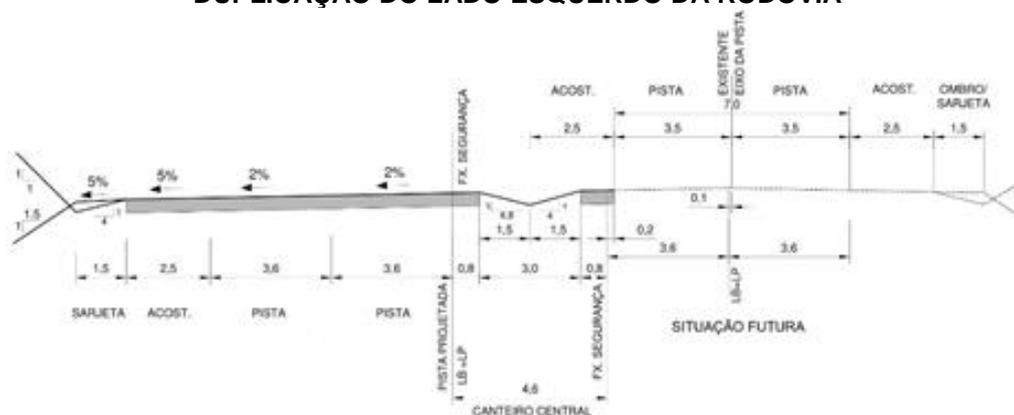
Após a realização das obras, a rodovia poderá ser classificada na categoria IA, com controle parcial de acessos e preparada para atender grandes volumes de tráfego e com boa tolerância às interferências ocasionadas pelos acessos à via (78).

As figuras 52 e 53 apresentam as seções transversais típicas previstas para o projeto de duplicação.

**FIGURA 52 – SEÇÃO TRANSVERSAL
DUPLICAÇÃO DO LADO DIREITO DA RODOVIA**



**FIGURA 53 – SEÇÃO TRANSVERSAL
DUPLICAÇÃO DO LADO ESQUERDO DA RODOVIA**



6.1.3 Velocidades Regulamentadas ao Longo da Rodovia

Ao longo da maior parte do traçado a velocidade regulamentada é de 100km/h, com reduções localizadas por conta de acessos e dispositivos de conexão em nível.

De acordo com a Instrução de Projeto Geométrico do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP (80), a velocidade diretriz para rodovias de Classe I deverá ser de 100 km/h para região plana, 80km/h para região ondulada e 60km/h para região montanhosa.

As definições de relevo, de acordo com a AASHTO (79), são as seguintes:

- **Terreno plano:** condição em que as distâncias de visibilidade, resultantes das restrições horizontais e verticais, são em geral

longas ou podem ser impostas para serem longas sem grandes dificuldades construtivas ou custos relevantes;

- **Terreno ondulado:** condição em que as variações predominantes do relevo alternam-se naturalmente para cima e para baixo do greide da via, sendo que apenas eventuais declividades íngremes oferecem alguma restrição aos alinhamentos horizontal e vertical normais da via;
- **Terreno montanhoso:** condição onde as alterações longitudinais e transversais do relevo em relação à via são abruptas, levando inclusive em muitos casos a escavações laterais para a obtenção de visibilidade a fim de que se obtenham alinhamentos horizontais e verticais aceitáveis.

As figuras 54 e 55 apresentam a variação das velocidades regulamentadas ao longo do trecho.

FIGURA 54 – VELOCIDADES REGULAMENTADAS SENTIDO NORTE

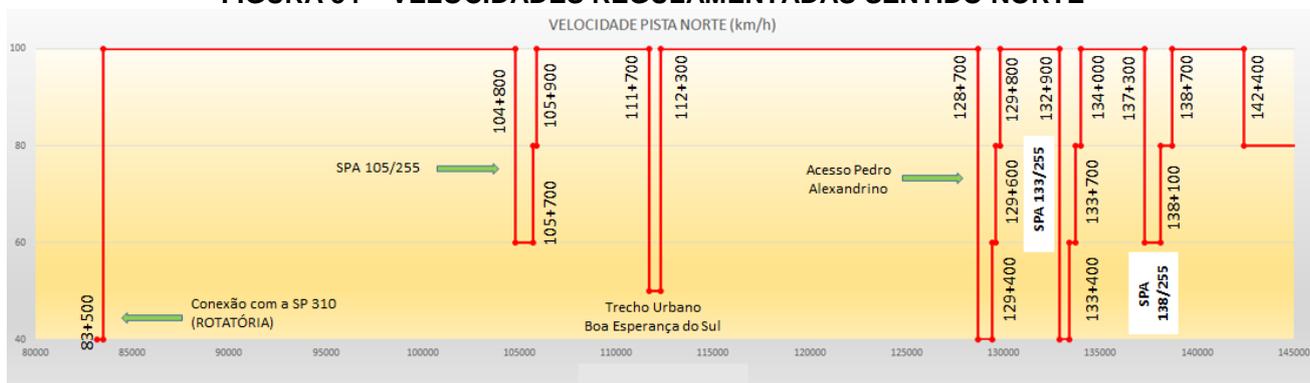
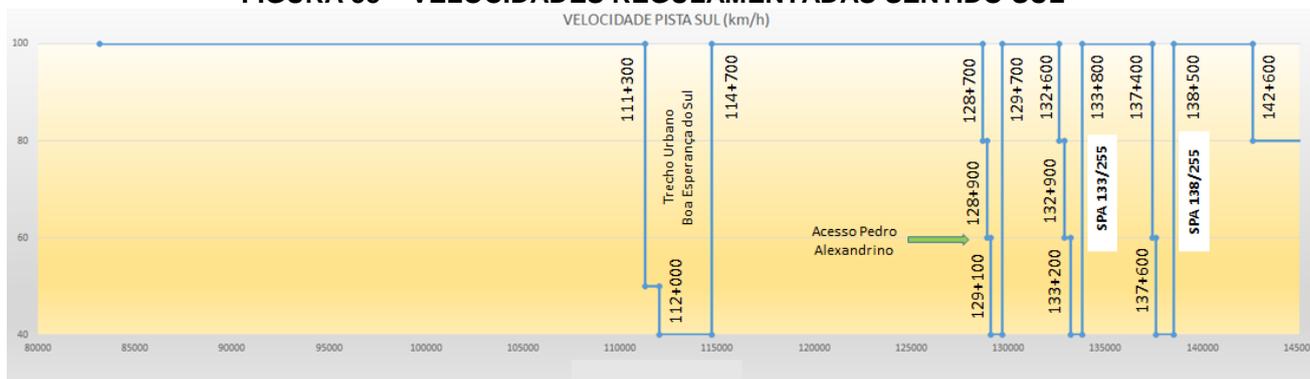


FIGURA 55 – VELOCIDADES REGULAMENTADAS SENTIDO SUL



6.1.4 Análise do Traçado da Rodovia

6.1.4.1 Traçado em Planta

A partir da análise do traçado em planta apresentado no projeto funcional de duplicação (os desenhos do projeto funcional estão apresentados no Anexo), é possível verificar que a geometria horizontal é constituída por extensos segmentos em reta e que não há restrições em relação aos raios mínimos de concordância entre as tangentes.

De acordo com a Instrução de Projeto de Geometria (80), os raios mínimos de curvatura horizontal são os apresentados na Tabela a 4

**TABELA 4–
RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA HORIZONTAL PARA RODOVIAS DE CLASSE I**

VALOR DO RAI0 MINIMO (m) RODOVIAS DE CLASSE I - e=8%		
v=100km/h	V=80km/h	V=60km/h
395	230	115

FONTE (80)

6.1.4.2 Traçado em Perfil

Entretanto a análise do perfil longitudinal indica que há vários locais aonde as curvas verticais apresentam parâmetro de curvatura (K) incompatível com a velocidade regulamentada (100km/h).

De acordo com a Instrução de Projeto de Geometria (80), para as curvas verticais, os valores mínimos do parâmetro de curvatura – K, são os apresentados na Tabela 5 (rodovias de Classe I).

**TABELA 5
VALORES MÍNIMOS DO PARÂMETRO DE CURVATURA (K) PARA RODOVIAS DE CLASSE I**

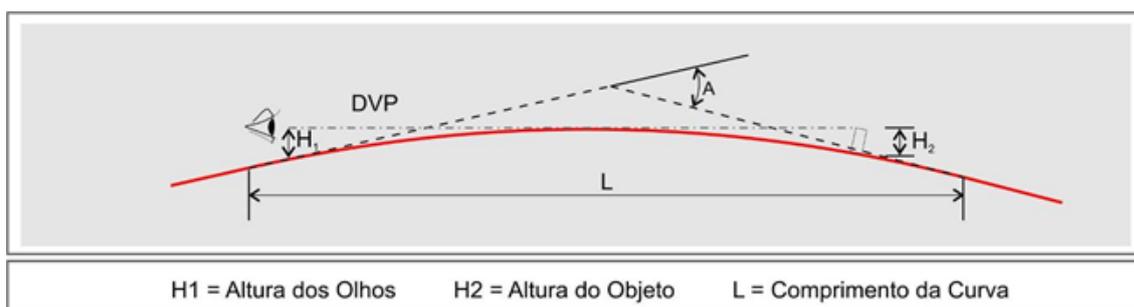
TIPO DE CURVA	K mínimo		
	v=100km/h	V=80km/h	V=60km/h
CÔNCAVA	45	30	18
CONVEXA	52	26	11

FONTE (80)

Valores Mínimos de Projeto para as Curvas Verticais Convexas

Os valores mínimos do parâmetro de curvatura K para as curvas verticais convexas são definidos a partir da consideração da necessidade de disponibilidade do valor mínimo da Distância de Visibilidade de Parada (DVP). A Figura 56 ilustra os parâmetros considerados.

FIGURA 56 – PARÂMETROS CONSIDERADOS PARA A DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO MÍNIMO DAS CURVAS VERTICAIS CONVEXAS DE ACORDO COM A DVP MÍNIMA



FONTE (79)

As expressões de cálculo são as seguintes:

Para os casos aonde a Distância de Visibilidade (DV) é maior ou igual ao comprimento da curva vertical convexa ($L \geq DV$) (79):

$$L = \frac{A \times DV^2}{200 \times (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}$$

Onde:

- L: comprimento da projeção horizontal da curva vertical (m);
- A: diferença algébrica entre as declividades das duas rampas do alinhamento vertical concordadas por meio do emprego da parábola (%);
- DV: distância de visibilidade de parada de acordo com a velocidade considerada (m);
- H1: altura dos olhos do motorista (m);
- H2: altura do objeto representante de situação de perigo de ocorrência de acidente (m).

Também é possível estipular o valor mínimo para o parâmetro de curvatura, de acordo com a expressão a seguir:

$$K_{\min} = \frac{DV^2}{200 \times (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}$$

Para os casos aonde o comprimento da curva vertical convexa é inferior à distância de visibilidade de parada ($L < DVP$) (79):

$$L = 2 \times DV - \frac{200 \times (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{A}$$

Os parâmetros são os mesmos descritos na fórmula imediatamente anterior, sendo também possível explicitar o valor mínimo para o parâmetro de curvatura (K_{\min}) por meio da seguinte expressão:

$$K_{\min} = \frac{2 \times DVP}{A} - \frac{200 \times (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2}{A^2}$$

Valores Mínimos de Projeto para as Curvas Verticais Côncavas

Geralmente as curvas verticais côncavas não costumam apresentar restrições quanto à visibilidade – com exceção daquelas que estão localizadas sob obras de arte especiais.

De acordo com o *Green Book* há pelos quatro critérios distintos para definição dos comprimentos mínimos das curvas verticais côncavas:

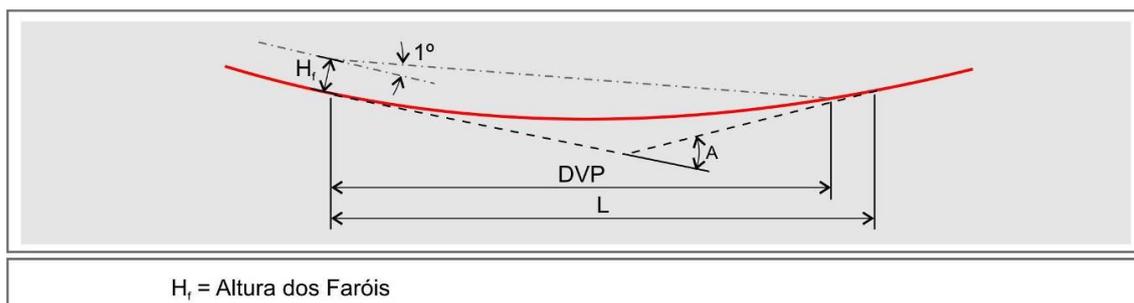
- Alcance dos feixes luminosos dos faróis do veículo;
- Conforto dos passageiros;
- Drenagem da via;
- Aparência geral do traçado.

O critério mais aplicado é o que considera o alcance dos feixes luminosos dos faróis dos veículos, que considera as condições de iluminação noturna da via, com a necessidade de o motorista avistar um objeto posicionado sobre a pista.

Obviamente nos casos em que a via for iluminada, não há a necessidade de aplicar este critério, exceto como medida de precaução em caso de falha no sistema de iluminação.

A Figura 57 apresenta os parâmetros considerados para o estabelecimento dos valores mínimos de projeto para os comprimentos das curvas verticais côncavas de acordo com o critério da iluminação noturna.

FIGURA 57 – PARÂMETROS CONSIDERADOS PARA A DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO MÍNIMO DAS CURVAS VERTICAIS CÔNCAVAS DE ACORDO COM O CRITÉRIO DA ILUMINAÇÃO NOTURNA



H_f = Altura dos Faróis

FONTE (79)

Na Figura 57, H_f é a altura do farol do veículo, L é o comprimento da curva vertical côncava e A é a diferença algébrica entre as declividades das rampas. Supõe-se que o feixe luminoso dos faróis do veículo divirja de 1° do eixo longitudinal do veículo.

Para a situação indicada na figura anterior, as fórmulas para fixação do comprimento mínimo da curva vertical côncava são as seguintes (79):

Para $L \geq DVP$;

$$L = \frac{A \times DV^2}{200 \times (\sqrt{H_f} + DV \times \text{tg } 1^\circ)} \quad \text{ou} \quad K_{\min} = \frac{DV^2}{200 \times (\sqrt{H_f} + DV \times \text{tg } 1^\circ)}$$

Para $L < DVP$;

$$L = \frac{2 \times (DP \times A - 100 \times DP \times \text{tg } 1^\circ - 100 \times H_f)}{A}, \quad \text{ou}$$

$$K_{\min} = \frac{2 \times (DV \times A - 100 \times DV \times \text{tg } 1^\circ - 100 \times H_f)}{A^2}$$

Onde:

- L: comprimento da projeção horizontal da curva vertical côncava (m);
- A: diferença algébrica entre as declividades das duas rampas do alinhamento vertical concordadas por meio do emprego da parábola (%);
- DV: distância de visibilidade mínima de acordo com a velocidade considerada (m);
- Hf: altura dos faróis do veículo em relação à superfície do pavimento (m);
- Kmín: parâmetro de curvatura para a curva vertical de comprimento mínimo.

6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRAÇADO DA RODOVIA

A partir da análise dos desenhos de geometria da rodovia, foram identificados os locais nos quais os comprimentos das curvas verticais não estão adequados à velocidade regulamentada.

A Tabela 6 apresenta um resumo com as ocorrências verificadas ao longo do projeto de duplicação da rodovia.

As figuras 58 a 63 indicam de forma esquemática os locais com características geométricas inadequadas em relação à velocidade regulamentada ao longo da via.

TABELA 6 – OCORRÊNCIAS DE CURVAS VERTICAIS COM COMPRIMENTOS INSUFICIENTES PARA A VELOCIDADE REGULAMENTADA AO LONGO DA RODOVIA

LOCALIZAÇÃO (km)	TIPO DE CURVA		LOCALIZAÇÃO (km)	TIPO DE CURVA	
	CÔNCAVA	CONVEXA		CÔNCAVA	CONVEXA
83+586		x	113+724	x	
84+049	x		113+883		x
84+924		x	114+085		x
85+100		x	117+141		x
85+200	x		117+268		x
86+927	x		118+384	x	
87+041		x	118+921		x
87+824	x		119+502		x
88+345		x	119+697	x	
88+907	x		120+087		x
89+477	x		121+952	x	
89+622	x		122+574		x
89+737	x		123+423	x	
89+875		x	123+900		x
90+522	x		124+222	x	
91+155	x		125+671	x	
91+244		x	125+813		x
91+767	x		126+156		x
92+872	x		126+482	x	
93+813	x		126+473	x	
97+394	x		127+386		x
97+725	x		127+887		x
98+187	x		128+012	x	
98+407		x	128+590	x	
99+585		x	128+850		x
99+976	x		129+110	x	
100+637	x		129+248	x	
100+978		x	129+509		x
101+437	x		130+093	x	
102+040	x		130+627		x
103+558	x		131+493	x	
104+231	x		131+705	x	
106+023	x		132+320	x	
106+285		x	133+078		x
108+974	x		133+376		x
110+364	x		133+651	x	
111+240		x	135+112		x
111+909	x		135+275	x	
112+304	x		135+685		x
112+589		x	136+734	x	
112+885	x		137+089		x
TOTAL			TOTAL		
		48			34
		82			82

FIGURA 59 – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS – VELOCIDADE REGULAMENTADA INCOMPATÍVEL COM AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA PISTA EXISTENTE

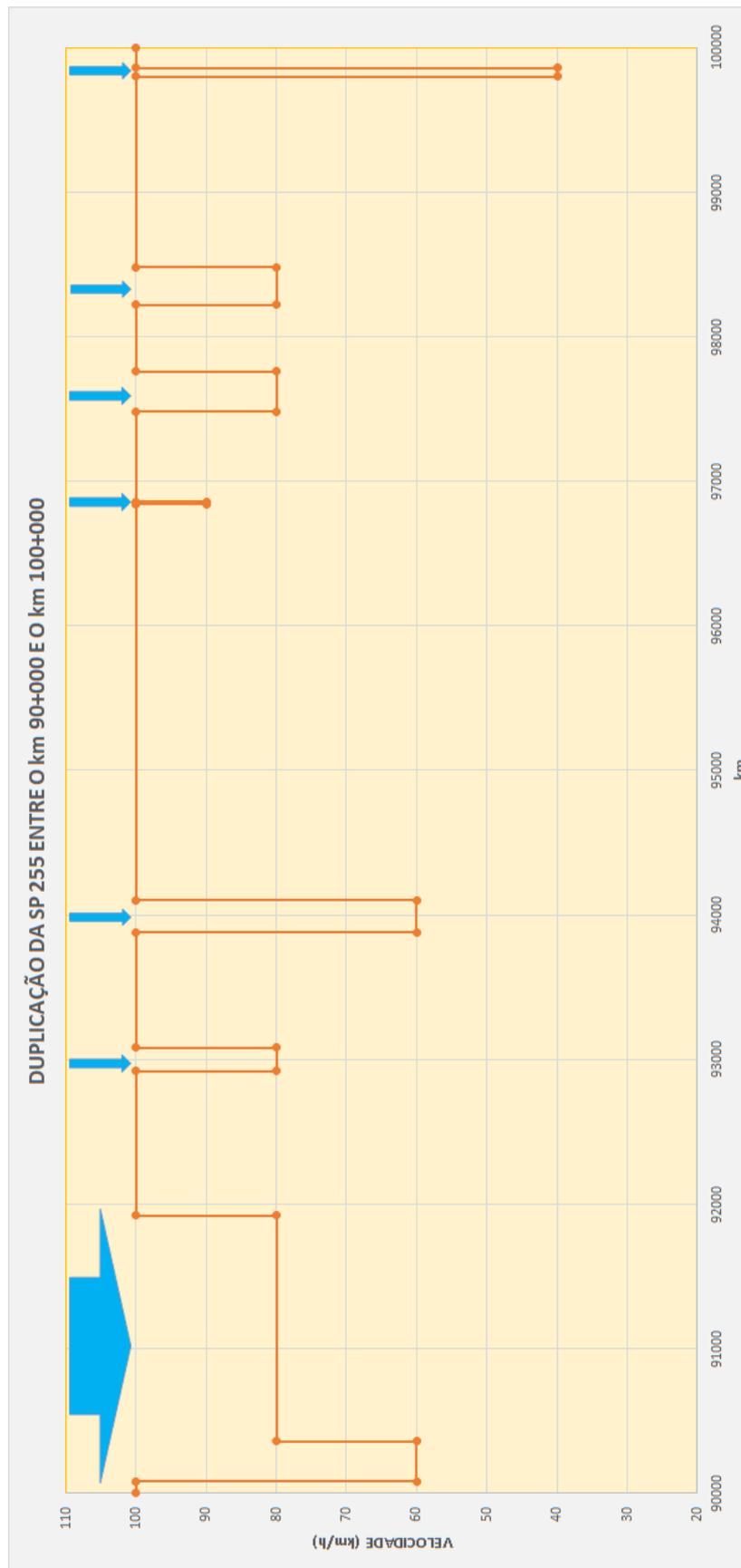


FIGURA 60 – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS – VELOCIDADE REGULAMENTADA INCOMPATÍVEL COM AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA PISTA EXISTENTE

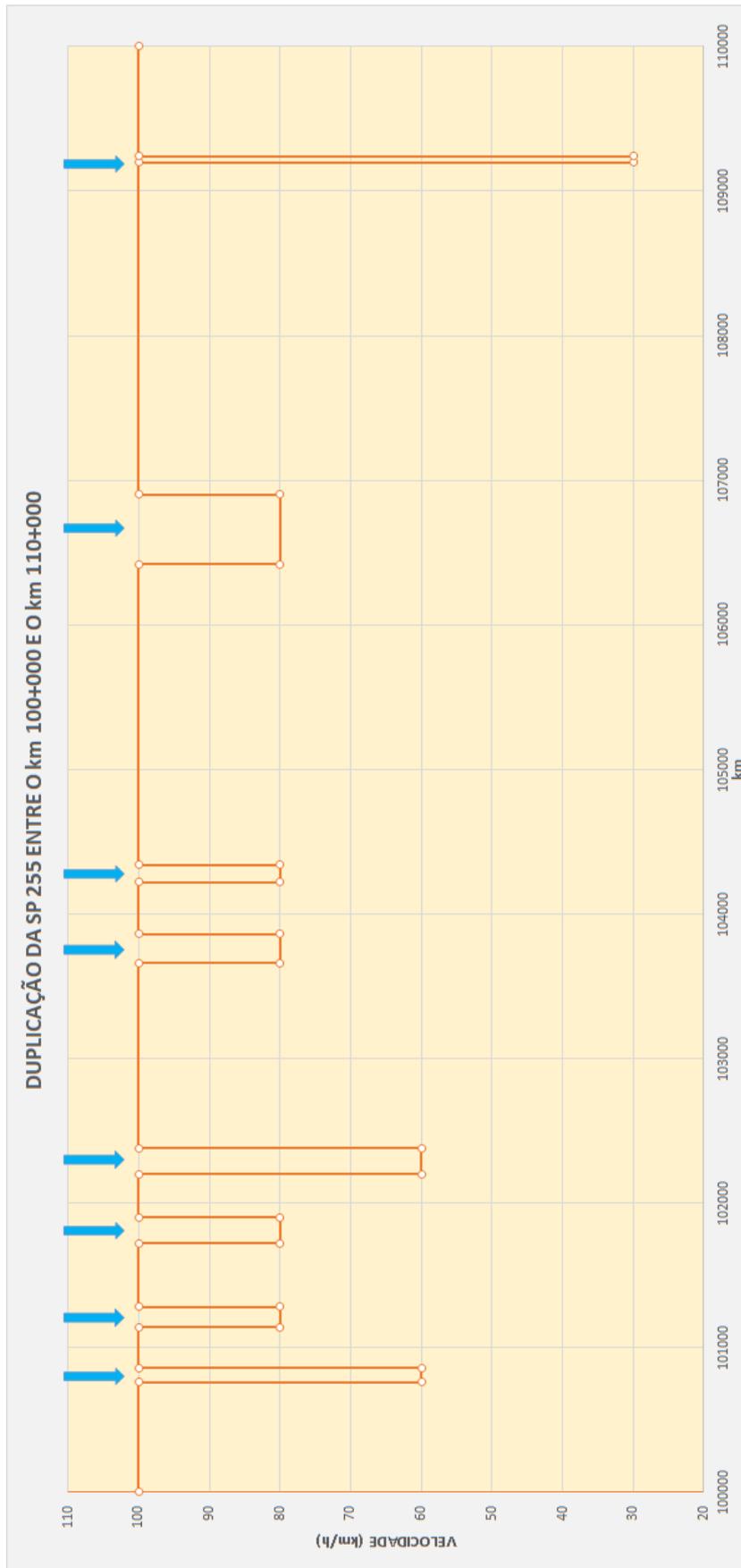


FIGURA 61 – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS – VELOCIDADE REGULAMENTADA INCOMPATÍVEL COM AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA PISTA EXISTENTE

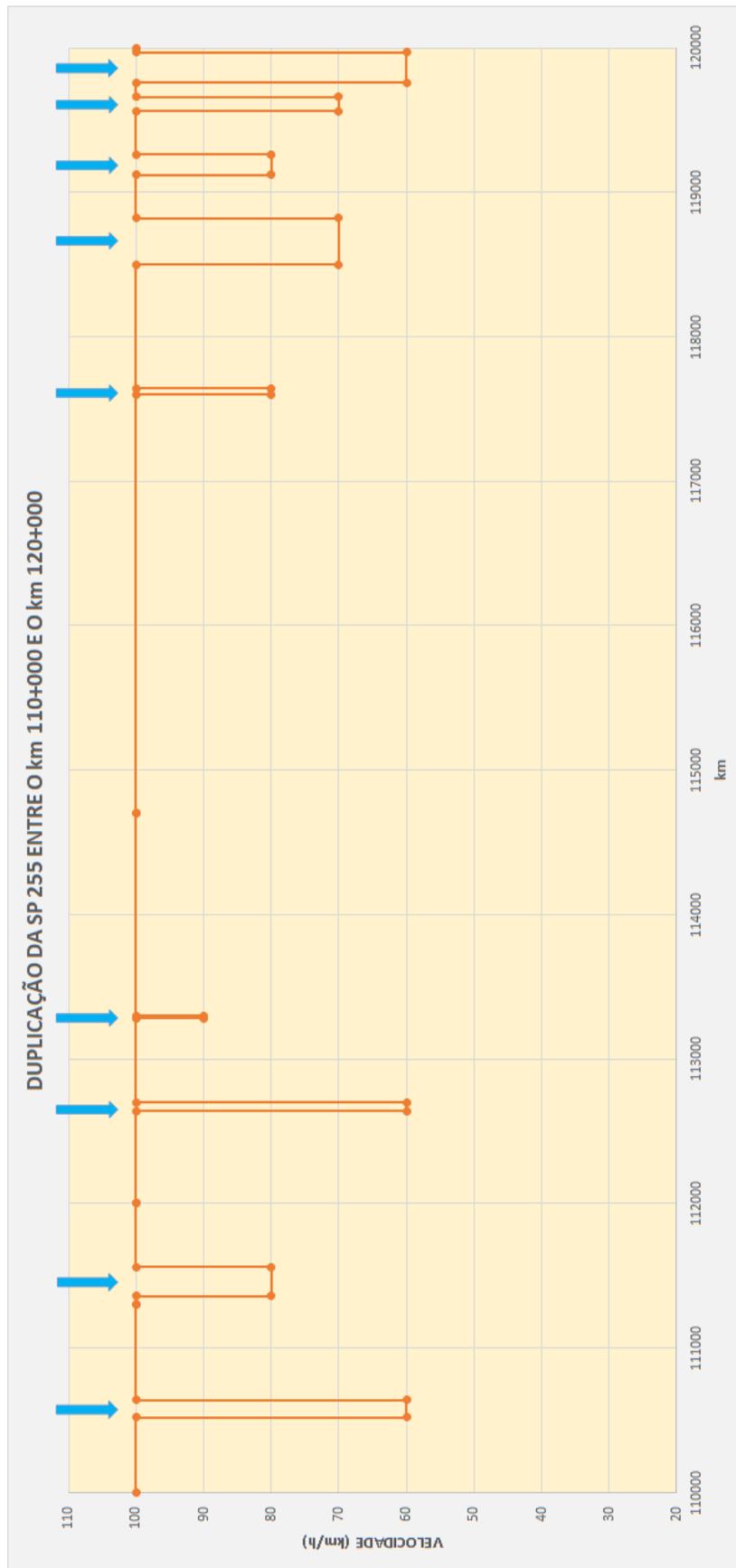
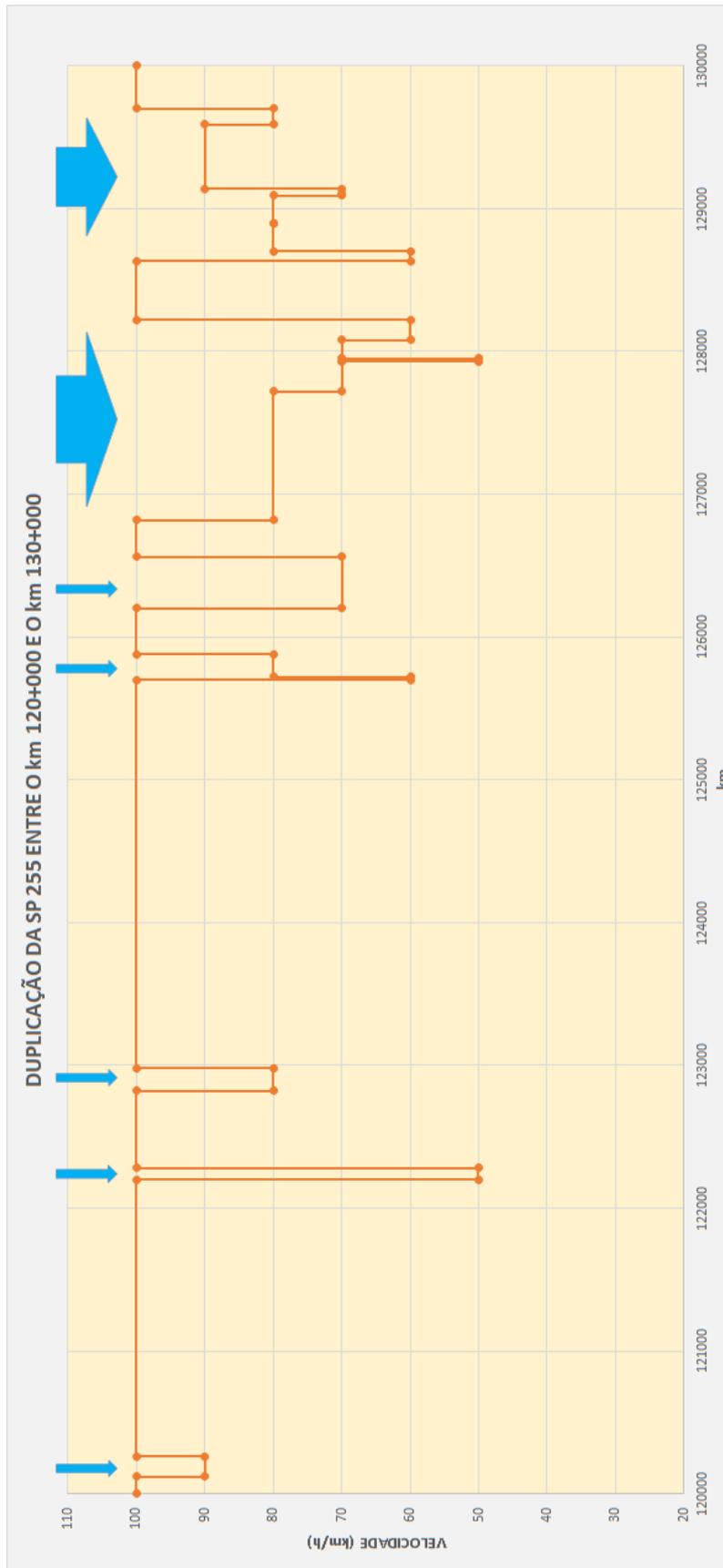


FIGURA 62 – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS – VELOCIDADE REGULAMENTADA INCOMPATÍVEL COM AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA PISTA EXISTENTE



6.2.1 Intervenções Necessárias

A partir da análise do traçado da rodovia é possível verificar a existência de 82 locais nos quais os comprimentos das curvas verticais são insuficientes para atendimento das distâncias de visibilidade de parada necessárias para a velocidade regulamentada de 100 km/h, sendo 48 curvas verticais côncavas e 34 curvas verticais convexas.

Uma das alternativas para a resolução do problema, sem a necessidade de realização de grandes investimentos em obras, seria a redução da velocidade regulamentada ao longo da rodovia, de modo que ela fosse ajustada às variações das características físicas da pista existente.

Uma outra solução possível, apenas para as curvas verticais côncavas, seria a implantação de iluminação ao longo de seus locais de ocorrência, de forma a prover a iluminação noturna necessária à circulação dos veículos, sendo necessário, porém, o desenvolvimento de estudos considerando determinado horizonte de análise para comparação com a alternativa de realização de obras, tendo em vista os custos de implantação, manutenção e operação dos trechos passíveis de iluminação ao longo do período considerado.

Todavia, para as regiões de ocorrência de curvas verticais convexas com comprimentos insuficientes não há possibilidade de iluminação, restando apenas o investimento na realização de obras ou então a redução da velocidade regulamentada.

As figuras 64 e 65 apresentam exemplos de intervenções para curva vertical côncava e curva vertical convexa, respectivamente.

FIGURA 64 – EXEMPLO DE INTERVENÇÃO – CURVA VERTICAL CÔNCAVA

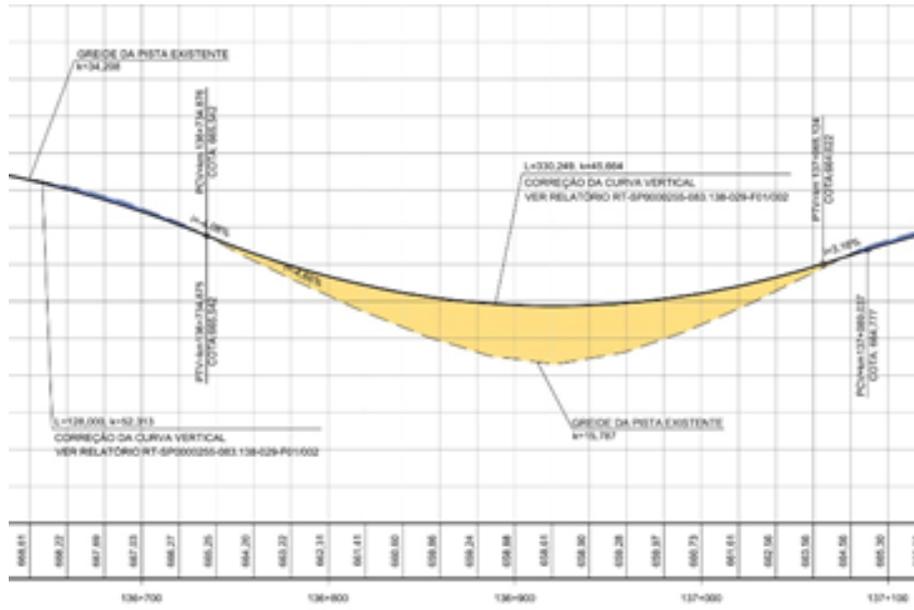
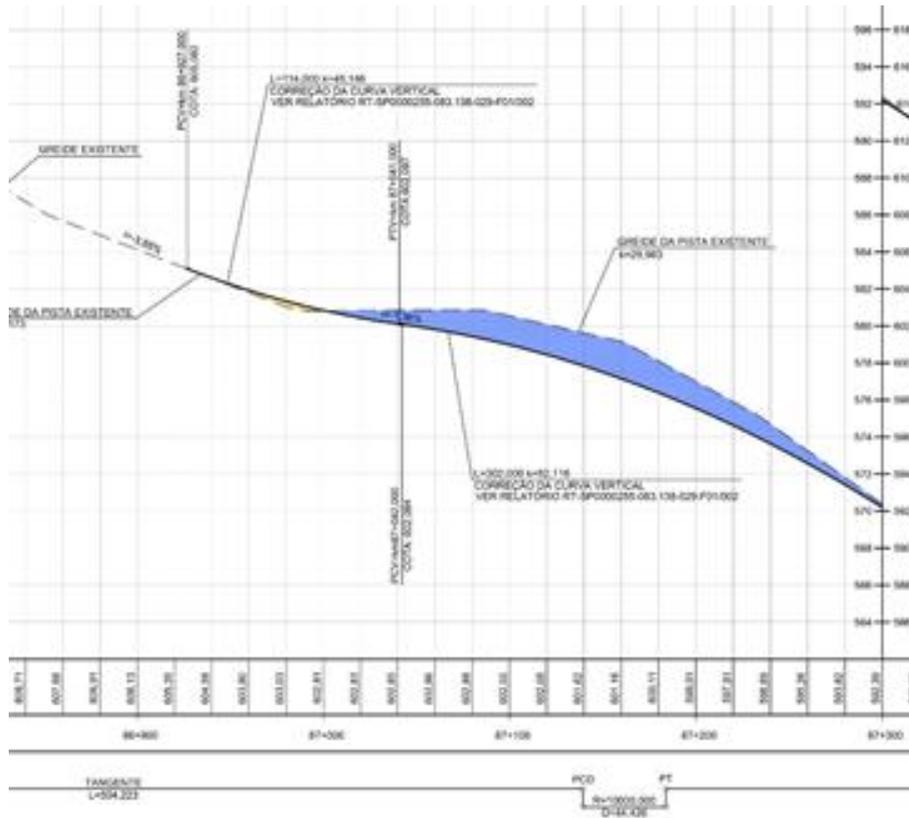


FIGURA 65 – EXEMPLO DE INTERVENÇÃO – CURVA VERTICAL CONVEXA



6.2.2 Consideração dos Recursos Associados à Condução Veicular Automatizada

Os valores mínimos da Distância de Visibilidade de Parada (DVP) recomendados para projeto consideram a necessidade de previsão do tempo de percepção-reação do motorista – no valor de 2,5s – que se refere à distância percorrida pelo veículo até que o motorista visualize o objeto sobre a pista e acione os freios do veículo.

Na condução veicular automatizada, a detecção é realizada pelos sensores embarcados no veículo, mais especificamente, neste caso, o sensor radar de longo alcance radar e câmera de vídeo, que atuam em conjunto.

De acordo com dados de um dos fabricantes, a câmera de vídeo realiza captura de imagens a uma taxa de 30 quadros por segundo e o alcance do radar é de 210m.

O valor mínimo de projeto para a DVP para a velocidade de projeto de 100km/h é de 185m (*Green Book* 2011) inferior, portanto, ao alcance do radar.

Dessa forma é possível concluir que, no exemplo aqui estudado, caso houvesse participação significativamente alta de veículos com os dispositivos associados à condução automatizada em circulação no fluxo de tráfego ao longo da rodovia, os recursos embarcados nesses veículos seriam suficientes para evitar a realização de intervenções na pista para aumento do comprimento das curvas verticais côncavas e convexas para aumento da distância de visibilidade de parada tendo em vista a sua adequação para a atual velocidade regulamentada de 100km/h.

Esclarece-se que as funcionalidades e características associadas aos sensores (radar de longo alcance e câmera de vídeo) independem do nível de automatização SAE J3016, ou seja, basta que os veículos sejam equipados com esses dispositivos, e respectivos aplicativos e correlatos associados, em adequadas condições de funcionamento.

6.3 DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE – ANÁLISE CRÍTICA

Um dos principais requisitos para a segurança e eficiência operacional de uma rodovia é a distância de visibilidade disponível, relacionada à velocidade praticada. Por meio da distância de visibilidade o motorista, utilizando-se da visão, tem condições de captar as informações sobre a via, interpretá-las e tomar decisões a tempo e com segurança. A visibilidade fornece as condições necessárias para que o motorista determine a trajetória e a velocidade do veículo (81).

As distâncias de visibilidade disponíveis, diretamente relacionadas às condições geométricas da rodovia, devem atender parcela significativa dos motoristas e também do conjunto formado pelo veículo e pela pista (freios, suspensão, pneus, condições da superfície de rolamento), sob determinadas premissas, como, por exemplo, pista seca.

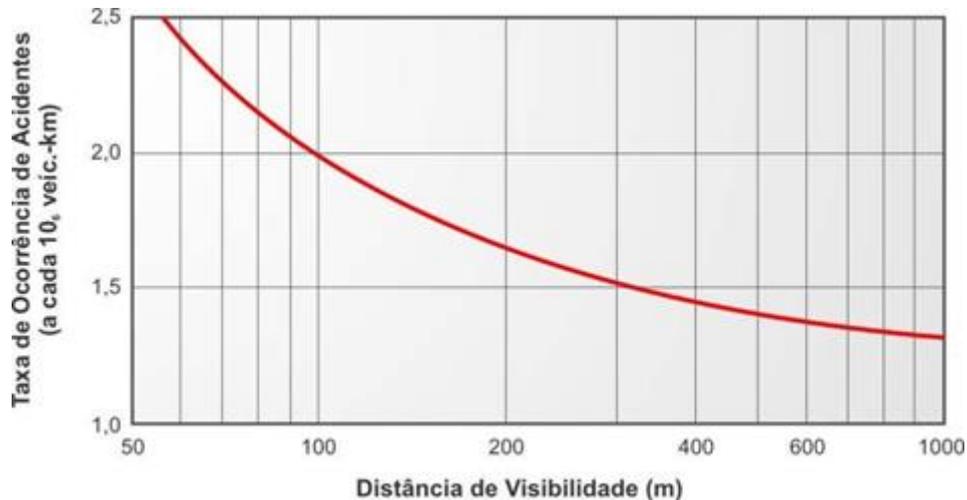
Do ponto de vista do projeto geométrico, as condições de visibilidade em uma via são limitadas pelas mudanças de direção e declividade ao longo de seu traçado, com destaque para as curvas horizontais em trechos de corte e para as curvas verticais convexas. As curvas verticais côncavas apresentam restrições às condições de visibilidade da via no período noturno que, em geral, é definida como função do ângulo de inclinação do feixe luminoso dos faróis dos veículos (81).

Para as curvas horizontais em geral, as restrições nas condições de visibilidade não resultam na fixação de padrões mínimos para o projeto de geometria, já que é possível minimizá-las – como, por exemplo, por meio do alargamento da plataforma de terraplenagem, ou pelo abatimento do ângulo de inclinação de taludes em região de corte. São verificadas reduções da velocidade de operação para curvas horizontais com pequenos raios de curvatura (81).

Para as curvas verticais, as restrições de visibilidade impõem requisitos mínimos de projeto, especialmente os comprimentos mínimos das curvas verticais, buscando oferecer ao longo da sua extensão condições adequadas de visibilidade ao motorista, em especial, distância de visibilidade de parada (81).

A Figura 66 apresenta relação entre a taxa de ocorrência de acidentes e a visibilidade disponível.

FIGURA 66 – TAXA DE OCORRÊNCIA DE ACIDENTES EM FUNÇÃO DA VISIBILIDADE



FONTE (81)

A partir da análise da Figura 65, é possível realizar as seguintes observações:

- a taxa de ocorrência de acidentes decresce com o aumento da visibilidade;
- elevadas taxas de ocorrência de acidentes estão relacionadas a visibilidades inferiores a 100 m;
- para visibilidades entre 100 e 200 m, as taxas de acidentes são 25% inferiores àquelas verificadas para visibilidade inferior a 100m;
- para visibilidades acima de 200 m é menor a taxa de redução de ocorrência de acidentes.

De acordo com Hirsche APUD 81:

- 44% dos acidentes ocorridos por questões de alinhamento da rodovia são consequência de condições restritas de visibilidade;
- o aumento das distâncias de visibilidades leva ao decréscimo da taxa de ocorrência de acidentes;

- a quantidade de obstruções à visibilidade tem importância considerável sobre a ocorrência de acidentes. O risco de ocorrência cresce com o número de obstruções até determinado ponto, a partir do qual passa a decrescer, ou seja, os motoristas tornam-se mais alertas e adaptam a conduta à situação de visibilidade restrita.

Uma possível explicação para a última conclusão de Hirsche é o aumento da frequência das restrições à visibilidade, isto é, ocorrências contínuas de baixas condições de visibilidade afetam de maneira considerável a velocidade e o risco de ocorrência de acidentes. Dessa forma, é desejável que a rodovia apresente condições uniformes de visibilidade ao longo do seu desenvolvimento, ou seja, consistência de visibilidade (Lamm, 1999 APUD 81).

A seguir é apresentada análise crítica para a Distância de Visibilidade de Parada (DVP) e para a Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU) no contexto da condução veicular automatizada e conectada com o objetivo de identificar possíveis impactos futuros.

6.3.1 Distância de Visibilidade de Parada (DVP)

6.3.1.1 Estabelecimento de Valores Mínimos para Projeto

De acordo com o Green Book (9), a DVP é constituída por duas parcelas: a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção- reação e a distância de frenagem – aquela percorrida desde o acionamento dos freios até a efetiva parada do veículo.

O intervalo do tempo de percepção – reação é o decorrido desde o instante em que o motorista nota a presença de um obstáculo na rodovia até o momento em que efetivamente aciona o sistema de frenagem do veículo.

Dentre muitas outras condições, o motorista necessita não apenas notar a presença do objeto na pista, mas também identificar se o mesmo está parado ou então se movimentando lentamente, tomando como referência a própria

rodovia e outros elementos próximos, como cercas, árvores e pontes. Esse tipo de identificação demanda tempo que varia de forma considerável de acordo com a distância e as dimensões do objeto, a acuidade visual do motorista, a agilidade com a qual este reage, as condições de visibilidade atmosférica, o tipo e as condições da rodovia e a natureza do obstáculo. A velocidade do veículo e o ambiente que envolve a rodovia também influenciam o tempo de reação (79). Ainda de acordo com o *Green Book*, o tempo de 2,5s atenderia a mais de 90% da população de motoristas.

Já a distância de frenagem está associada à taxa de desaceleração do veículo que deve ser adequada para que o motorista tenha condições de, durante a frenagem, manter o controle do volante e o veículo no interior da faixa de rolamento. A taxa de desaceleração de 3,4 m/s² é considerada adequada tanto do ponto de vista do conforto do motorista quanto do ponto de vista do atrito entre os pneus e o pavimento.

A Tabela 7 apresenta os valores para a distância de visibilidade de parada sugeridos pelo *Green Book* (9).

TABELA 7
VALORES DE DVP RECOMENDADOS PELO GREEN BOOK

VELOCIDADE(km/h)	DVP (m)
20	20
30	35
40	50
50	65
60	85
70	105
80	130
90	160
100	185
110	220
120	250
130	285

FONTE (9)

6.3.1.2 Considerações sobre a DVP sob a Ótica da Condução Veicular Automatizada

Com relação à condução automatizada, faz-se necessário realizar considerações específicas a respeito do tempo de reação, visto que a detecção de objetos sobre a pista passa a ser realizada pelo sistema e seu conjunto de sensores.

É possível considerar que a principal funcionalidade do sistema de condução veicular automatizado associada à DVP a Frenagem Automática de Emergência (AEB – *Automatic Emergency Braking*) e os principais sensores associados são os radares de longo alcance, câmera multifuncional e câmera estereoscópica.

A Figura 67 apresenta comparativo para a DVP considerando a condução convencional e a condução automatizada.

FIGURA 67 – COMPARATIVO – DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA (DVP)

	CONDUÇÃO CONVENCIONAL	CONDUÇÃO AUTOMATIZADA
PARÂMETRO DE ANÁLISE	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA (DVP)	FRENAGEM DE EMERGÊNCIA (AEB <i>Automatic Emergency Braking</i>)
RESPONSÁVEL	MOTORISTA	SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONDUÇÃO
DETECÇÃO	VISÃO	RADAR DE LONGO ALCANCE, CÂMARA DE VÍDEO
CAMPO DE DETECÇÃO	40km/h -> 150m 100km/h-> 550m H +/- 25°	ALCANCE DE ATÉ 210m H +/- 60° V +/- 15°
POSICIONAMENTO	Olhos do Motorista a 1,08m da superfície do pavimento 	Radar posicionado no para choque frontal do veículo 
TEMPO DE REACÇÃO	2,5s	30 quadros/s

No processo de condução convencional a detecção do objeto é realizada pelo motorista, utilizando a visão, com foco variável de acordo com a velocidade do veículo (150m para velocidade de 40km/h e 550m para velocidade de 100km/h) e cone de abertura horizontal de +/- 25° (82). Considera-se que os

olhos do motorista estão posicionados a 1,08m da superfície do pavimento e o tempo de reação é de 2,5s (9).

Na condução veicular automatizada o sistema, por meio de seus sensores (radar de longo alcance e câmera de vídeo) são os responsáveis pela detecção do objeto. De acordo com informações de um dos fabricantes, o radar tem alcance de 210m, ângulo de abertura na horizontal de +/- 60°, na vertical de +/- 15° e está posicionado no para choque dianteiro do veículo. A câmera de vídeo atualiza as imagens para identificação de objetos a uma taxa de 30 quadros por segundo.

Pode-se afirmar então que o alcance dos sensores (no caso o radar) é relativamente baixo – 210m contra 550m do foco da visão do motorista com o veículo a uma velocidade de 100km/h. Ainda assim, o atual alcance proporcionado pelo radar é suficiente para atendimento de velocidades de projeto de até 100 km/h – conforme indicado na Tabela 14.1.1.

Por outro lado, o campo visual no plano horizontal proporcionado pelos sensores é mais amplo (+/- 60° contra +/- 25° do motorista). A taxa de atualização para os sensores é de 30 quadros por segundo – 0,03 segundos contra um tempo de reação de 2,5 segundos para o motorista.

Além disso há que se considerar que as hipóteses consideradas para o desenvolvimento de projetos viários consideram as condições para atender a maior parcela das características da população de motoristas e que, além disso as condições do motorista, e em consequência as suas capacidades, podem variar por questões momentâneas como fadiga, estado de anímico, efeito de medicações, consumo de álcool, dentre outros, não sendo possível desconsiderar as questões associadas ao envelhecimento da população de motoristas e a consequente degradação da acuidade visual.

Dessa forma é possível considerar que, no futuro, com a renovação da frota de veículos em circulação e a adoção dos sensores nos sistemas veiculares há que se reconsiderar os parâmetros adotados para a DVP – Distância de Visibilidade de Parada.

Espera-se também que o avanço tecnológico dos sensores proporcione maior alcance para detecção e identificação de objetos, em especial para ambientes de velocidades mais elevadas.

6.3.2 Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU)

6.3.2.1 Estabelecimento de Valores Mínimos para Projeto

Trata-se de um parâmetro de projeto de extrema relevância para vias de pista simples, mão dupla de direção e uma faixa de rolamento por sentido, considerado com o objetivo de garantir a operação segura e eficiente da rodovia.

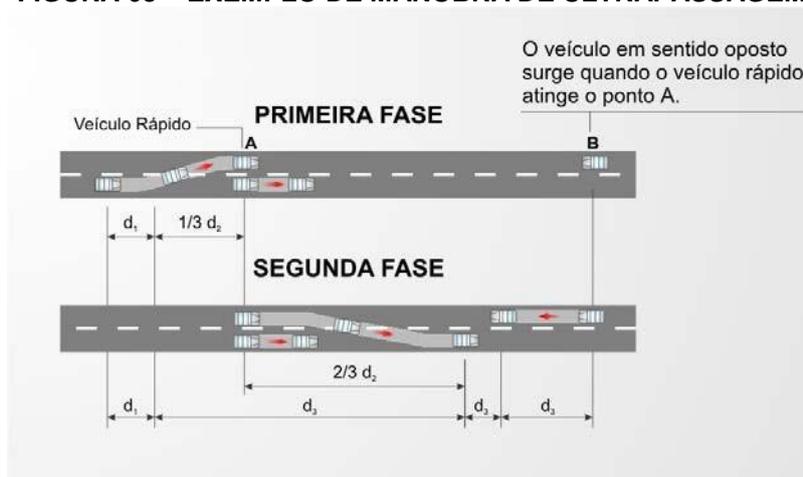
Nessas vias, a realização de manobras de ultrapassagem está diretamente relacionada à eficiência da operação da rodovia, pois o nível de serviço e a capacidade são afetados por conta do atraso imposto pelos veículos mais lentos aos demais no fluxo de tráfego, enquanto aguardam uma oportunidade para realizar a manobra.

A Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU) é aquela necessária para a realização de uma manobra de ultrapassagem de um veículo com maior velocidade sobre outro veículo que circula com velocidade em condições adequadas de segurança.

A disponibilidade da DVU tem por objetivo oferecer condições para que o motorista do veículo que realiza a ultrapassagem utilizando a faixa da esquerda (destinada ao fluxo em sentido oposto) tenha visibilidade livre à sua frente, para decidir quando iniciar e terminar, ou então interromper, a manobra, sem interferir com a trajetória do veículo a ser ultrapassado.

A Figura 68 apresenta de forma esquemática a manobra de ultrapassagem – *Green Book* 2004 (79).

FIGURA 68 – EXEMPLO DE MANOBRA DE ULTRAPASSAGEM



FONTE (79)

A Tabela 8 apresenta os valores para a DVU recomendados pelo *Green Book 2011* (9).

**TABELA 8
VALORES DE DVU RECOMENDADOS PELO GREEN BOOK 2018**

VELOCIDADE(km/h)	DVU (m)
30	120
40	140
50	160
60	180
70	210
80	245
90	280
100	320
110	355
120	395
130	440

FONTE (9)

Algumas das hipóteses consideradas para o estabelecimento dos valores mínimos para a DVU – *Green Book 2018* (9):

- As velocidades do veículo que realiza a ultrapassagem e a do veículo que se aproxima em sentido oposto são iguais entre si e coincidentes com o valor da velocidade de projeto para a via;
- O veículo mais lento tem velocidade constante e 19km/h mais baixa que a velocidade do veículo que realiza a ultrapassagem;
- O veículo que realiza a ultrapassagem tem capacidade de aceleração suficiente para alcançar a velocidade de projeto

(velocidade máxima) antes de tomar a decisão de completar ou interromper a manobra de ultrapassagem (posição crítica).

- Comprimento do veículo de 5,8m (veículos de passeio);
- Tempo de percepção-reação de 1s para o motorista do veículo que realiza a ultrapassagem tomar a decisão de completar ou interromper a manobra de ultrapassagem;
- No caso de interrupção da manobra de ultrapassagem é empregada taxa de desaceleração de $3,4\text{m/s}^2$;
- Separação entre o veículo rápido e o veículo lento de 1s, tanto para as manobras de ultrapassagem completadas quanto para as interrompidas;
- Separação entre o veículo que se aproxima em sentido oposto o e aquele que realiza a ultrapassagem é de 1s ao final da manobra.

6.3.2.2 Considerações sobre a DVU sob a Ótica da Condução Veicular Automatizada e Conectada

Analisando-se a metodologia para estabelecimento de valores mínimos de projeto para a DVU de acordo com a AASHTO (9), verifica-se que o motorista é responsável por tarefas extremamente relevantes, como:

- Detecção de oportunidade para a realização da manobra de ultrapassagem por meio de identificação de brecha no fluxo de tráfego em sentido oposto;
- Avaliação da suficiência da distância de visibilidade suficiente à frente para tentativa de realização da manobra de ultrapassagem;
- Durante a realização da manobra de ultrapassagem, o motorista pode ainda decidir se deve continua-la ou então interrompê-la, antes de atingir determinada posição / avanço;

- Respeito à sinalização que define os trechos com manobra de ultrapassagem permitida (sinalização horizontal com faixa amarela simples e tracejada);

Além disso, a metodologia empregada pelo Green Book (9) considera várias hipóteses como velocidades dos veículos envolvidos, separação (distância de segurança) entre esses veículos ao final da manobra, taxa de desaceleração em caso de manobra interrompida e tempo de percepção-reação para o motorista identificar a oportunidade e decidir realizar a manobra de ultrapassagem (1s).

É possível afirmar que a admissão de um conjunto de hipóteses de considerável grau de complexidade para uma população de motoristas que não apresente necessariamente grau de homogeneidade considerável dificilmente pode ser considerada adequada.

Ainda há que se considerar a drástica alteração dos valores mínimos para a DVU recomendados pela AASHTO a partir da versão 2011 (85), conforme indicado na Tabela 9.

**TABELA 9
VALORES DE DVU RECOMENDADOS PELO GREEN BOOK
VERSÕES 2004 E 2011**

VELOCIDADE(km/h)	VALORES MÍNIMOS PARA A DVU (m)	
	GREEN BOOK 2004	GREEN BOOK 2011
30	200	120
40	270	140
50	345	160
60	410	180
70	485	210
80	540	245
90	615	280
100	670	320
110	730	355
120	775	395
130	815	440

FONTES (9, 85)

Com o posicionamento de dispositivos de comunicação ao longo da via e a troca de informações por meio dos protocolos V2V e V2X torna-se possível

disponibilizar suporte ao motorista para a realização de manobras de ultrapassagem, com o potencial de tornar a sua realização muito mais segura.

A Figura 69 apresenta ilustração esquemática de manobra de ultrapassagem realizada com esse tipo de suporte.

FIGURA 69
EXEMPLO DE MANOBRA DE ULTRAPASSAGEM COM SUPORTE



A partir das informações disponibilizadas pelo veículo em sentido oposto e pelo veículo que está sendo ultrapassado, associadas às informações digitais da via (como alinhamento), torna-se possível conhecer as distâncias de separação e as velocidades, tornando o processo de ultrapassagem mais seguro.

7. PROJETO CONCEITUAL

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao longo do presente trabalho foi verificado que, para viabilizar a condução veicular automatizada em seus níveis mais elevados (4 e 5 – SAE J3016), é necessário equipar a via com os recursos associados ao ITS Colaborativo e com suporte digital à infraestrutura.

Neste contexto é de fundamental importância a previsão de integração e intercâmbio de informações entre os sistemas viários próximos e interligados, sejam urbanos ou rodoviários.

Dessa forma, é necessário estabelecer convênios com os órgãos responsáveis pela operação desses sistemas viários de modo a permitir a troca de informações – preferencialmente em tempo real – e otimizar a circulação do fluxo de tráfego e também as questões associadas à segurança e assistência aos usuários. Tais convênios também devem contemplar os requisitos de conectividade, interoperabilidade para compatibilidade de sistemas e equipamentos e possíveis medidas / ações – que podem ser adotadas de forma conjunta – para o gerenciamento do fluxo de tráfego.

Para o desenvolvimento da condução veicular automatizada e modernização das vias, também é necessário disponibilizar o suporte digital à infraestrutura viária, conforme a classificação funcional da via.

Conforme citado neste trabalho, o suporte de informações digitais à infraestrutura deverá ser proporcional ao padrão / classificação funcional da via. Ou seja, as vias de padrão mais elevado como as integrantes do sistema arterial principal, sistemas arteriais primário e secundário, deverão ter disponibilidade tanto de informações estáticas quanto de informações dinâmicas (em níveis diferenciados). O sistema viário coletor deverá contar apenas com informações digitais estáticas, e, o sistema viário local não deverá contar com suporte digital à infraestrutura.

Nesse sentido, os responsáveis pela operação do sistema viário deverão inicialmente prever inicialmente a geração de conteúdo para subsequente disponibilização das informações estáticas sobre a via, como elementos de sinalização (velocidades regulamentadas, cruzamentos, acessos, dentre outros) e características físicas e de alinhamento. Em avanço, e também para as vias de padrão mais elevado, deverão ser fornecidas informações dinâmicas sobre o fluxo de tráfego, como ocorrência de acidentes, pontos de congestionamento. Condições atmosféricas adversas, dentre outras. Esses conteúdos deverão ser transmitidos aos veículos em circulação em tempo real, de forma a oferecer suporte aos motoristas e aos sistemas veiculares.

Para permitir a disponibilização das informações sobre o fluxo de tráfego em tempo real, torna-se necessário equipar a infraestrutura viária com os recursos associados ao ITS / C-ITS, destacando-se necessidade de previsão de Centros de Controle de Tráfego (CCO / Central ITS) para recebimento das informações coletadas, centralização, tratamento e estabelecimento de medidas e estratégias de controle das condições operacionais na malha viária.

As informações sobre a via e também sobre os veículos em circulação no fluxo de tráfego serão coletadas por meio de dispositivos posicionados ao longo das vias (RSU – *Road Side Units*), que deverão estar posicionados de forma conveniente e estratégica ao longo do sistema viário e permitir a troca de informações entre veículos e infraestrutura.

A conexão entre os dispositivos (RSU) e o CCO / Central ITS poderá ocorrer preferencialmente por meio de fibra ótica ou então por meio de conexão sem fio de alta velocidade, de modo a garantir tempo reduzido (baixa latência) para a troca informações.

Alguns dos principais dispositivos (RSU)

Sensores posicionados sobre a superfície do pavimento

Painéis de mensagens variáveis (fixos e/ou móveis)

Câmeras de vídeo

Antenas

Analisadores de tráfego (SAT)

Estações Meteorológicas / Controle Ambiental

7.2 REFERÊNCIA PARA O PROJETO CONCEITUAL – PROGRAMA INFRAMIX

O programa INFRAMIX é uma iniciativa da Comunidade Europeia e recebe financiamento do fundo privado HORIZON 2020 da Comunidade Europeia, voltado para pesquisa e inovação (88).

Os principais objetivos do programa INFRAMIX são:

- Estabelecer diretrizes para adaptação da infraestrutura viária existente e também para as novas infraestruturas de modo a possibilitar a condução veicular automatizada em seus níveis mais elevados, promovendo também a troca de informações entre os veículos no fluxo de tráfego e destes com a infraestrutura e centros de controle
- Desenvolver modelos de simulação de tráfego e utilizar os dados coletados para análise de cenários, considerando diferentes taxas de participação de veículos automatizados no fluxo de tráfego
- Desenvolver e implementar estratégias para estimativas de volumes de tráfego, monitoramento e controle
- Estudar e desenvolver elementos de sinalização viária, inclusive eletrônica, identificáveis para os motoristas e para os sensores e sistemas dos veículos automatizados

Este projeto conta com dois segmentos rodoviários para a realização dos testes de campo, análise e ajustes aos modelos empregados para a simulação do fluxo de tráfego:

- Rodovia entre Labnitzhohe e Graz na Áustria, sob gestão da ASFINAG / AustriaTech, com 20km de extensão, equipada com pórticos, painéis móveis de mensagens variáveis, equipamentos para fornecimento de informações sobre obras na pista, câmeras

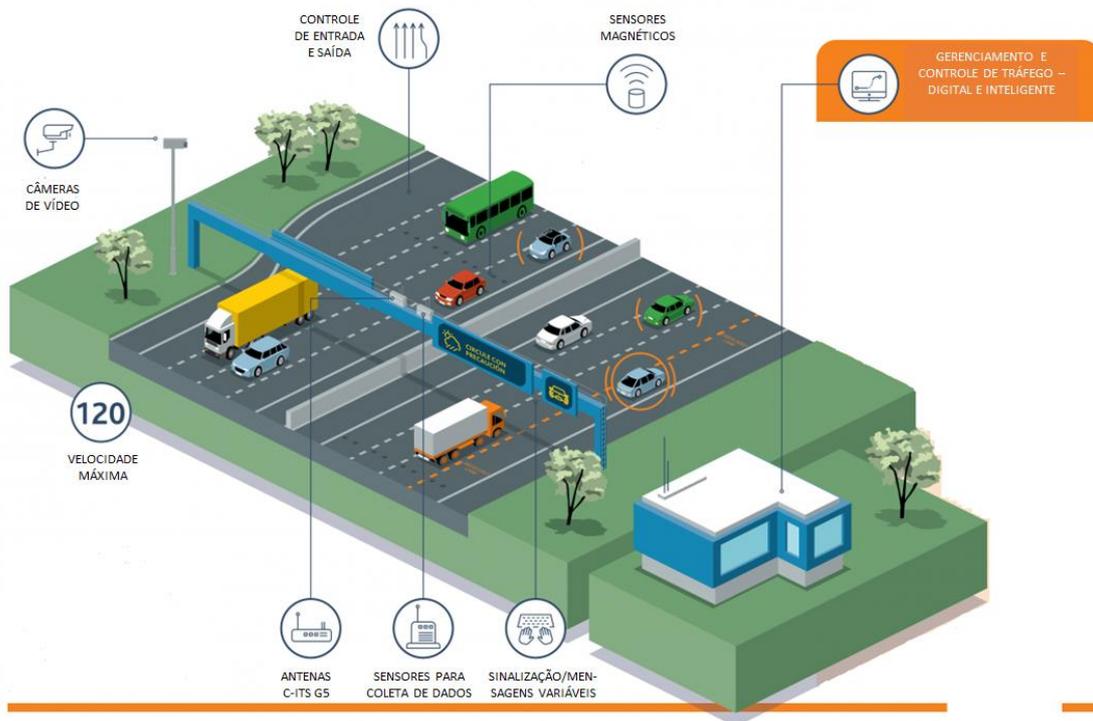
de vídeo, dispositivos ITS-G5, laços contadores de veículos, estações de monitoramento ambiental e radares detectores de velocidade. Com esses recursos torna-se possível realizar as medições durante as sessões de testes considerando-se as imagens, as trocas de informações por meio dos protocolos ITS-G5, via telefonia celular e troca de informações em tempo real com o centro de controle. A infraestrutura conta com fibra ótica para troca de informações por meio do protocolo IP utilizando-se dos pórticos. O objetivo é ter as condições necessárias para definir as trajetórias dos veículos de forma precisa para análise e emprego de ferramentas de simulação de tráfego

- Rodovia entre Barcelona e a fronteira da Espanha com a França, sob concessão da Autopistas / Abertis, com extensão de cerca de 20km, com quatro interseções e túnel com 180m de extensão. O segmento rodoviário conta com diversos tipos de painéis de mensagens variáveis, câmeras de vídeo, antenas *bluetooth* e uma estação de monitoramento ambiental. Troca de informações por meio de telefonia celular, protocolo ITS-G5 e fibra ótica para comunicação entre os dispositivos posicionados ao longo da via e a central de controle

A Figura 70 ilustra exemplo de dispositivos posicionados ao longo da via

(89).

FIGURA 70 – DISPOSITIVOS POSICIONADOS AO LONGO DA VIA



FONTE (89)

7.3 OFERTA DE SERVIÇOS

7.3.1 Serviços Básicos

Conforme descrito anteriormente (3.2.1.3.3 – ITS Colaborativos – Serviços em Potencial), os serviços básicos (ou iniciais) a serem ofertados seriam aqueles com maiores benefícios esperados, tanto com relação à segurança, quanto com relação à eficiência da operação e da segurança dos usuários. Com relação aos aspectos tecnológicos, seriam aqueles com maior maturidade.

A seguir é apresentada possível lista com os serviços iniciais a serem ofertados:

- Alerta de frenagem de emergência
- Alerta de aproximação de veículo de emergência
- Alerta de veículo lento ou então parado à frente
- Alerta de congestionamento à frente

- Notificação de local perigoso;
- Aviso de obras na pista;
- Condições meteorológicas;
- Apresentação da sinalização no painel do veículo;
- Apresentação dos limites de velocidade no painel do veículo;
- Captura de informações do veículo;
- Recomendações de velocidade com o objetivo de reduzir congestionamento e a densidade do o fluxo de tráfego.
- Otimização da circulação do fluxo para redução do tempo de espera em semáforos;
- Desrespeito ao sinal vermelho / segurança em cruzamentos;
- Prioridade no verde do semáforo para veículos de emergência.

7.3.2 Serviços Complementares

Em situações de maior nível de desenvolvimento do sistema colaborativo, com base nas informações coletadas e na sua integração, consolidação, cruzamento com as bases de informações de outros sistemas viários interligados, poderá ser viabilizada a oferta de serviços complementares aos usuários. Tais serviços gerariam renda para o sistema, que poderia ser empregada para amortizar os custos associados aos investimentos necessários à adaptação da infraestrutura viária

Os serviços complementares foram descritos no item 3.2.1.3.3, destacando-se:

- Disponibilidade de vagas de estacionamento – áreas públicas e pagas
- Definição de rotas e condições do tráfego
- Áreas urbanas – controle de acesso
- Gerenciamento de áreas de carga e descarga

A partir da geração de renda por meio da oferta dos serviços complementares, abre-se a possibilidade de obtenção de recursos adicionais para a adaptação da infraestrutura viária às novas necessidades. Dependendo do modelo de negócio, poderia haver a possibilidade de terceirizar a gestão dos recursos tecnológicos associados à via.

Uma possível aplicação de serviço complementar associado às novas tecnologias de condução veicular e à modernização da infraestrutura viária seria a utilização dos eixos rodoviários de ligação entre polos produtores, intermodais e grandes centros urbanos por meio de caminhões circulando em comboio (*truck platooning*).

Nesse regime, os caminhões, contando com a infraestrutura viária adaptada, poderiam circular no modo automatizado nível – SAE J3016 – 3 ou superior. Nessa situação, a distância / *gap*, entre esses veículos poderia ser reduzida e a velocidade seria variável em função das condições de tráfego.

O serviço poderia ainda prever a circulação desses comboios em horários diferenciados, como por exemplo, durante a noite ou na madrugada. Os horários diferenciados proporcionariam, além de menor interferência com o fluxo de veículos convencionais, melhores condições e redução dos tempos de circulação nos grandes centros urbanos, otimizando o fluxo de mercadorias e tornando o processo mais produtivo.

Esse tipo de serviço – promoção da circulação de caminhões em comboios, poderia ser ofertado pelos órgãos responsáveis pela operação do sistema viário, em troca da possibilidade de geração de renda adicional ao sistema, às empresas de logística e transportes, que teriam melhores condições de circulação e aumenta de sua produtividade.

Nessa situação, destaca-se a necessidade de interligação entre os centros de controle / gerenciamento de tráfego dos eixos viários e das áreas urbanas conectadas pelos sistemas viários, de modo a garantir a indispensável troca de informações entre os responsáveis pela operação da infraestrutura (os fornecedores) e os tomadores do serviço – no caso as empresas de logística e transporte.

7.4 POSSÍVEIS CENÁRIOS DE IMPLANTAÇÃO PARA A INFRAESTRUTURA DIGITAL E C-ITS

Considerando que os já elevados custos de implantação associados à infraestrutura viária serão ainda maiores por conta da necessidade de oferta de suporte digital, condições de conectividade e dos recursos associados ao do ITS Colaborativo, visualiza-se a viabilidade de preparação da infraestrutura viária para a condução veicular automatizada e conectada no âmbito dos contratos de concessão à iniciativa privada, seja nas esferas federal, estadual ou municipal.

Dessa forma, tais contratos contemplariam em seus planos de negócios a implantação dos recursos necessários ao ITS Colaborativo e à infraestrutura digital, com a possibilidade de oferta de serviços complementares associados às novas tecnologias e de eventuais receitas adicionais aos órgãos responsáveis pela operação do sistema viário.

7.5 ESTUDO DE CASO

A seguir é apresentada proposta para previsão de implantação de dispositivos ao longo do segmento rodoviário considerado para o Estudo de Caso – rodovia SP 255 – Comandante João Ribeiro de Barros – entre o km 83 e o km 138, atualmente sob a administração da Concessionária Via Paulista, responsável pelo Lote 29 do Programa de Concessões de Rodovias do Estado de São Paulo.

Este segmento promove a ligação entre os municípios de Araraquara (região do km 84, na interseção com a rodovia SP 310) e Jaú (região do km 134), conforme indicado na Figura 71.

FIGURA 71 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO



O projeto de duplicação prevê a implantação de dispositivo de retorno / acesso em desnível nos seguintes locais: km 85+760, km 90+950, km 96+650, km 100+500, km 105+500, km 111+000, km 118+780, km 129+300, km 133+500 e km 137+950.

Além desses dispositivos, foram previstas readequações de algumas alças de acesso para os dispositivos em desnível já existentes localizados no km 84+950 e no km 85+760 (acesso a Araraquara / rodovia SP 310), km 112+570 e km 113+850 – acessos a Boa Esperança do Sul) e km 122+950 (ligação com a rodovia SP 215 – Ribeirão Bonito / São Carlos).

Previsão de Realização de Convênios para troca de informações – prefeituras e sistema rodoviário adjacente

Atualmente a rodovia SP 255 é administrada pela Concessionária Via Paulista, do grupo Arteris.

Analisando-se a Figura 72, verifica-se a necessidade de realização de convênio para troca de informações sobre tráfego com as prefeituras de Araraquara, Jaú e Boa Esperança do Sul.

FIGURA 73 – INTERLIGAÇÃO DA SP 255 COM A SP 310 EM ARARAQUARA



FIGURA 74 – RODOVIAS SP 255, SP 225 E SP 304 NAS PROXIMIDADES DE JAÚ



Dessa forma também é necessário realizar convênio com as concessionárias Triângulo do Sol e Centrovias, para troca e compartilhamento de informações nos segmentos de interligação e verificada a possibilidade de adoção desse procedimento junto ao DER/SP.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

Em função da diversidade dos temas abordados ao longo do presente trabalho, optou-se pela divisão das conclusões em vários tópicos, de forma a organizar as considerações específicas para cada um dos temas. Quando necessário, foram indicadas nos textos adiante descritos as inter-relações entre os diferentes temas.

Considerações sobre os Níveis de Automatização da Condução Veicular (SAE J 3016) e Sistemas Veiculares

Verifica-se que os avanços tecnológicos proporcionados pela indústria automobilística apresentam grande potencial para a introdução de mudanças significativas na utilização dos veículos por conta do processo de automatização da condução veicular.

A automatização da condução já a partir do Nível 1 SAE J3016 diferencia-se dos recursos de segurança ativa disponíveis nos automóveis, pois oferece monitoramento contínuo e não apenas pontual.

Considera-se que o Nível 2 SAE J3016, com controle da trajetória longitudinal e transversal do veículo e ainda com a necessidade de o motorista controlar o veículo já proporciona grandes benefícios em termos de segurança, uma vez que oferece as seguintes funcionalidades:

- Frenagem de emergência (*Automatic Emergency Braking*),
- Assistência para manutenção do veículo no interior da faixa de rolamento (*LKA – Lane Keeping Assistance*);
- Controle de Velocidade e Distância (*ACC – Adaptive Cruise Control*).

Tais funcionalidades além da segurança aumentam o conforto do motorista tanto em condições de circulação em tráfego congestionado quanto em trânsito ao longo de rodovias em condições de fluxo livre.

Além das funcionalidades acima citadas é possível destacar, com relação aos **Sistemas Veiculares** (item 3.1.4.3), o Controle de Estabilidade do Veículo, que atua no caso de iminência de derrapagem, oferecendo suporte ao motorista em situações de mudança brusca da trajetória do veículo. Tal recurso já se encontra disponível em vários modelos à venda no mercado, inclusive no Brasil.

Todavia, no Nível 3 SAE J3016, no qual existe a possibilidade de o motorista não manter necessariamente o controle e o domínio do veículo durante todo o trajeto, há grande probabilidade de ocorrência de situação crítica no caso de retomada do controle do veículo por parte do motorista por solicitação do sistema automatizado.

Isso ocorre porque, em tal nível de condução, não é possível oferecer a garantia de que o motorista se mantenha em estado de alerta enquanto o veículo está sob o controle do sistema automatizado.

Dessa forma, caso haja necessidade de que o motorista assuma o controle do veículo por solicitação do sistema automatizado de condução, existe a possibilidade de que ocorra uma situação insegura no momento de transição, ou seja, da passagem do controle do veículo por parte do sistema automatizado para o motorista.

Assim, pelo menos no atual momento, considera-se inadequada a circulação de veículos com recursos de condução automatizada no Nível 3 SAE J3016, recomendando-se que a mesma não seja permitida.

O Nível 4 SAE J3016 já supera essa situação, com o sistema automatizado da condução veicular capacitado, pois, no caso de necessidade de retomada do controle do veículo por parte do motorista, em princípio não há grandes dificuldades para o sistema automatizado da condução encaminhar o veículo para uma situação de risco mínimo (por exemplo, parando o veículo no acostamento da rodovia), caso ocorra algum tipo de problema com o motorista.

Ressalta-se que, mesmo assim, o Nível 4 SAE J3016 apresenta limitações associadas tanto às condições do ambiente de circulação (ambiente operacional de projeto – ODD) quanto ao sistema automatizado de condução.

No Nível 5 SAE J3016 já não há restrições associadas ao ambiente de domínio operacional (ODD) e seria então alcançada a propalada automatização veicular plena.

Todavia, para que seja possível alcançar essa plenitude da automatização da condução veicular ainda são necessários vários desenvolvimentos, destacando-se: melhorias das condições de detecção dos sensores utilizados nos veículos (como alcance, resolução e definição, por exemplo) e o aprimoramento dos sistemas computacionais empregados para a identificação e classificação dos objetos.

Também é importante salientar que, tanto para o Nível 4 quanto para o Nível 5 verifica-se a necessidade de combinação dos recursos da condução automatizada (embarcados no veículo) com aqueles associados ao ITS Colaborativo e à infraestrutura digital da via, de forma a permitir a circulação de veículos automatizados e conectados de forma eficaz e segura.

Considerações sobre a Implantação da Condução Veicular Automatizada e Conectada

Conforme levantamentos realizados ao longo do desenvolvimento do presente trabalho, algumas das principais questões associadas à implantação da Condução Veicular Automatizada e Conectada são:

- Regulamentação da circulação dos veículos automatizados;
- Participação da frota de veículos automatizados e conectados no fluxo de tráfego;
- Implantação do ITS Colaborativo e custos associados;
- Requisitos de conexão – longo e curto alcance;
- Implantação da infraestrutura digital;

- Período de transição com a circulação mista de veículos convencionais e de veículos automatizados.

Regulamentação da Circulação dos Veículos Automatizados e Conectados

Atualmente vários países adotam a Convenção de Genebra que estabelece as diretrizes para a circulação de veículos em vias públicas e que pressupõe que o motorista tenha o domínio e o controle do veículo durante todo o deslocamento.

Dessa forma, em geral, torna-se necessária a adaptação das atuais regulamentações, de forma a permitir a circulação dos veículos automatizados no fluxo de tráfego.

Além disso também, para os casos de ocorrência de acidentes, a regulamentação deve indicar de forma clara as responsabilidades de cada parte: do motorista a bordo do veículo (no controle do mesmo ou não), dos fabricantes dos veículos envolvidos, dos produtores dos sistemas veiculares embarcados, dentre outros.

Participação dos Veículos Automatizados e Conectados na Frota em Circulação

Essa questão inicialmente está diretamente associada à renovação da frota em circulação, a qual pode variar de forma bastante ampla entre os países.

A Tabela 10 contém as informações sobre a idade da frota em circulação no Brasil, de acordo com informações contidas no Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária (83).

TABELA 10 – IDADE DA FROTA EM CIRCULAÇÃO NO BRASIL

IDADE	VEÍCULOS	ACUMULADO	CAMINHÕES	ACUMULADO
INFERIOR A 5 ANOS	15%	15%	15%	15%
ENTRE 5 E 9 ANOS	27%	42%	25%	40%
ENTRE 10 E 14 ANOS	16%	58%	15%	55%
ENTRE 15 E 24 ANOS	23%	81%	19%	74%
ENTRE 25 E 34 ANOS	11%	92%	12%	86%
ACIMA DE 34 ANOS	8%	100%	14%	100%

FONTE (83)

Considerando-se que o desenvolvimento de empreendimentos viários deve contemplar veículo de projeto que represente parcela significativa da frota em circulação e, conseqüentemente, a sua idade, é possível admitir que, no Brasil, caso não ocorram mudanças significativas do atual cenário, seria necessário um período de 15 a 30 anos para a necessária renovação da frota, contados a partir do momento em que for determinada a necessidade de que os veículos novos comercializados no país sejam equipados com os recursos da condução automatizada e conectada.

Dessa forma é de extrema relevância a questão da regulamentação com a definição do conteúdo a ser embarcado nos veículos novos (como ACC, AEB e LKA, por exemplo) e sistemas veiculares (como direção eletromecânica e controle de estabilidade, por exemplo).

A propósito desse tipo de regulamentação, vale lembrar que no Brasil, há um cronograma proposto por meio da Resolução nº 717 CONTRAN para estudo de algumas implementações como AEB, LKA e gravador de acidentes de trânsito (similar à “caixa preta” empregada em aeronaves).

Os países integrantes da Comunidade Econômica Europeia já determinaram a obrigatoriedade de equipar os veículos novos com o *e-Call* (que emite notificação de emergência para as autoridades em caso de ocorrência de acidente) e com pelo menos uma funcionalidade da condução veicular automatizada como AEB, ACC ou LKA. No Brasil já há alguns modelos em comercialização com pelos menos alguma dessas funcionalidades, disponibilizados de forma espontânea pelos fabricantes. Na Alemanha o dispositivo de gravação de acidentes de trânsito (“caixa preta”) já é obrigatório para os veículos novos.

Implantação do ITS Colaborativo e Custos Associados

O ITS Colaborativo pressupõe o estabelecimento de comunicações em tempo real entre os diversos usuários da via (veículos, pedestres, ciclistas e outros) e a infraestrutura além de centros de gerenciamento de tráfego.

Os centros de gerenciamento de tráfego recebem essas informações e realizam os tratamentos, processamentos e análises. Na sequência estabelecem as medidas que se fizerem necessárias, com a possibilidade de fornecimento de orientações para o fluxo de veículos em circulação com o objetivo de melhorar a performance do sistema viário e aumentar as condições de eficácia e segurança.

No contexto da condução veicular automatizada e conectada, o ITS Colaborativo complementa os sistemas veiculares automatizados, porém, necessita dos recursos disponibilizados pela infraestrutura digital de forma a captar as informações sobre o fluxo de tráfego e obter os insumos necessários para a realização de análises e o desenvolvimento de modelos de previsão de cenários.

Por outro lado, as centrais de gerenciamento de tráfego também abastecem a infraestrutura digital com o fornecimento de análises preditivas e mapas dinâmicos.

Um dos principais obstáculos a ser superado é a viabilização econômica para a implantação do ITS Colaborativo e da infraestrutura digital.

Nesse sentido, uma das alternativas para a viabilização econômica da implantação do C-ITS seria o desenvolvimento de modelos de negócios para o fornecimento de serviços de informações para os usuários do sistema viário, conforme previsto no programa *Forever Open Roads* (72).

Requisitos de Conectividade – Curto e Longo Alcance

Para as conexões de curto alcance – como as comunicações do tipo V2X, é empregado o protocolo DSRC (*Dedicated Short Range Communication*). Conta-se também com os veículos e demais usuários equipados com dispositivos de comunicação (como *modem*, *smartphone* e outros) e com

dispositivos posicionados ao longo das margens do sistema viário (RSU – *roadside units*), bem como outros tipos de recursos para comunicação. A comunicação entre as RSU e os centros de controle de tráfego podem se dar via cabo ou via conexão de longo alcance como telefonia celular.

Para as conexões de longo alcance conta-se com a cobertura proporcionada pela rede de telefonia móvel, aguardando especialmente a disponibilização da 5ª geração (5G), com maior largura de banda.

No Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações publicou em 03/02/2020 portaria com as diretrizes para o leilão de licenças para a 5ª geração da telefonia móvel, envolvendo as radiofrequências de 700 MHz, 2,3GHz, 3,5GHz e 26GHz. A realização do leilão está prevista para o segundo semestre de 2020 e, com relação à condução automatizada e conectada, as principais medidas que deverão ser previstas são:

- O incentivo ao compartilhamento de infraestrutura ativa e passiva entre os prestadores, incluindo postes, torres, dutos e condutos;
- Compromisso de cobertura de rodovias federais com banda larga móvel e redes de transporte de alta velocidade, principalmente em fibra óptica;
- Definição de prazos para a ativação dos serviços; caso esses prazos não sejam atendidos, as faixas de frequência poderão ser utilizadas por terceiros interessados, com garantias de proteção.

Implantação da Infraestrutura Digital

De acordo com o programa INFRAMIX (74) os recursos da infraestrutura digital, como informações dinâmicas sobre o fluxo de tráfego, condução colaborativa e condução perceptiva, deveriam ser disponibilizados apenas para as vias de classificação hierárquica superior (sistema arterial principal, sistema arterial primário e sistema arterial secundário).

O programa *Forever Open Roads* (72) considera que a infraestrutura digital deverá oferecer as condições para utilização das aplicações e

funcionalidades associadas aos veículos automatizados e conectados, em especial para a coleta das informações dos veículos em circulação e sua transmissão para os centros de controle de tráfego.

Alerta-se que, a coleta, o tratamento e o processamento das informações para a eventual prospecção de oportunidades para a oferta de serviços aos usuários é uma das possíveis fontes de receita para o sistema.

Além disso, os conjuntos de informações poderão ser utilizados para o desenvolvimento de modelos de previsão que poderão ser empregados para análises de cenários e estabelecimento de medidas para otimização da circulação do fluxo na malha viária.

Período de Transição com a Circulação Mista de Veículos Convencionais e de Veículos Automatizados e Conectados

A introdução dos veículos automatizados e conectados na circulação do fluxo de tráfego deverá ser gradual, indicando a ocorrência de um período de transição no qual haverá circulação mista com os veículos convencionais.

A duração do período de transição deverá ser variável em função do aumento da participação dos veículos com essas novas tecnologias na frota em circulação e também dos investimentos a serem realizados na adaptação da infraestrutura existente, assim como na implantação dos recursos associados ao ITS Colaborativo e também da infraestrutura digital.

Todavia, durante a transição, a via deverá apresentar requisitos que atendam tanto aos veículos convencionais quanto aos veículos automatizados e conectados.

Ao longo do tempo, em função da consolidação da circulação dos veículos automatizados e conectados e da implantação do ITS Colaborativo e da infraestrutura digital os critérios empregados para o desenvolvimento de projetos viários deverão ser reavaliados e deverão ser realizadas as modificações que eventualmente se fizerem necessárias.

Cabe ressaltar que a implantação do ITS Colaborativo e da infraestrutura digital deverá ocorrer preferencialmente nas vias de padrão mais elevado,

abrangendo as vias do sistema arterial principal, as rodovias de Classe 0, as vias expressas e as vias do sistema arterial primário e secundário, ou seja, todas com volumes mais elevados de tráfego.

No contexto da circulação mista (veículos automatizados e conectados e veículos convencionais) destaca-se também a necessidade de considerações específicas com relação ao comportamento dos motoristas de ambas as categorias de veículos.

Os motoristas dos veículos convencionais poderiam vir a adotar condutas de direção semelhantes às aquelas possíveis aos veículos automatizados e conectados? Se isso viesse a ocorrer haveria a possibilidade de situações de perigo como distâncias de separação entre veículos e velocidades de percurso inadequadas.

Ao longo do período de transição poderia ser estudada a criação de faixas de tráfego dedicadas aos veículos automatizados e conectados. Tais faixas poderiam operar de forma permanente ou então apenas durante alguns períodos do dia, de modo a possibilitar a circulação dos veículos automatizados e conectados em comboios e aumentar a fluidez e a capacidade de tráfego das vias.

A circulação em comboios também poderia ser adotada para a circulação de caminhões (*truck platooning*) em grandes corredores de transporte (tanto rurais quanto urbanos). Tais comboios poderiam ser autorizados a circular em horários diferenciados (por exemplo, durante a madrugada) de forma a minimizar o impacto sobre o fluxo misto de veículos.

Considerações sobre os Motoristas Idosos

É importante considerar que a fenômeno de envelhecimento das populações, inclusive a de motoristas, é mundial. Com o aumento da proporção de motoristas idosos na população de motoristas, os critérios empregados para o desenvolvimento de projetos viários deveriam ser revisados, de forma a refletir as novas necessidades.

Como os motoristas idosos apresentam certo grau natural de degradação da visão, tem sido considerada a necessidade de adotar parâmetros mais generosos para o desenvolvimento dos projetos viários, especialmente aqueles associados às distâncias de visibilidade – que costumam ter grande impacto sobre os custos de implantação da infraestrutura viária. Além disso, poderá haver impacto também nos critérios de projeto para a sinalização e a iluminação da via, por conta do aumento da participação de motoristas idosos.

É possível concluir que os recursos da condução veicular automatizada e conectada podem oferecer importantes benefícios, também para os motoristas idosos.

Tais benefícios seriam maiores em situações como congestionamentos do fluxo de tráfego e cruzamentos em nível, assim como na realização de movimentos de conversão, notadamente em áreas urbanas. Enfim, para os motoristas idosos, em função do natural declínio das suas capacidades, haveria evidentes benefícios em locais com elevada concentração de informações a serem captadas e processadas em pequenos intervalos de tempo e em locais com possibilidades de ocorrências críticas.

Os recursos associados à condução veicular automatizada e conectada também podem dispensar a necessidade de previsão de maiores distâncias de visibilidade e medidas de reforço na sinalização da via, para oferta de melhores condições aos motoristas idosos, itens estes que têm participação relevante no orçamento de obras de infraestrutura viária.

Sensores

Os atuais sistemas de sensores empregados nos veículos automatizados constituem-se em conjunto formado por radares, radares ultrassônicos e câmeras de vídeo tridimensionais e bidimensionais. Há ainda a possibilidade de utilização do LIDAR, dispositivo de custo ainda elevado, o que torna a sua utilização menos difundida.

Os radares ultrassônicos são empregados para aplicações de curta distância, como estacionamento e manobra do veículo. As câmeras de vídeo e

os radares de longo alcance são utilizados de forma complementar para a identificação e classificação de objetos e realização de estimativas de suas distâncias e velocidades em relação ao veículo.

Além do alcance dos sensores, também há a questão referente à identificação e classificação dos objetos detectados, que envolve os algoritmos e aplicativos. Porém, para que ocorra a adequada identificação e classificação dos objetos é imprescindível que o conjunto de sensores embarcado no veículo possibilite a detecção e visualização de objetos de forma adequada.

Neste sentido há que destacar que ainda há limitações para os sensores disponíveis: as câmeras de vídeo, assim como o olho humano, podem ter a captação das imagens prejudicada em função das condições de incidência dos raios luminosos em suas lentes. A captação também pode ser prejudicada por conta das condições de luminosidade e da atmosfera, como chuva e nevoeiros, por exemplo.

O LIDAR, apesar de seu custo consideravelmente maior em relação ao radar e à câmera de vídeo, pode ter a captação de informações bloqueada sob chuva intensa.

Dessa forma há a necessidade de continuar a desenvolver e aprimorar as soluções para os sensores embarcados nos veículos, de forma a tornar o sistema cada vez mais confiável e obter informações de qualidade, além de, sempre que possível, de forma superposta, permitindo a realização de verificações de consistência.

Destaca-se também a realização de pesquisas para utilização de câmeras de raios infravermelhos de longo alcance, as chamadas câmeras térmicas, empregadas no meio militar, capazes de reconhecer a emissão de ondas de calor, captando informações invisíveis ao espectro reconhecido pelo olho humano e tornando possível a classificação dos objetos por meio de suas características térmicas.

Fatores Humanos

Muitos dos argumentos empregados para exaltar as vantagens associadas à implantação dos sistemas automatizados da condução veicular fazem referência à grande proporção de acidentes associada a fatores humanos (mais de 90%).

Ocorre que a condução veicular automatizada plena (Nível 5 SAE J3016), que dispensaria a necessidade do motorista (e suas falhas associadas) no comando do veículo, ainda não se encontra disponível para emprego em grande escala e em aplicações rotineiras, tanto por conta da necessidade de aprimoramento de sensores, programas computacionais e de outros aspectos associados aos sistemas automatizados, quanto por conta da necessária complementação com os recursos associados do ITS Colaborativo e da infraestrutura digital.

Além disso as questões referentes à renovação da frota em circulação, que, atualmente é composta em sua esmagadora maioria por veículos convencionais, e também dos investimentos necessários à adequação das vias para essas tecnologias (tanto da infraestrutura digital quanto do ITS Colaborativo).

Dessa forma é possível concluir que, apesar das contribuições das novas tecnologias para aumento da segurança e para melhorias das condições de fluidez do tráfego, o fator humano, com as possíveis falhas associadas à sua participação no processo, permanecerá presente na atividade de condução do veículo por um bom período de tempo.

Apesar de as novas tecnologias disponibilizarem recursos que têm por objetivo tornar a circulação dos veículos mais segura, haverá a possibilidade de ocorrências de novos tipos de falhas e erros associados ao motorista.

Por exemplo: a falta de conhecimento adequado dos motoristas sobre os recursos do sistema automatizado da condução veicular pode confundi-los com relação às funcionalidades disponíveis e suas características específicas, causando risco de ocorrência de acidentes por falha humana. A falta de

conhecimento também pode levar os motoristas a adotar condutas inseguras, causando risco de ocorrência de acidentes.

Outras potenciais situações que requerem atenção estão associadas à necessidade de adequada concepção da interface para fornecimento e troca de informações com os motoristas que deve, sendo importante a adoção de critérios apropriados de seleção do conteúdo a ser repassado, de modo a evitar a sobrecarga dos motoristas.

No nível 3 SAE J3016, nas ocasiões em que a condução do veículo está sob responsabilidade do sistema automatizado, existe a possibilidade de ocorrer estado de desatenção do motorista, situação essa que pode se tornar perigosa quando houver necessidade de retomada do controle do veículo por parte do motorista.

Ainda com relação aos fatores humanos, é de fundamental importância o projeto e desenvolvimento de interfaces equilibradas para troca de informações entre o sistema e o motorista. A interface entre o sistema e o motorista deverá ser adequada às capacidades e limitações associadas aos seres humanos.

A questão do treinamento dos motoristas no contexto das modificações em curso no processo de condução do veículo passa a ser de extrema importância. É possível acreditar que, em um futuro não muito distante, os motoristas deverão estar capacitados a identificar e conhecer o modo de utilização dos dispositivos e funcionalidades embarcados nos veículos, e também saber como ativá-los e desativá-los.

Os motoristas também deverão estar capacitados a atuar em caso de pane ou mau funcionamento desses recursos, sendo necessário então que apresentem características de resiliência, sabendo como reagir a ocorrências relacionadas ao mau funcionamento ou indisponibilidade dos recursos avançados de condução.

Estudo de Caso

O Estudo de Caso (Capítulo 6) desenvolvido nesse trabalho indicou que os recursos disponíveis nos veículos no nível 2 SAE J3016 já poderiam trazer benefícios significativos para a ampliação de vias existentes.

No caso específico foi analisada a duplicação de rodovia de pista simples com restrições associadas à distância de visibilidade de parada em curvas verticais côncavas e convexas.

Concluiu-se que seria possível realizar a duplicação da rodovia e manter o atual limite de velocidade (100 km/h) sem realizar os ajustes para adequar os comprimentos de curvas verticais côncavas e convexas aos valores mínimos de projetos para a Distância de Visibilidade de Parada indicados no *Green Book* (9), desde que houvesse participação significativamente elevada de veículos em circulação ao longo da rodovia com os recursos associados à condução automatizada, em especial radar de longo alcance e câmera de vídeo.

Todavia, também no Estudo de Caso, foi detectada a necessidade de aprimoramentos nos sensores em especial o radar de longo alcance para velocidade superior a 100km/h.

Possível Cenário de Implantação para a Condução Veicular Automatizada e Conectada

Ao longo do desenvolvimento do presente trabalho foi verificado que, para viabilizar a condução veicular automatizada em sua plenitude torna-se necessário investir na infraestrutura da via por meio da implantação dos dispositivos associados ao ITS Colaborativo, como Centros de Controle de Tráfego para recebimento, centralização, tratamento e estabelecimento de medidas e estratégias de controle das condições operacionais ao longo da malha viária, bem como dos equipamentos a serem posicionados às suas margens, sensores sobre a superfície do pavimento e outros dispositivos posicionados de forma conveniente para a captação das informações, além de toda a

infraestrutura necessária para permitir a comunicação entre veículos, demais usuários da via, equipamentos e dispositivos.

O ITS Colaborativo, em sua implantação plena, oferecerá as condições necessárias para a disponibilização da infraestrutura digital, possibilitando a condução colaborativa / perceptiva

Por outro lado, como se sabe, a grande maioria das intervenções na infraestrutura de sistemas viários com razoáveis volumes de tráfego envolve elevados custos de implantação, e o país apresenta problema crônico de falta de recursos para investimentos nessa área.

Nesse contexto, em uma fase inicial, considera-se possível analisar a implantação desses recursos avançados nos sistemas rodoviários objeto de contratos de concessão à iniciativa privada, tanto no âmbito federal quanto no âmbito estadual.

Os novos contratos a serem objeto de licitação poderiam considerar os investimentos necessários para a viabilização do ITS Colaborativo e da infraestrutura digital.

Ressalta-se que os sistemas rodoviários sob regime de concessão à iniciativa privada já contam com os Centros de Controle de Operações (CCO).

No estado de São Paulo, há segmentos rodoviários sob concessão que contam com circuito fechado de TV, substituição dos pontos de chamada de emergência (telefones fixos posicionados ao longo da via) por aplicativo (para utilização em *smartphones*) e cobertura WI FI, sendo que a rede será exclusiva para comunicação entre usuários da rodovia e Concessionária a fim de agilizar a prestação de serviços e informações (84), conforme Figura 75.

FIGURA 75 – TORRE COM ANTENA WI FI NA RODOVIA DOS TAMOIOS



FONTE (84)

Dessa forma, nos novos lotes de concessões de sistemas rodoviários a serem objeto de licitação, haveria a possibilidade de prever recursos para a implantação, ao menos parcial, dos elementos necessários ao ITS Colaborativo e à infraestrutura digital.

Para os contratos mais longos, seria necessário prever cláusulas com a possibilidade de investimentos futuros em recursos associados às novas tecnologias da condução veicular automatizada e conectada em desenvolvimento. A título de exemplo, pode-se mencionar que, no estado de São Paulo os contratos de concessão recentemente firmados têm duração de 30 anos.

8.2 RECOMENDAÇÕES

O assunto da condução automatizada e conectada deverá ser objeto de vários estudos para a sua necessária consolidação.

Em um primeiro momento recomenda-se o desenvolvimento de estudos abrangendo a circulação de caminhões em comboio em corredores de transporte em horários diferenciados, a circulação de ônibus com recursos automatizados em corredores exclusivos nas regiões urbanas e a circulação de automóveis em faixas dedicadas aos veículos automatizados e conectados também em áreas urbanas em determinados períodos do dia.

A seguir são realizadas recomendações abrangendo aspectos referentes à infraestrutura, regulamentação e fabricantes.

Infraestrutura

Considerando a realidade nacional quanto à ampla diversidade das características físicas e das condições de operação das vias que compõem a malha rodoviária do país, é possível propor as seguintes recomendações:

- Acelerar o cronograma de implantação da 5ª geração da rede de telefonia celular e procurar garantir que a área de cobertura contemple relevantes redes viárias e eixos rodoviários de maior

importância, de forma a garantir a conectividade de longo alcance necessária à condução veicular automatizada e conectada;

- Aprimorar os contratos de concessões rodoviárias nos níveis federal e estadual, prevendo a possibilidade de implantação dos recursos necessários à condução veicular automatizada e conectada, de modo a permitir, no futuro, a troca de informações entre veículos e infraestrutura;
- A partir do aumento gradativo da participação dos veículos automatizados e conectados no fluxo de tráfego, poderão / deverão ser previstas medidas para que os Centros de Controle de Tráfego colem as informações dos fluxos de tráfego e realizem os processamentos e tratamentos adequados para gerar os conteúdos necessários à infraestrutura digital, incluindo a realização de simulações de cenários.

Regulamentação

Recomenda-se:

- Procurar antecipar os prazos previstos no cronograma de atividades contido na Resolução no 717 CONTRAN;
- Estudar a viabilidade de tornar obrigatória a presença de radares de longo alcance, câmeras de vídeo e demais dispositivos e sistemas necessários à detecção, classificação e identificação dos objetos, de forma a permitir a redução dos custos associados à infraestrutura viária e proporcionar maior suporte aos motoristas idosos;
- Estipular meta (com data) para que todos os veículos novos produzidos no país estejam capacitados a circular no Nível 2 SAE J3016 de automatização da condução veicular;
- Avaliar a conveniência de proibição da circulação de veículos no Nível 3 SAE J3016 por conta da possível insegurança que pode

ocorrer no momento da troca do comando do veículo (do sistema automatizado para o motorista), considerando que não é possível garantir que o motorista esteja em estado de prontidão para assumir essa responsabilidade;

- Avaliar a conveniência de proibição de circulação de veículos nos Níveis 4 e 5 SAE J3016, para as vias da malha nacional que não apresentarem as condições adequadas para oferecer o suporte necessário a esses veículos.
- Revisar o programa de formação de condutores de veículos de forma a capacitá-los com conhecimentos sobre os recursos que passarão a estar contidos nos novos veículos, conhecimentos esse que deverão englobar tanto as capacidades quanto as limitações de veículos e de seus sistemas associados.

Fabricantes

Acompanhar as inovações a serem desenvolvidas pelos fabricantes para aumentar o alcance dos sensores em razão de tal recurso ser uma necessidade relevante para ambientes de elevadas velocidades regulamentadas.

REFERÊNCIAS

- (1) PERFIS DE SEGURANÇA VIÁRIA OS ESTADOS E REGIÕES DO BRASIL. Disponível em <<http://iris.onsv.org.br/portaldados/#!/profiles>>. Acesso em 04/02/2020.
- (2) RELATÓRIO ESTATÍSTICO DPVAT – 1º SEMESTRE – 2019. Disponível em <<https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Relatorio-Estatistico-1-Semestre-2019.pdf>>. Acesso em 04/02/2020.
- (3) RESPEITO À VIDA – SÃO PAULO DIRIGINDO COM RESPONSABILIDADE – Relatório e Base de Dados. Disponível em <<http://www.respeitoavida.sp.gov.br/relatorios/>>. Acesso em 04/02/2020.
- (4) ESTIMATIVA DOS CUSTOS DOS ACIDENTES DE TRANSITO NO BRASIL COM BASE NA ATUALIZAÇÃO SIMPLIFICADA DAS PESQUISAS ANTERIORES DO IPEA – Relatório de Pesquisa. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP_Estimativa_2015.pdf>. Acesso em 04/02/2020.
- (5) EM DISCUSSÃO – Estudo da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre Mortes por Acidentes de Trânsito em 178 Países é Base para Década de Ações para Segurança. Disponível em <<http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/motos/saude/estudo-da-organizacao-mundial-da-saude-oms-sobre-mortes-por-acidentes-de-transito-em-178-paises-e-base-para-decada-de-aco-es-para-seguranca.aspx>>. Acesso em 04/02/2020.
- (6) AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, **Sistemas Inteligentes de Transportes**, Série Caderno Técnicos Volume 8, Brasília, 2012.
- (7) INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS – Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM). Disponível em <https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en> . Acesso em 04/01/2020.

- (8) EUROPEAN ROAD TRANSPORT RESEARCH ADVISORY COUNCIL, **Connected Automated Driving Roadmap**, ERTRAC Working Group Connectivity and Automated Driving, Bruxelas, 2018.
- (9) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND OFFICIALS, **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, 7th Edition, Wasington DC, 2018.
- (10) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**, Rio de Janeiro, 2010.
- (11) HOW TO: ADJUST YOUR MIRROR TO AVOID BLIND SPOTS – Less obvious than it sounds. Disponível em <<https://www.caranddriver.com/features/a15131074/how-to-adjust-your-mirrors-to-avoid-blind-spots/>>. Acesso em 04/01/2020.
- (12) CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O TRÁFEGO VIÁRIO. Disponível em <https://treaties.un.org/pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtmsg_no=XI-B-19&chapter=11&Temp=mtmsg3&clang=en>. Acesso em 26/11/2019.
- (13) World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) – United Nations. Disponível em <https://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_wp29.html>. Acesso em 26/11/2019.
- (14) Highway Capacity Manual, Sixth Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Disponível em < <http://www.trb.org/Main/Blurbs/175169.aspx>>. Acesso em 26/11/2019.
- (15) AUTOMATED DRIVING – UNECE International Harmonization. Disponível em < http://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo3.pdf>. Acesso em 26/11/2019.
- (16) THE STATE OF AUTONOMOUS LEGISLATION IN EUROPE. Disponível em <<https://autovistagroup.com/news-and-insights/state-autonomous-legislation-europe>>. Acesso em 26/11/2019.

- (17) Lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997 – Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503Compilado.htm>. Acesso em 26/11/2019
- (18) Resolução nº 717 do CONTRAN – Publicada em 08/12/2017 no Diário Oficial da União. Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=353460>>. Acesso em 26/11/2019
- (19) Decreto Presidencial nº 8 de 28/10/2003. Disponível em <http://english.www.gov.cn/>>. Acesso em 16/10/2019.
- (20) China Issues Self-driving Car Road Testing Regulations. Disponível em <https://www.chinalawinsight.com/2018/04/articles/compliance/china-issues-self-driving-car-road-testing-regulations/>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (21) German Road Traffic Regulations. Disponível em https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/german-road-traffic-regulations.pdf?__blob=publicationFile>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (22) Eight Act amending the German Road Traffic Act. Disponível em https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/DG/eight-act-amending-the-road-traffic-act.pdf?__blob=publicationFile>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (23) Disponível em <https://s3.amazonaws.com/documents.lexology.com/6e0d305e-b978-4de3-a6ab-43820f5936e7.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAVYILUYJ754JTDY6T&Expires=1572386331&Signature=XweMY5Z8GQ53s%2B1navweb0LEhhU%3D>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (24) Highway Code. Disponível em <https://www.gov.uk/browse/driving/highway-code-road-safety>>. Consulta realizada em 16/10/2019.

- (25) Code of Practice: Automated vehicle trialling. Disponível em <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/776511/code-of-practice-automated-vehicle-trialling.pdf>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (26) Driverless Cars on The Roads. Disponível em <<https://www.government.nl/latest/news/2017/02/24/driverless-cars-on-the-roads>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (27) U.S. DOT Releases Updated Autonomous Vehicle Guidelines. Disponível em <https://www.ncsl.org/documents/standcomm/scnri/NHTSA_HAV.PDF>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (28) Latest Version of Federal Automated Vehicle Guidance Provides Best Practices for States, Paves the Way for Fully Driverless Vehicles. Disponível em <<https://knowledgecenter.csg.org/kc/content/latest-version-federal-automated-vehicle-guidance-provides-best-practices-states-paves-way>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (29) Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0 (AV 3.0). Disponível em <<https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (30) Autonomous Vehicles / Self-Driving Vehicles Enacted Legislation. Disponível em <<https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>>. Consulta realizada em 16/10/2019.
- (31) Concepção do Sistema de Informação Viária. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodovitarias/convenios-com-a-ufsc/do1282nea-fase-4-produto-11.pdf>>. Consulta realizada em 23/12/2019.
- (32) Plano Global para a Década de Segurança Viária 2011 – 2020. Disponível em

- https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/en/>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (33) Rodovias que Perdoam – Novas regras de segurança rodoviária focadas na melhoria da infraestrutura serão propostas pelo Observatório. Disponível em <http://www.onsv.org.br/rodovias-que-perdoam-novas-regras-de-seguranca-rodoviaria-focadas-na-melhoria-da-infraestrutura-serao-propostas-pelo-observatorio/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (34) Vehicle safety: New Euro NCAP requirements. Disponível em <https://www.vda.de/en/topics/safety-and-standards/Vehicle-safety--New-Euro-NCAP-requirements/Vehicle-safety--New-Euro-NCAP-requirements.html>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (35) SAE INTERNATIONAL, **Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles**. 2018.
- (36) STRATEGIC TRANSPORT RESEARCH AND INNOVATION AGENDA, **STRIA Roadmap on Connected and Automated Transport: Road, Rail and Waterborne**, Bruxelas, 2019.
- (37) Rondon M.H.D.L.; Capanema C.F.; Fontes R.S. A Interação Homem-Máquina nas Aeronaves Tecnicamente Avançadas: a Transformação de um Paradigma. **Aviation in Focus – Journal of Aeronautical Sciences**, Brasília, 2014.
- (38) Abreu C.E.A.J. Automação no *cockpit* das aeronaves: um precioso auxílio à operação aérea ou um fator de aumento da complexidade no ambiente operacional dos pilotos? Disponível em <https://www.google.com/search?q=AUTOMA%C3%87%C3%83O+NO+COKPIT+DAS+AERONAVES+UM+PRECIOSO+AUX%C3%8DLIO%C3%80+OPERA%C3%87%C3%83O+A%C3%89REA&oq=AUTOMA%C3%87%C3%83O+NO+COKPIT+DAS+AERONAVES+UM+PRECIOSO+AUX%C3%8DLIO%C3%80+OPERA%C3%87%C3%83O+A%C3%89REA+&aqs=chrome..69i57.26203j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>>. Consulta realizada em 26/01/2020.
- (39) VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE, **Automation – From Driver Assistance Systems to Automated Driving**, Berlim. 2015.

- (40) Self driving technology – Between man and machine. Disponível em <<https://www.bosch.com/stories/autonomous-driving-interview-with-moritz-dechant/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (41) Adaptive Cruise Controle. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/adaptive-cruise-control/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (42) Automatic emergency braking – Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/automatic-emergency-braking/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (43) Road Sign Assist. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/commercial-vehicles/driver-assistance-systems/road-sign-assistant/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (44) Evasive steering support. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/evasive-steering-support/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (45) Intelligent headlight control. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/commercial-vehicles/driver-assistance-systems/intelligent-headlight-control/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (46) Introducing the 2019 Volvo XC90 T6 Awd Momentum SUV. Disponível em <https://personalizeyourvolvo.com/VOLVOInsider/index_oneStory_PRINT.asp?ID=365>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (47) Lane departure warning. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/>>. Acesso em 06/01/2020.

- (48) Lane keeping support. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-keeping-support/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (49) Construction Zone Assist. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/construction-zone-assist/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (50) Highway Assist. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/automated-driving/highway-assist/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (51) Traffic Jam Assist. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/automated-driving/traffic-jam-assist/>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (52) Three Sensor Types Drive Autonomous Vehicles. Disponível em <<https://www.fierceelectronics.com/components/three-sensor-types-drive-autonomous-vehicles>>. Consulta realizada em 02/01/2020.
- (53) Câmera estereoscópica. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A2mera_estereosc%C3%B3pica>. Consulta realizada em 02/01/2020.
- (54) Stereo Video Camera. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/stereo-video-camera/>>. Consulta realizada em 02/01/2020.
- (55) Multi purpose camera. Disponível em: <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/multi-purpose-camera/>>. Consulta realizada em 02/01/2020.

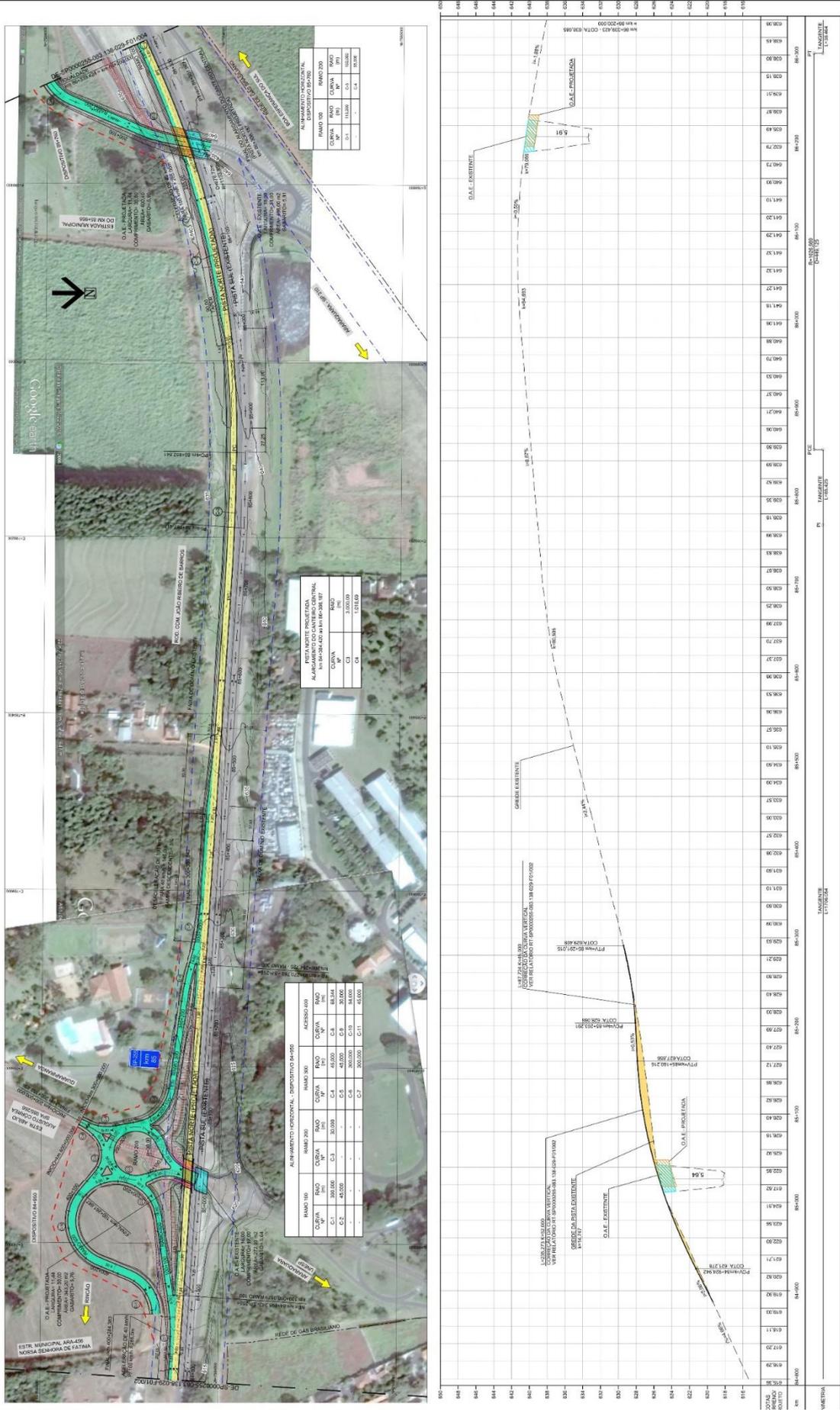
- (56) Rosero, L.A.R. **Detecção de Obstáculos usando fusão de dados de percepção 3D e radar em veículos automotivos**. São Carlos, 2017, 85p.
- (57) Programa Eletrônico de Estabilidade. Disponível em <[https://www.bosch-mobility-solutions.com.br/br/destaques/mobilidade-aut%C3%B4noma/programa-eletr%C3%B4nico-de-estabilidade-\(esp%C2%AE\)/](https://www.bosch-mobility-solutions.com.br/br/destaques/mobilidade-aut%C3%B4noma/programa-eletr%C3%B4nico-de-estabilidade-(esp%C2%AE)/)>. Consulta realizada em 29/12/2019.
- (58) Congresso SAE – Soluções para o setor de transporte. Disponível em <<https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-28480.html>>. Consulta realizada em 29/12/2019.
- (59) iBooster. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driving-safety-systems/brake-booster/iboster/>>. Consulta realizada em 29/12/2019.
- (60) Servoelectric: electric power steering systems for passengers cars. Disponível em <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/steering-systems/electric-power-steering-systems/>>. Consulta realizada em 29/12/2019.
- (61) Resolução ANTT nº 3.323-A de 18/11/2009. Disponível em <[Resolução ANTT no 3323-a DE 18/11/2009 - https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3323-2009_109723.html](https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3323-2009_109723.html)>. Consulta realizada em 10/11/2019.
- (62) Sistema Ponto a Ponto. Disponível em <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/sistema-ponto-a-ponto.aspx>>. Consulta realizada 10/11/2019.
- (63) Briefing: Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). Disponível em <<https://etsc.eu/briefing-cooperative-intelligent-transport-systems-c-its>>. Consulta realizada em 18/11/2019.
- (64) About C-ITS – C-ITS Pilot Project. Disponível em <<http://www.c-its.kr/english/introduction.do>>. Consulta realizada em 08/09/2019.

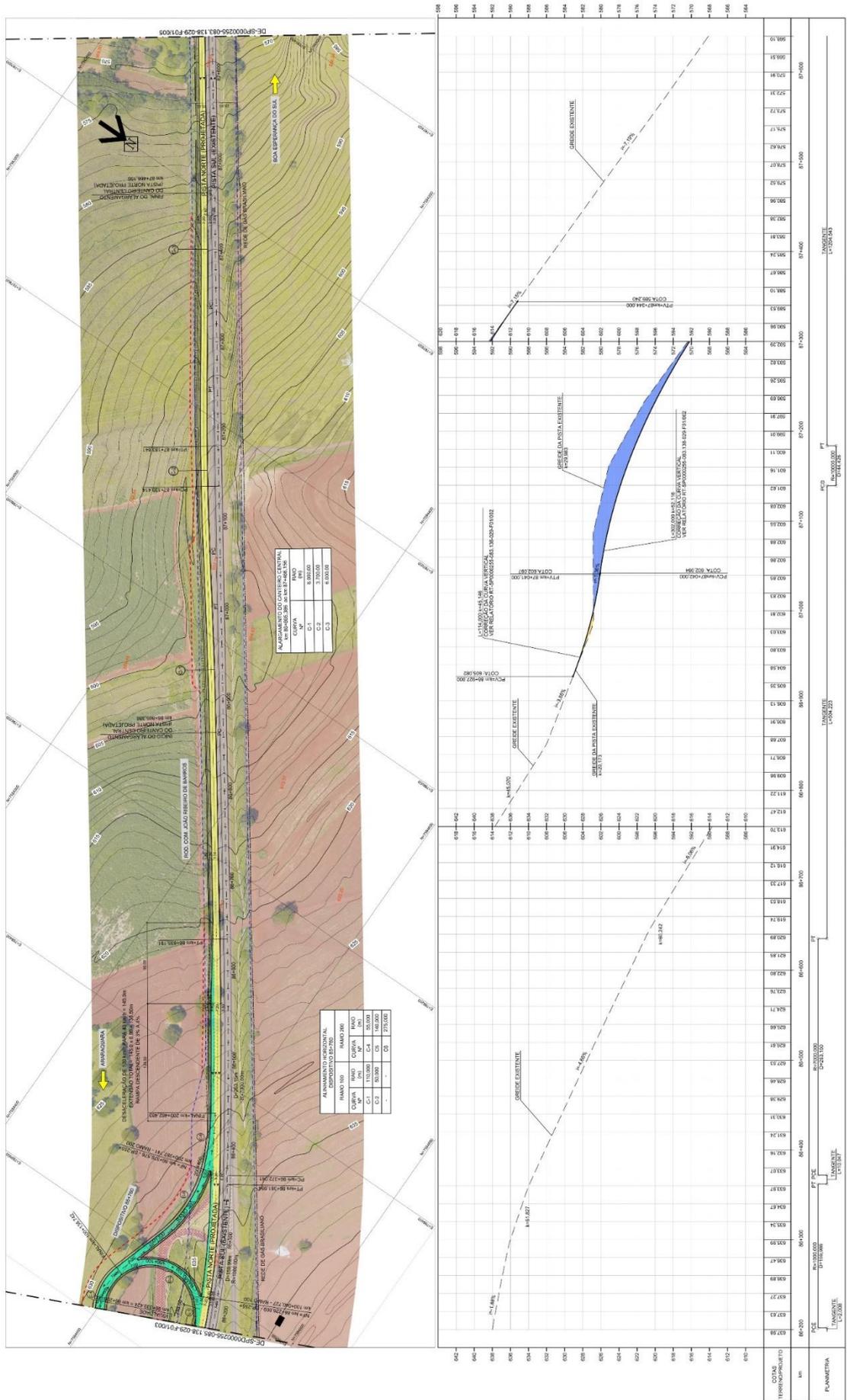
- (65) Wireless Access in Vehicular Environment. Disponível em https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-32903-1_309-1>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (66) C-ITS Platform. **Final Report**. Bruxelas, 2016.
- (67) AUSTRROADS. **Concept of Operations for C-ITS Core Functions – Research Report AP-R479/15**. Sydney, 2015
- (68) Automotive Intelligent Transport System (ITS); Disponível em <https://www.etsi.org/technologies/automotive-intelligent-transport>>. Consulta realizada em 06/01/2020.
- (69) EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL. **Briefing – Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)**. Bruxelas, 2017.
- (70) ITS Developments in Korea – Policy and Regulatory Activities. Disponível em https://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download_en/korea.pdf>. Consulta realizada em 06/05/2019.
- (71) C-ITS Platform. **Final Report Phase II**. Bruxelas, 2017.
- (72) FORUM OF EUROPEAN RESEARCH LABORATORIES. **The Automated Road. A Roadmap for Research. An Element of the Forever Open Roads**. Bruxelas, 2018.
- (73) CONNECTED AUTOMATED DRIVING.EU. Physical and Digital Infrastructure. Disponível em <https://connectedautomateddriving.eu/physical-and-digital-infrastructure/>>. Consulta realizada em 10/01/2020.
- (74) INFRAMIX – Road INFRAstructure ready for MIXed vehicle traffic flows. Disponível em <https://www.inframix.eu/>>. Consulta realizada em 22/10/2019.
- (75) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, 1999.
- (76) New Mobility is Here. Autonomous, Shared and Electric. Disponível em <https://navya.tech/en/>>. Consulta realizada em 01/02/2020.

- (77) AUSTRROADS. **Safety Benefits of Cooperative ITS and Automated Driving in Australia and New Zealand – Research Report AP-R551/17.** Sydney, 2017
- (78) DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Notas Técnicas de Projeto Geométrico.** São Paulo, 2006.
- (79) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND OFFICIALS, **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, 5th Edition, Wasington DC, 2004.
- (80) DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Instrução de Projeto de Geometria.** São Paulo, 2006.
- (81) Pellegrini, P.T. **Contribuição para o Estudo das Distâncias de Visibilidade de Ultrapassagem para Rodovias Bidirecionais com Duas Faixas de Tráfego.** São Paulo, 2006.
- (82) A Psicofisiologia do Fator Humano no Trânsito. Disponível em < <http://www.perkons.com.br/pt/noticia/718/a-psicofisiologia-do-fator-humano-no-transito> >. Consulta realizada em 10/01/2020.
- (83) MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. **Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária 2010 – 2017.** Brasília.
- (84) Rodovia dos Tamoios é a primeira com WI FI e rádio web do país. Disponível em < <http://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/rodovia-dos-tamoios-e-a-primeira-com-wi-fi-e-radio-web-do-pais/>>. Acesso em 04/02/2020.
- (85) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND OFFICIALS, **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, 6th Edition, Wasington DC, 2011.
- (86) ARCADE em <<https://www.connectedautomateddriving.eu/about/arcade/>>. Acesso em 10/07/2021.
- (87) ARCADE Standards Collection em <<https://www.connectedautomateddriving.eu/standards/standards-collection/>>. Acesso em 10/07/2021.

- (88) What´s Horizon 2020?
<<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>>.
Acesso em 17/07/2021)
- (89) Test site Autopistas <<https://www.inframix.eu/test-sites/spanish-test-site/>>. Acesso em 17/07/2021.

ANEXO
PROJETO FUNCIONAL DE DUPLICAÇÃO SP 255



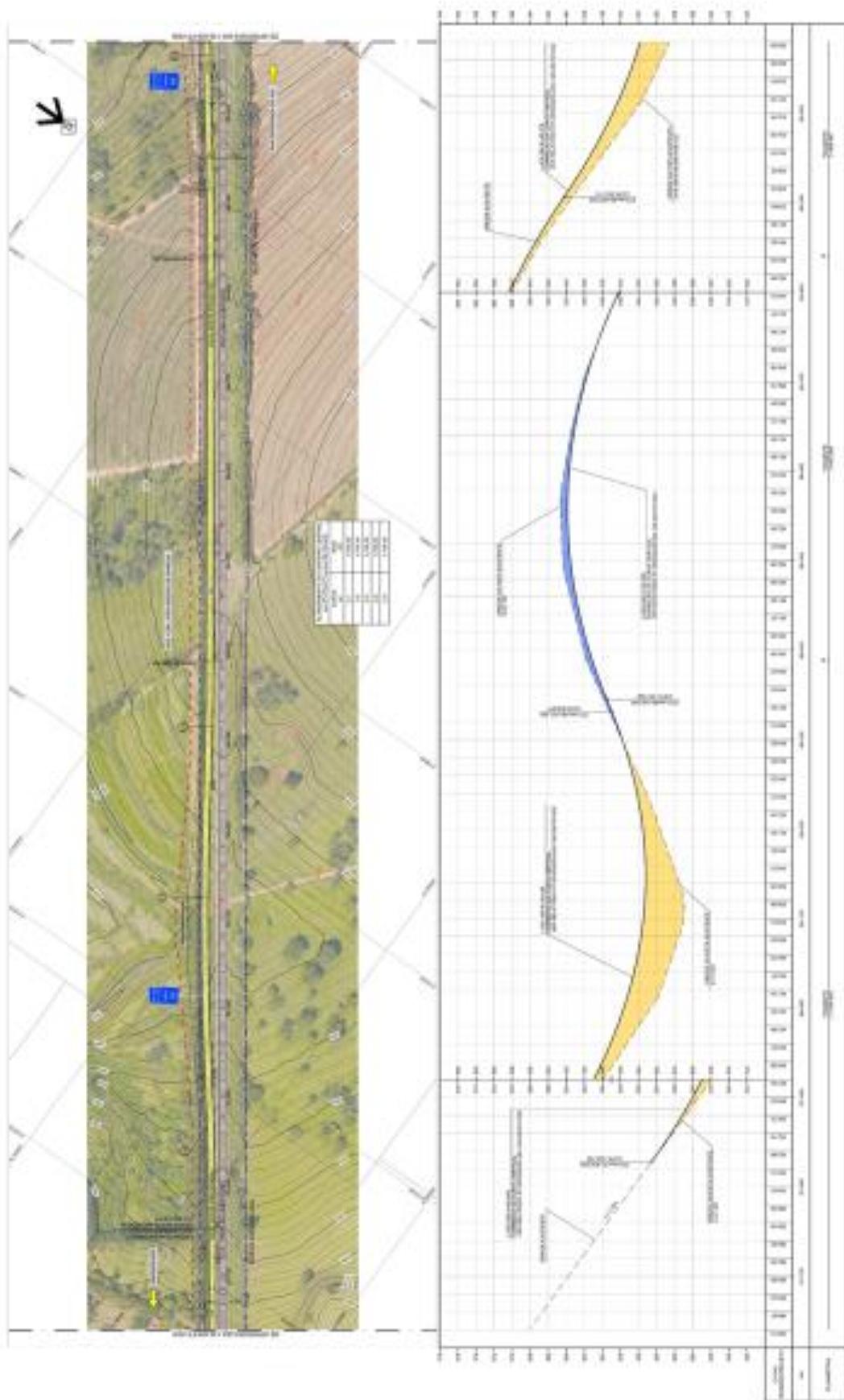


ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PROYECTO

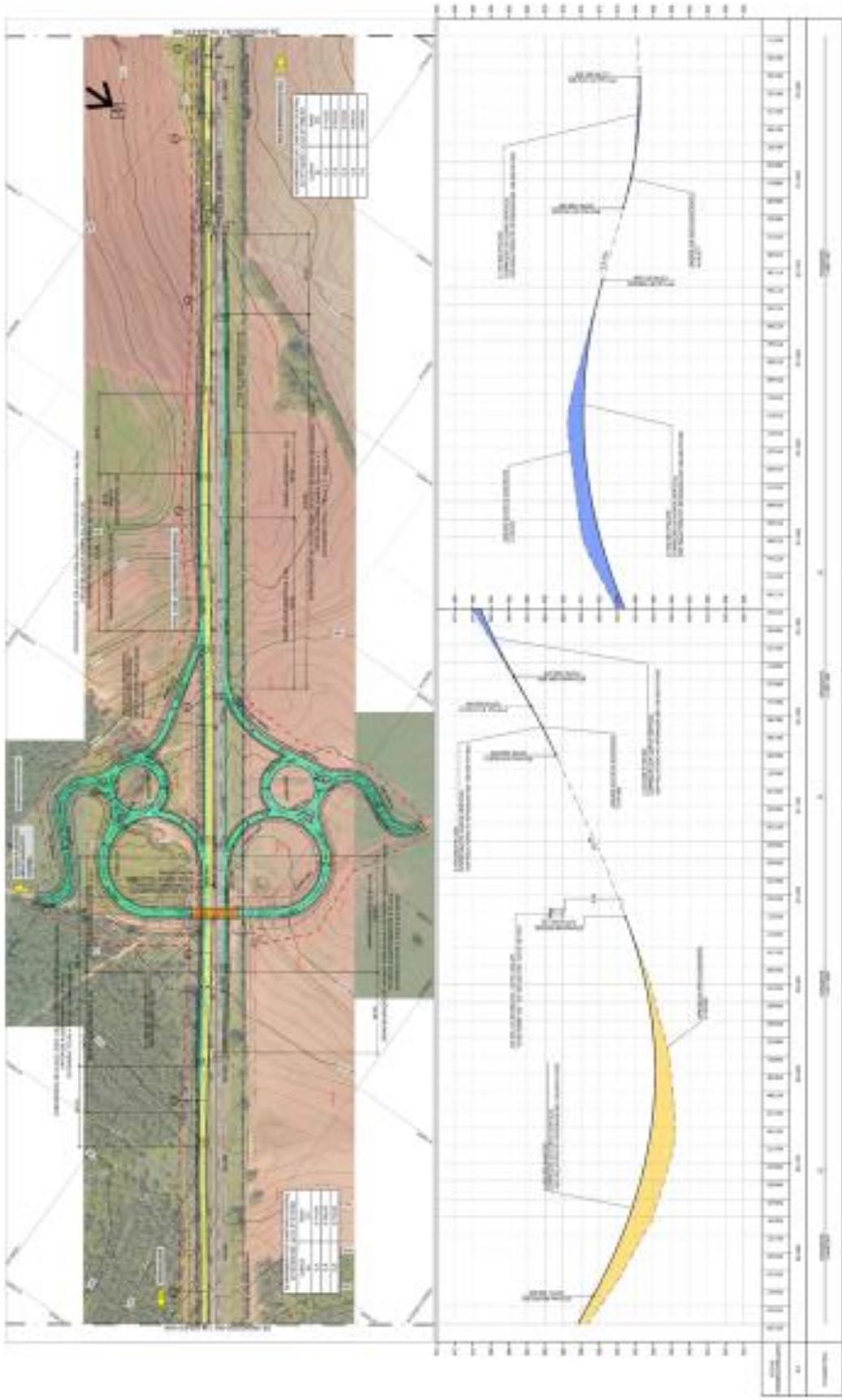
ITEM	VALOR
PC	87+000.00
PT	87+000.00
PI	87+000.00
CV	87+000.00
CS	87+000.00

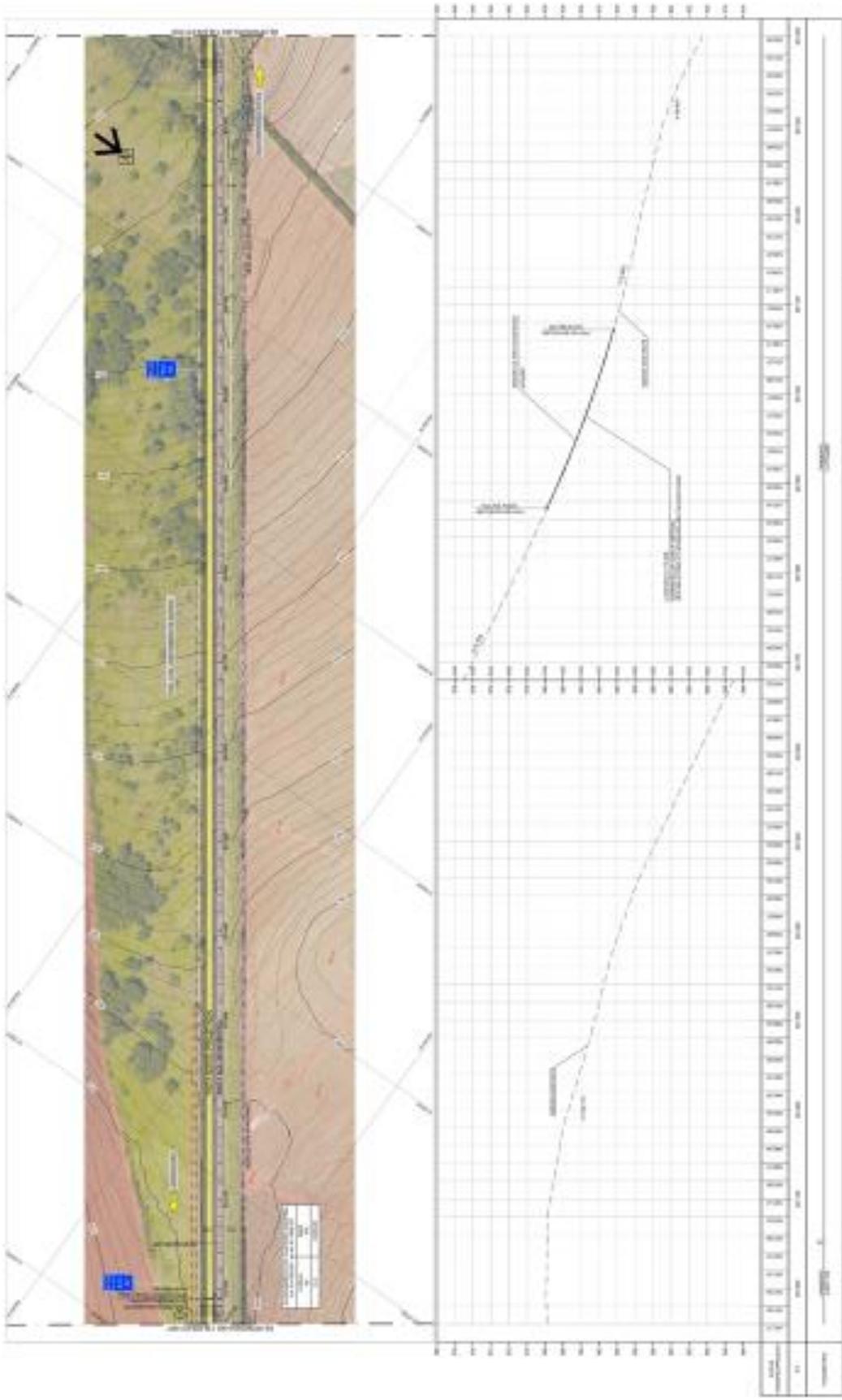
ALINEAMIENTO HORIZONTAL
EXISTENTE

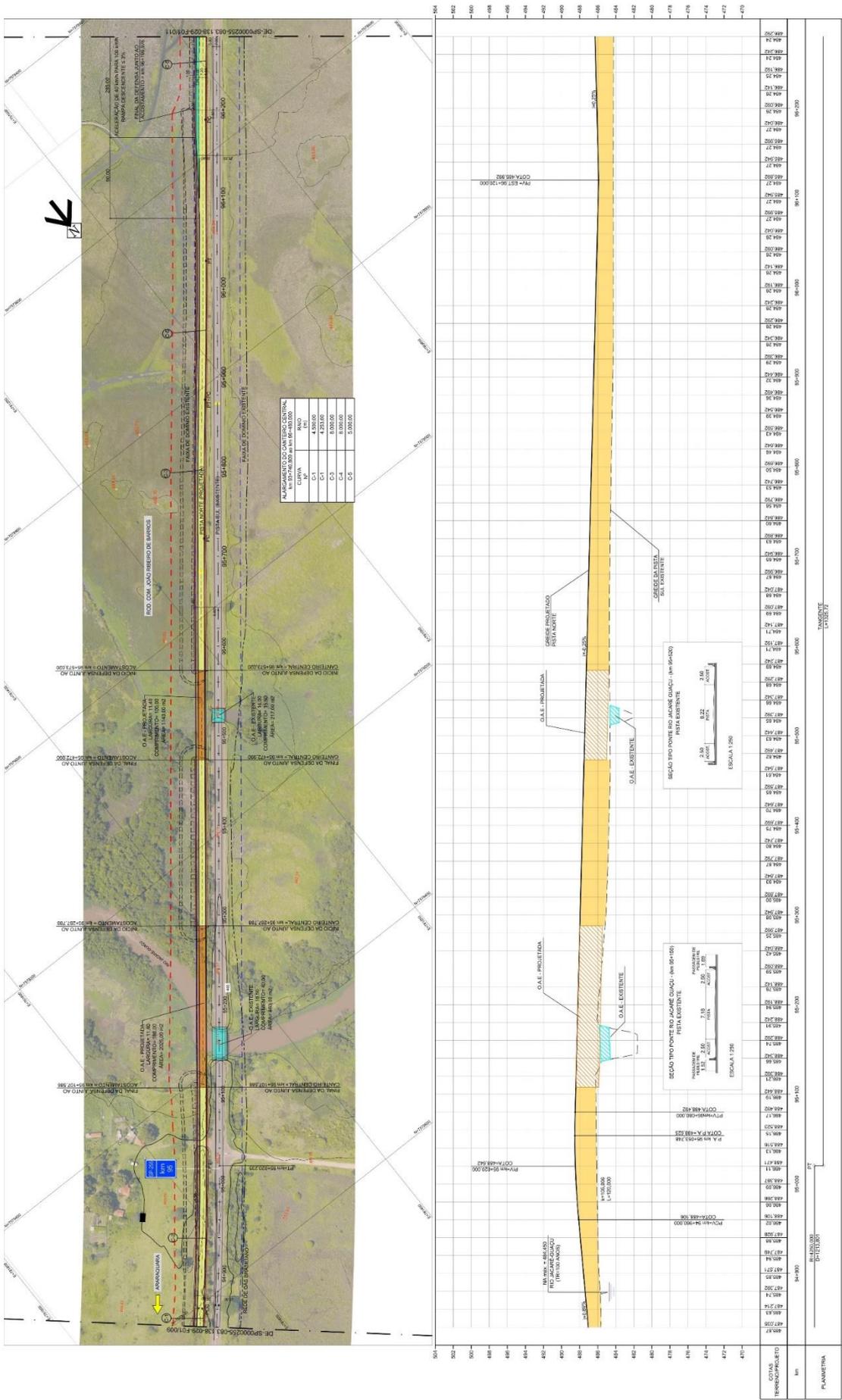
ITEM	VALOR
PC	87+000.00
PT	87+000.00
PI	87+000.00
CV	87+000.00
CS	87+000.00





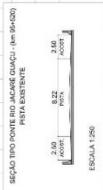


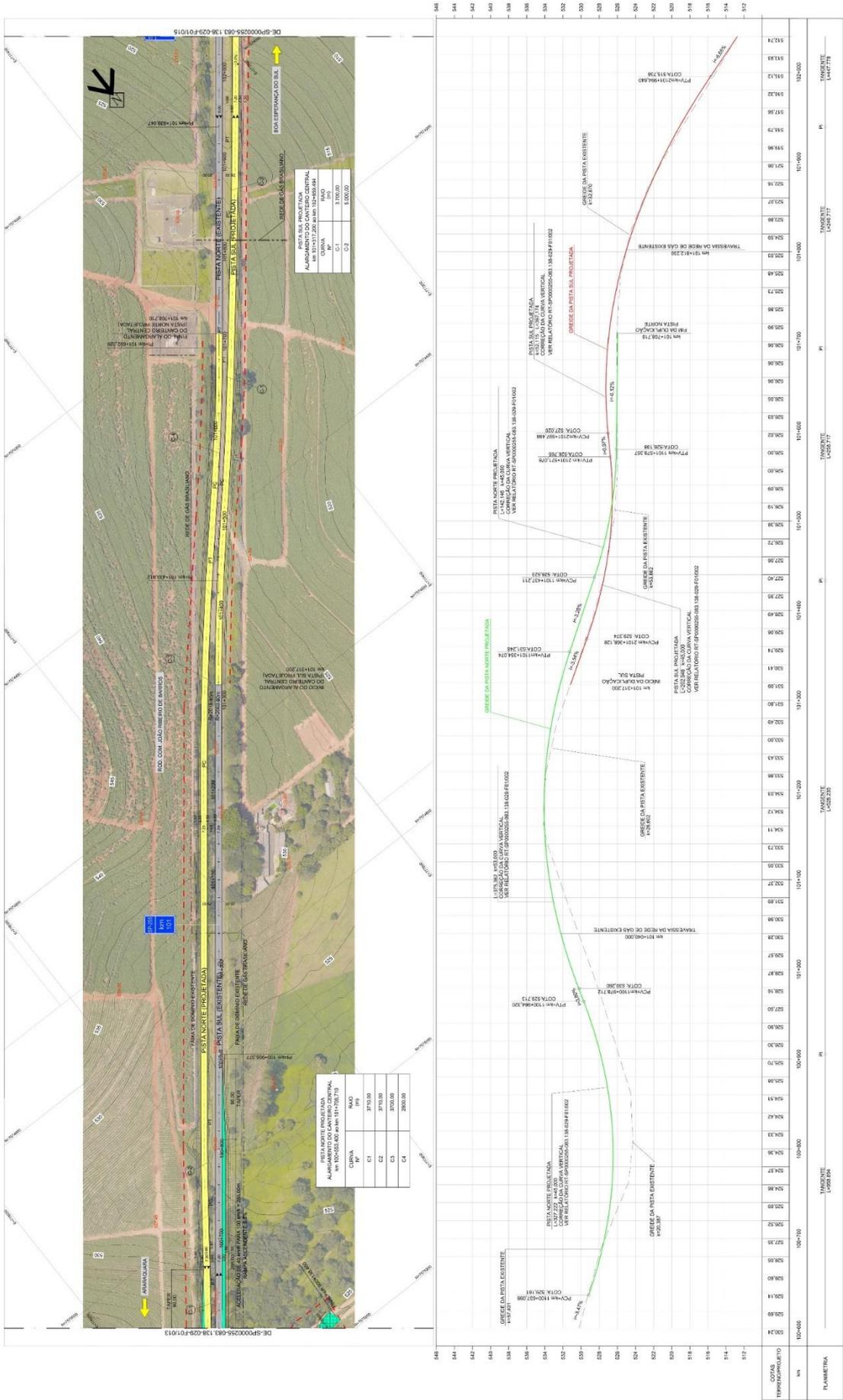




PARA CANTO DO CANTO LARGO CENTRAL
 DE 15,74x30,00 m em 40+00,000

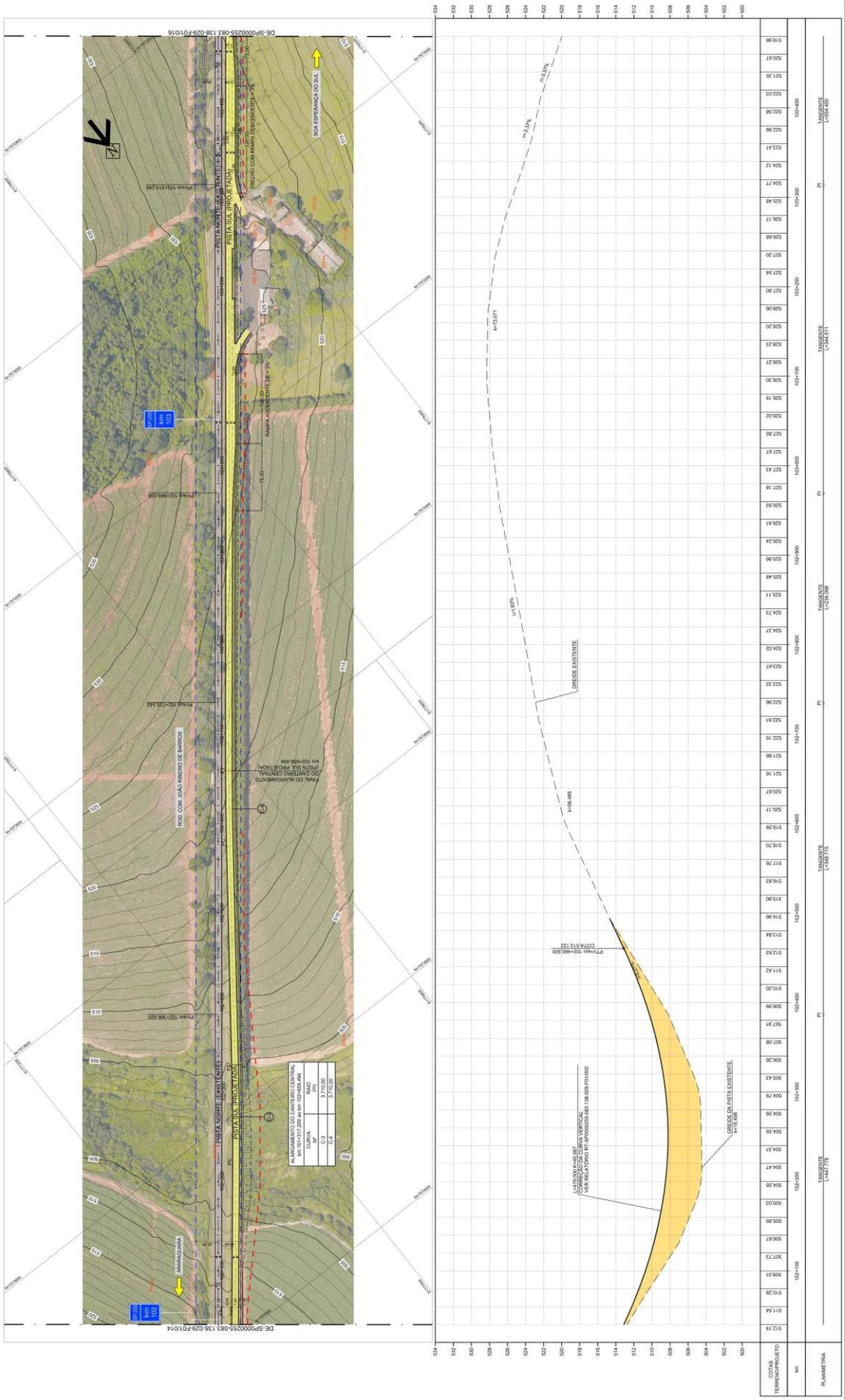
CLASS.	QUANT.	VALOR
C-1	4	2000,00
C-2	8	3000,00
C-3	8	3000,00
C-4	8	3000,00
C-5	5	2000,00





Curva	MC	RAIO	LM
C1		3750,00	3750,00
C2		3750,00	3750,00
C3		3000,00	3000,00
C4		2000,00	2000,00

Curva	MC	RAIO	LM
C-1		3750,00	3750,00
C-2		3000,00	3000,00

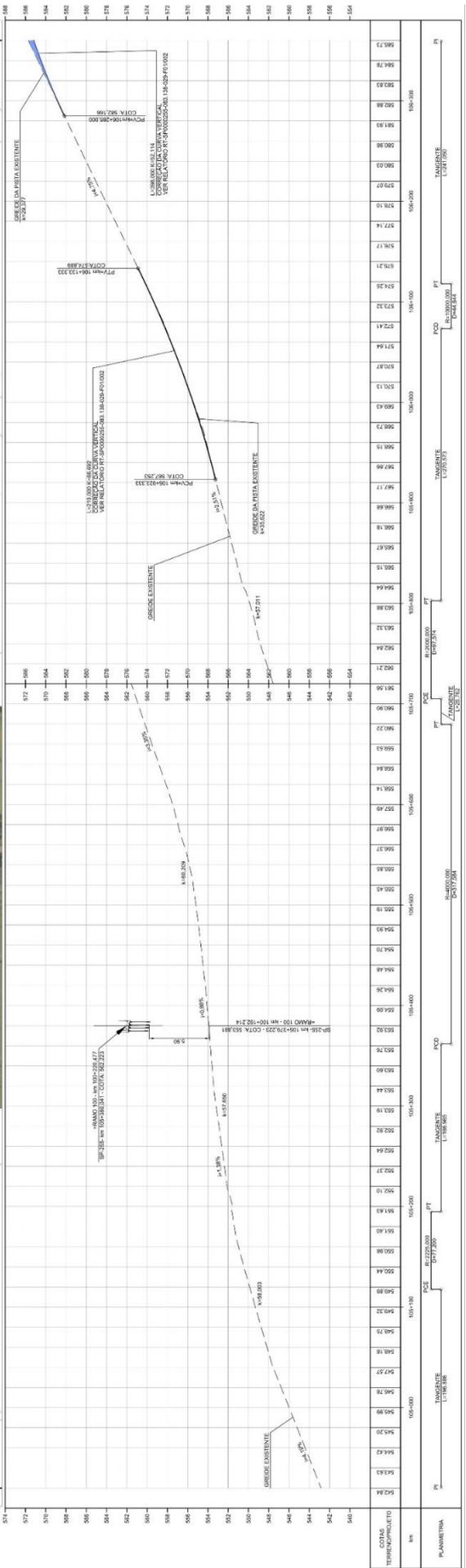
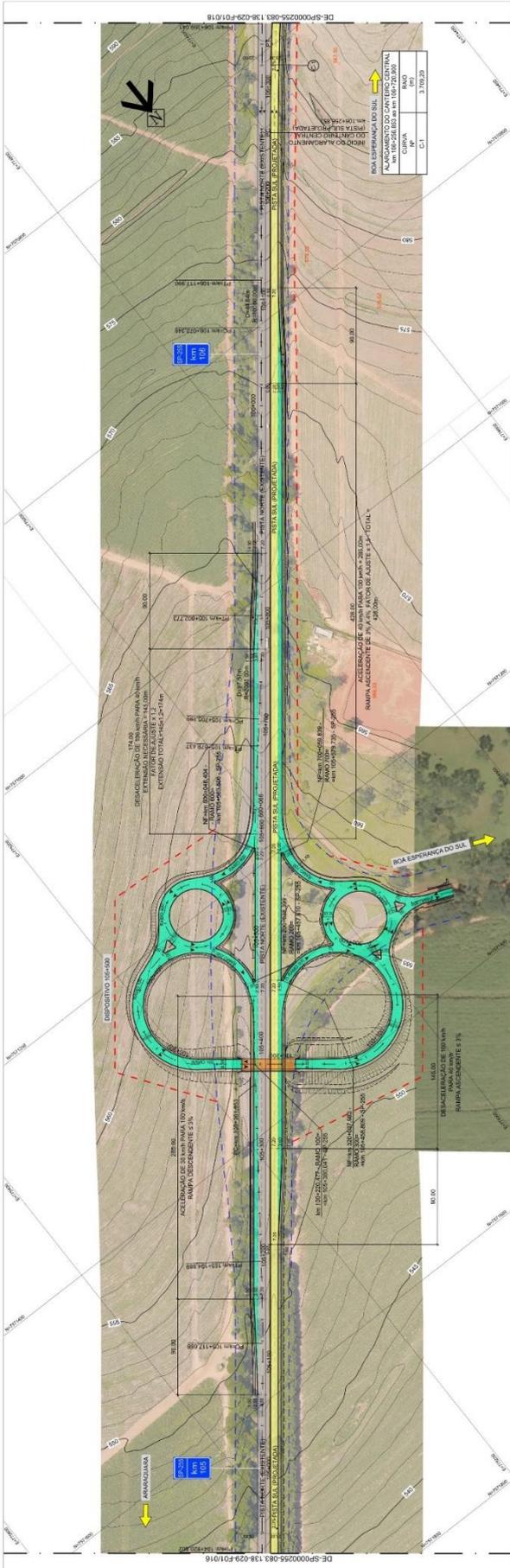


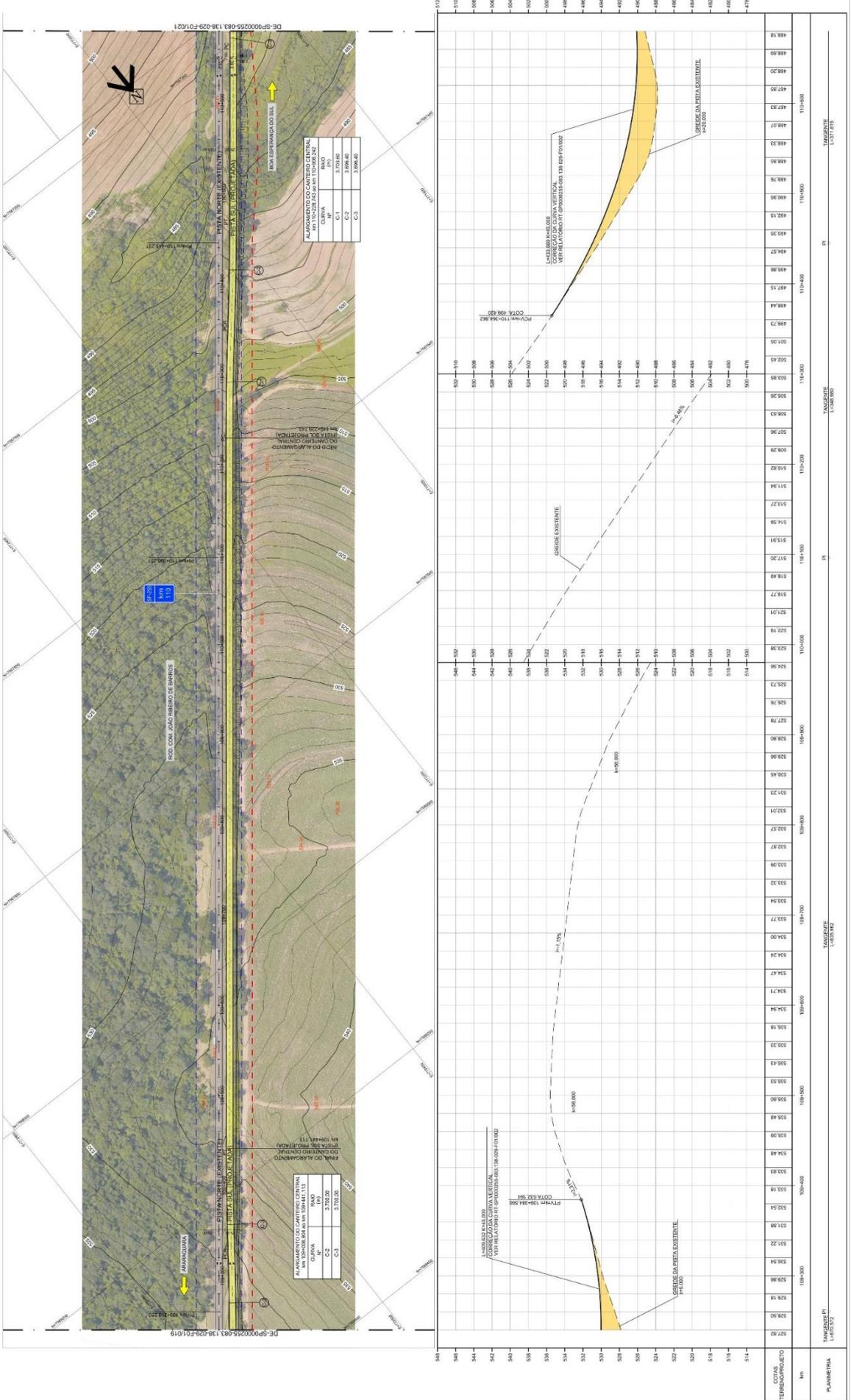
ALINHAMENTO DO CENTRO CENTRAL			
PC	100+000,00	PI	100+000,00
PT	100+000,00	PM	100+000,00
CV	3,00	CM	3,00
C1	3,75	C2	3,75

ALINHAMENTO DO CENTRO CENTRAL
VER RELATÓRIO DE SUPORTE Nº 138-029-F01/002

GRANDE EXISTENTE
PI=100+000

ELEV. TERRENO (M)	TANGENTE C=0,00%		TANGENTE C=0,00%		TANGENTE C=0,00%	
	PI	PM	PI	PM	PI	PM
912,74	100+100	100+200	100+100	100+200	100+100	100+200
911,54	100+200	100+300	100+200	100+300	100+200	100+300
910,29	100+300	100+400	100+300	100+400	100+300	100+400
909,01	100+400	100+500	100+400	100+500	100+400	100+500
907,73	100+500	100+600	100+500	100+600	100+500	100+600
906,47	100+600	100+700	100+600	100+700	100+600	100+700
905,21	100+700	100+800	100+700	100+800	100+700	100+800
903,95	100+800	100+900	100+800	100+900	100+800	100+900
902,69	100+900	101+000	100+900	101+000	100+900	101+000
901,43	101+000	101+100	101+000	101+100	101+000	101+100
900,17	101+100	101+200	101+100	101+200	101+100	101+200
898,91	101+200	101+300	101+200	101+300	101+200	101+300
897,65	101+300	101+400	101+300	101+400	101+300	101+400
896,39	101+400	101+500	101+400	101+500	101+400	101+500
895,13	101+500	101+600	101+500	101+600	101+500	101+600
893,87	101+600	101+700	101+600	101+700	101+600	101+700
892,61	101+700	101+800	101+700	101+800	101+700	101+800
891,35	101+800	101+900	101+800	101+900	101+800	101+900
890,09	101+900	102+000	101+900	102+000	101+900	102+000
888,83	102+000	102+100	102+000	102+100	102+000	102+100
887,57	102+100	102+200	102+100	102+200	102+100	102+200
886,31	102+200	102+300	102+200	102+300	102+200	102+300
885,05	102+300	102+400	102+300	102+400	102+300	102+400
883,79	102+400	102+500	102+400	102+500	102+400	102+500
882,53	102+500	102+600	102+500	102+600	102+500	102+600
881,27	102+600	102+700	102+600	102+700	102+600	102+700
880,01	102+700	102+800	102+700	102+800	102+700	102+800
878,75	102+800	102+900	102+800	102+900	102+800	102+900
877,49	102+900	103+000	102+900	103+000	102+900	103+000
876,23	103+000	103+100	103+000	103+100	103+000	103+100
874,97	103+100	103+200	103+100	103+200	103+100	103+200
873,71	103+200	103+300	103+200	103+300	103+200	103+300
872,45	103+300	103+400	103+300	103+400	103+300	103+400
871,19	103+400	103+500	103+400	103+500	103+400	103+500
870,00	103+500	103+600	103+500	103+600	103+500	103+600
868,74	103+600	103+700	103+600	103+700	103+600	103+700
867,48	103+700	103+800	103+700	103+800	103+700	103+800
866,22	103+800	103+900	103+800	103+900	103+800	103+900
864,96	103+900	104+000	103+900	104+000	103+900	104+000
863,70	104+000	104+100	104+000	104+100	104+000	104+100
862,44	104+100	104+200	104+100	104+200	104+100	104+200
861,18	104+200	104+300	104+200	104+300	104+200	104+300
860,00	104+300	104+400	104+300	104+400	104+300	104+400
858,74	104+400	104+500	104+400	104+500	104+400	104+500
857,48	104+500	104+600	104+500	104+600	104+500	104+600
856,22	104+600	104+700	104+600	104+700	104+600	104+700
854,96	104+700	104+800	104+700	104+800	104+700	104+800
853,70	104+800	104+900	104+800	104+900	104+800	104+900
852,44	104+900	105+000	104+900	105+000	104+900	105+000
851,18	105+000	105+100	105+000	105+100	105+000	105+100
850,00	105+100	105+200	105+000	105+200	105+000	105+200
848,74	105+200	105+300	105+200	105+300	105+200	105+300
847,48	105+300	105+400	105+300	105+400	105+300	105+400
846,22	105+400	105+500	105+400	105+500	105+400	105+500
844,96	105+500	105+600	105+500	105+600	105+500	105+600
843,70	105+600	105+700	105+600	105+700	105+600	105+700
842,44	105+700	105+800	105+700	105+800	105+700	105+800
841,18	105+800	105+900	105+800	105+900	105+800	105+900
840,00	105+900	106+000	105+900	106+000	105+900	106+000
838,74	106+000	106+100	106+000	106+100	106+000	106+100
837,48	106+100	106+200	106+100	106+200	106+100	106+200
836,22	106+200	106+300	106+200	106+300	106+200	106+300
834,96	106+300	106+400	106+300	106+400	106+300	106+400
833,70	106+400	106+500	106+400	106+500	106+400	106+500
832,44	106+500	106+600	106+500	106+600	106+500	106+600
831,18	106+600	106+700	106+600	106+700	106+600	106+700
830,00	106+700	106+800	106+700	106+800	106+700	106+800
828,74	106+800	106+900	106+800	106+900	106+800	106+900
827,48	106+900	107+000	106+900	107+000	106+900	107+000
826,22	107+000	107+100	107+000	107+100	107+000	107+100
824,96	107+100	107+200	107+100	107+200	107+100	107+200
823,70	107+200	107+300	107+200	107+300	107+200	107+300
822,44	107+300	107+400	107+300	107+400	107+300	107+400
821,18	107+400	107+500	107+400	107+500	107+400	107+500
820,00	107+500	107+600	107+500	107+600	107+500	107+600
818,74	107+600	107+700	107+600	107+700	107+600	107+700
817,48	107+700	107+800	107+700	107+800	107+700	107+800
816,22	107+800	107+900	107+800	107+900	107+800	107+900
814,96	107+900	108+000	107+900	108+000	107+900	108+000
813,70	108+000	108+100	108+000	108+100	108+000	108+100
812,44	108+100	108+200	108+100	108+200	108+100	108+200
811,18	108+200	108+300	108+200	108+300	108+200	108+300
810,00	108+300	108+400	108+300	108+400	108+300	108+400
808,74	108+400	108+500	108+400	108+500	108+400	108+500
807,48	108+500	108+600	108+500	108+600	108+500	108+600
806,22	108+600	108+700	108+600	108+700	108+600	108+700
804,96	108+700	108+800	108+700	108+800	108+700	108+800
803,70	108+800	108+900	108+800	108+900	108+800	108+900
802,44	108+900	109+000	108+900	109+000	108+900	109+000
801,18	109+000	109+100	109+000	109+100	109+000	109+100
800,00	109+100	109+200	109+000	109+200	109+000	109+200
798,74	109+200	109+300	109+200	109+300	109+200	109+300
797,48	109+300	109+400	109+300	109+400	109+300	109+400
796,22	109+400	109+500	109+400	109+500	109+400	109+500
794,96	109+500	109+600	109+500	109+600	109+500	109+600
793,70	109+600	109+700	109+600	109+700	109+600	109+700
792,44	109+700	109+800	109+700	109+800	109+700	109+800
791,18	109+800	109+900	109+800	109+900	109+800	109+900
790,00	109+900	110+000	109+900	110+000	109+900	110+000
788,74	110+000	110+100	110+000	110+100	110+000	110+100
787,48	110+100	110+200	110+100	110+200	110+100	110+200
786,22	110+200	110+300	110+200	110+300	110+200	110+300
784,96	110+300	110+400	110+300	110+400	110+300	110+400
783,70	110+400	110+500	110+400	110+500	110+400	110+500
782,44	110+500	110+600	110+500	110+600	110+500	110+600
781,18	110+600	110+700	110+600	110+700	110+600	110+700
780,00	110+700	110+800	110+700	110+800	110+700	110+800
778,74	110+800	110+900	110+800	110+900	110+800	110+900
777,48	110+900	111+000	110+900	111+000	110+900	111+000
776,22	111+000	111+100	111+000	111+100	111+000	111+100
774,96	111+100	111+200	111+100	111+200	111+100	111+200
773,70	111+200	111+300	111+200	111+300	111+200	111+300
772,44	111+300	111+400	111+300	111+400	111+300	111+400
771,18	111+400	111+500	111+400	111+500	111+400	111+500
770,00	111+500	111+600	111+500	111+600	111+500	111+600
768,74	111+600	111+700	111+600	111+700	111+600	111+700
767,48	111+700	111+800	111+700	111+800	111+700	111+800
766,22	111+800	111+900	111+800	111+900	111+800	111+900
764,96	111+900	112+000	111+900	112+000	111+900	112+000
763,70	112+000	112+100	112+000	112+100	112+000	112+100
762,44	112+100	112+200	112+100	112+200	112+100	112+200
761,18	112+200	112+300	112+200	112+300	112+200	112+300
760,00	112+300	112+400	112+300	112+400	112+300	112+400
758,74	112+400	112+500	112+400	112+500	112+400	112+500
757,48	112+500	112+600	112+500	112+600	112+500	112+600
756,22	112+600	112+700	112+600	112+700	112+600	112+700
754,96	112+700	112+800	112+700	112+800	112+700	112+800
753,70	112+800	112+900	112+800	112+900	112+800	112+900
752,44	112+900	113+000	112+900	113+000	112+900	113+000
751,18	113+000	113+100	113+000	113+100	113+000	113+100
750,00	113+100	113+200	113+000	113+200	113+000	113+200
748,74	113+200	113+300	113+200	113+300	113+200	113+300
747,48	113+300	113+400	113+300	113+400	11	





ALBERGUE DA PISTA OESTE
 km 110+000.000 até km 110+000.000

DATA	10/01/13
PROJ	100
C-1	3,700,00
C-2	3,800,00

ALBERGUE DA PISTA LESTE
 km 109+000.000 até km 109+000.000

DATA	10/01/13
PROJ	100
C-1	3,700,00
C-2	3,800,00

km 110+000 TANGENTE LESTE (1:37,815)

km 109+000 TANGENTE LESTE (1:38,862)

km 108+000 TANGENTE OESTE (1:37,815)

km 107+000 TANGENTE OESTE (1:38,862)

