

Redes Veiculares

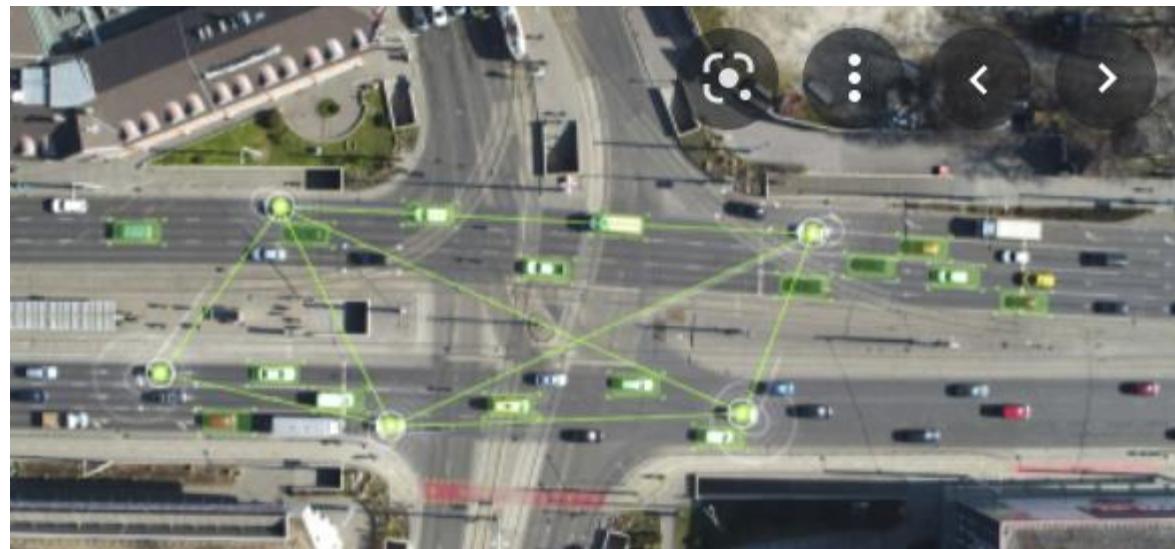
**Mestrado em Engenharia de
Computadores e Telemática**

2023/2024

Redes Veiculares

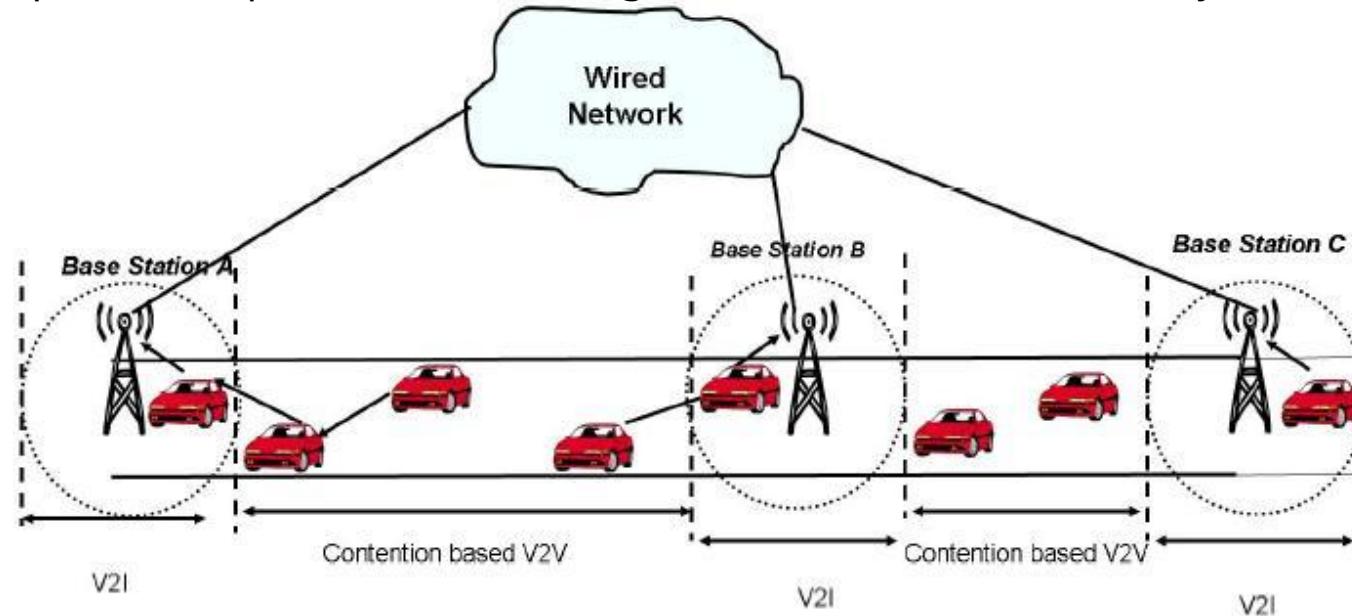
As redes veiculares podem fornecer

- Segurança
- Eficiência
- Condições de trânsito e estradas
- Alarme de sinalização rodoviária
- Informações locais



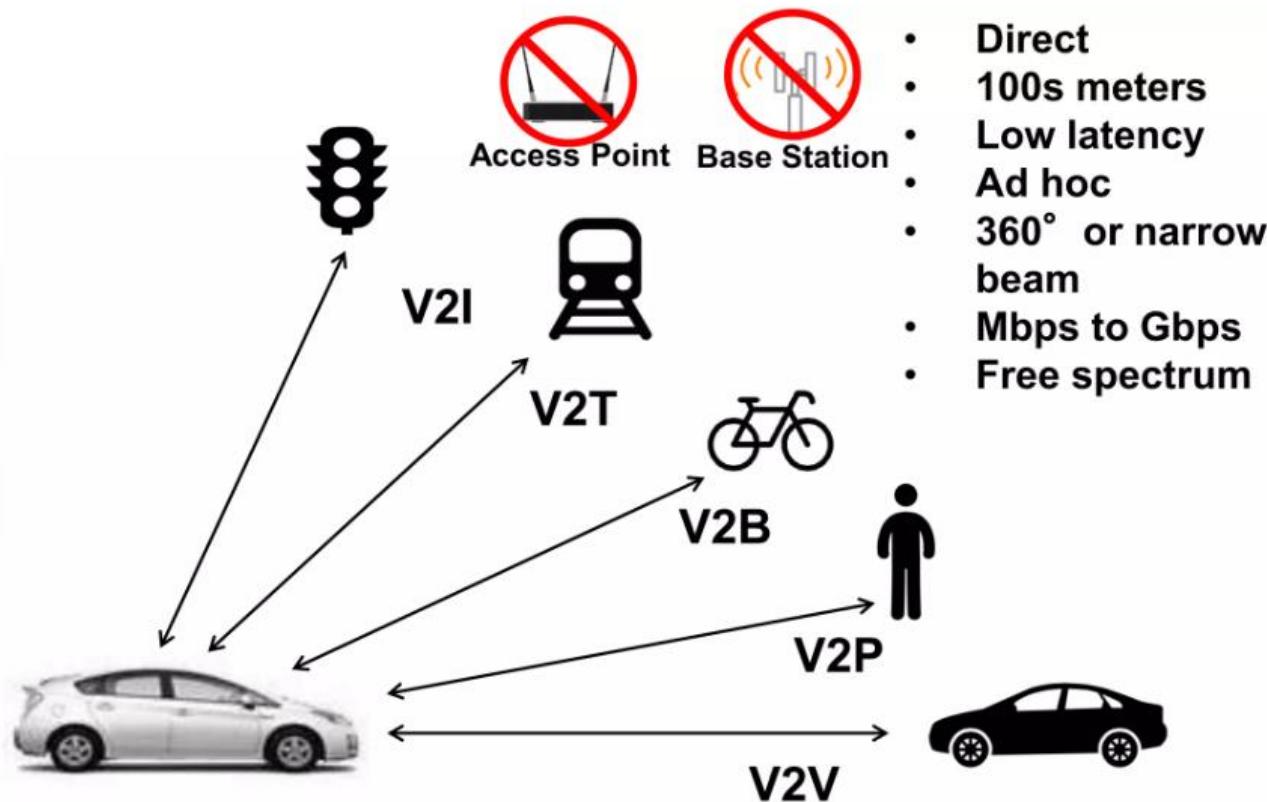
Redes veiculares

- Veículo para veículo (*V2V*) e veículo-infraestrutura (*V2I*) a comunicação será possível
- Unidades de bordo em veículos para realizar comunicação, roteamento e aplicação
- Unidades de infraestrutura rodoviária (RSUs), denominadas nós de rede, são equipadas com processamento integrado e módulos de comunicação sem fio

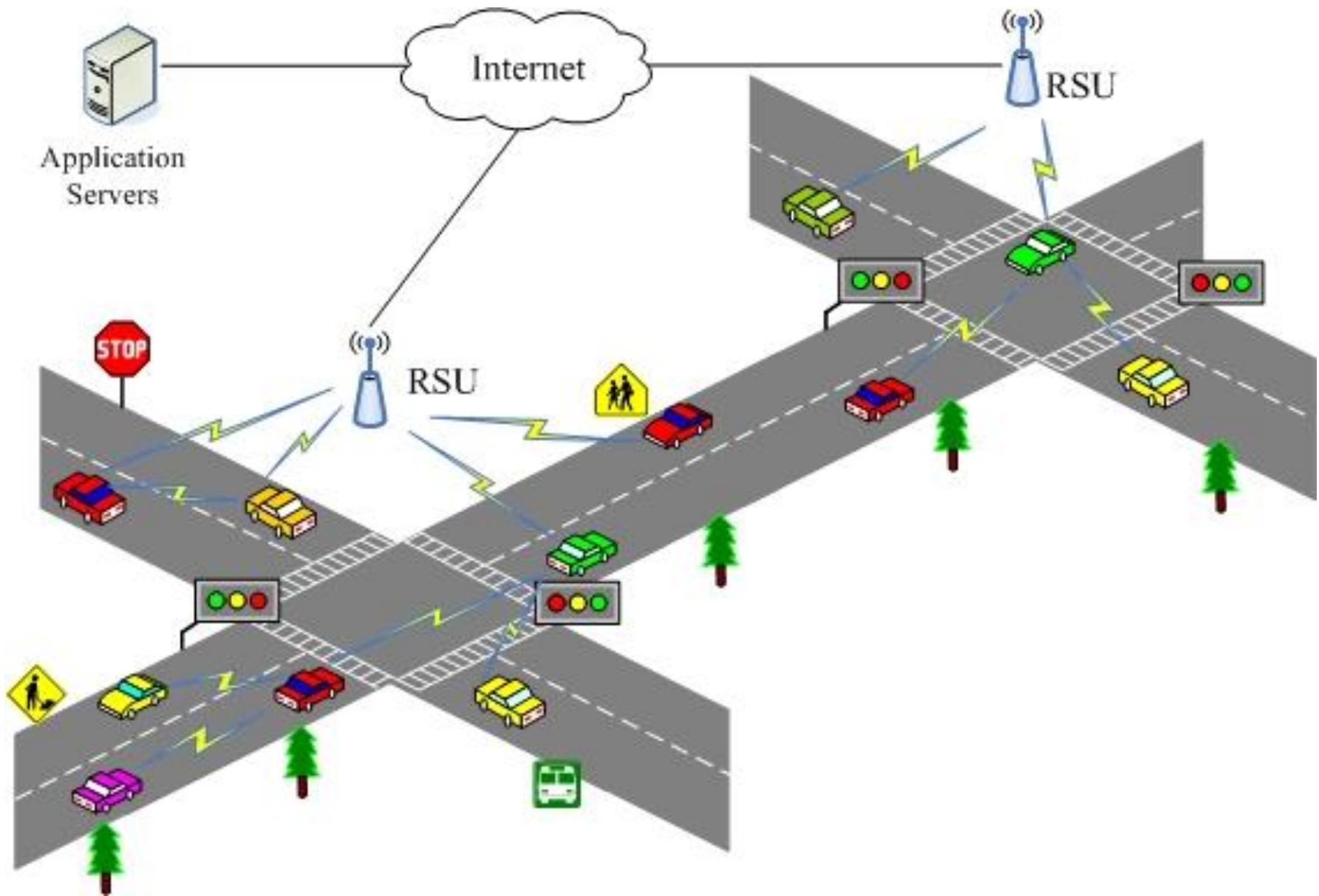


Veículo para tudo Comunicação

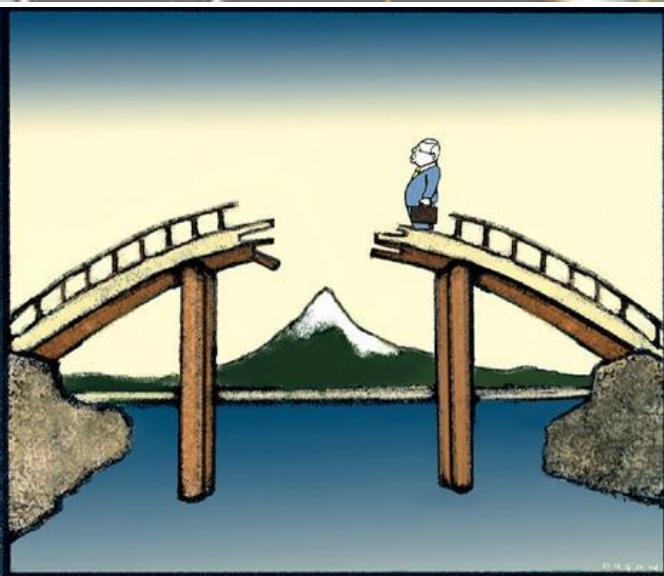
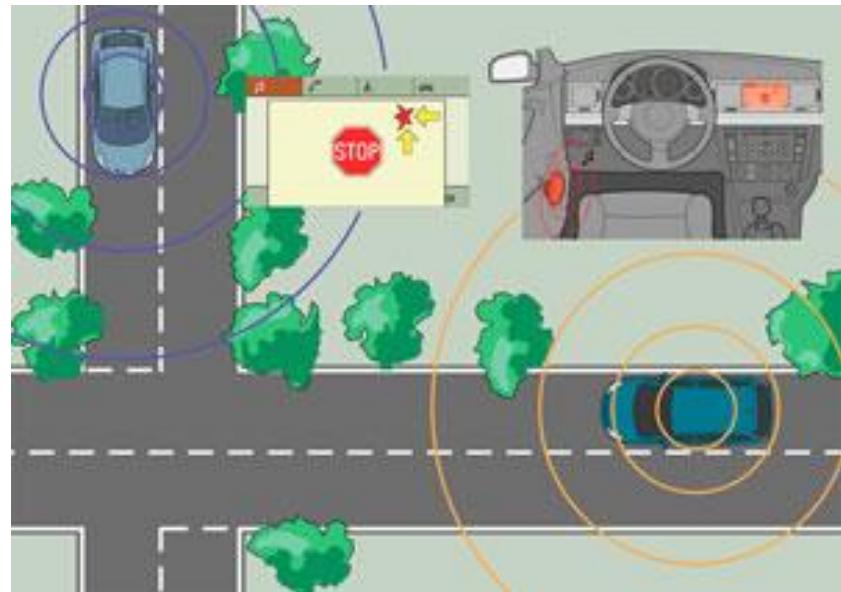
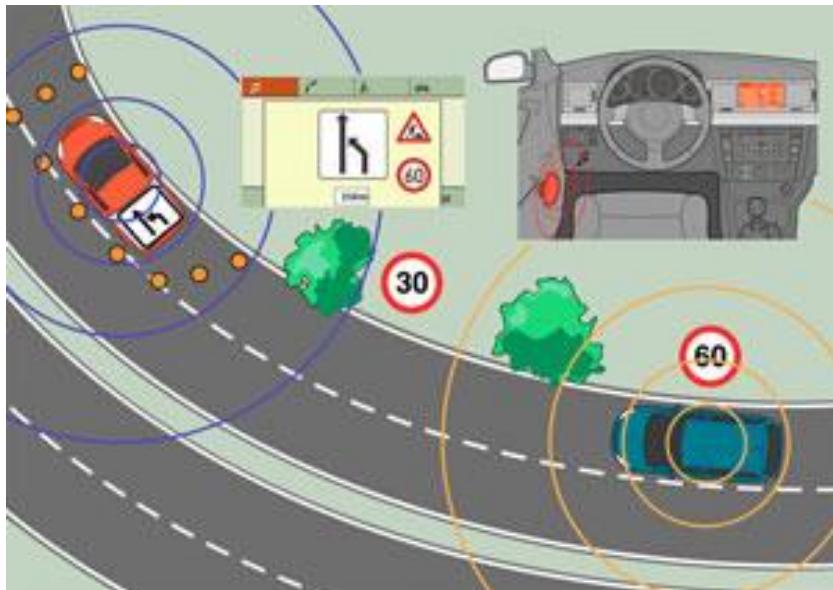
- Inicialmente, antes do 5G



Redes veiculares



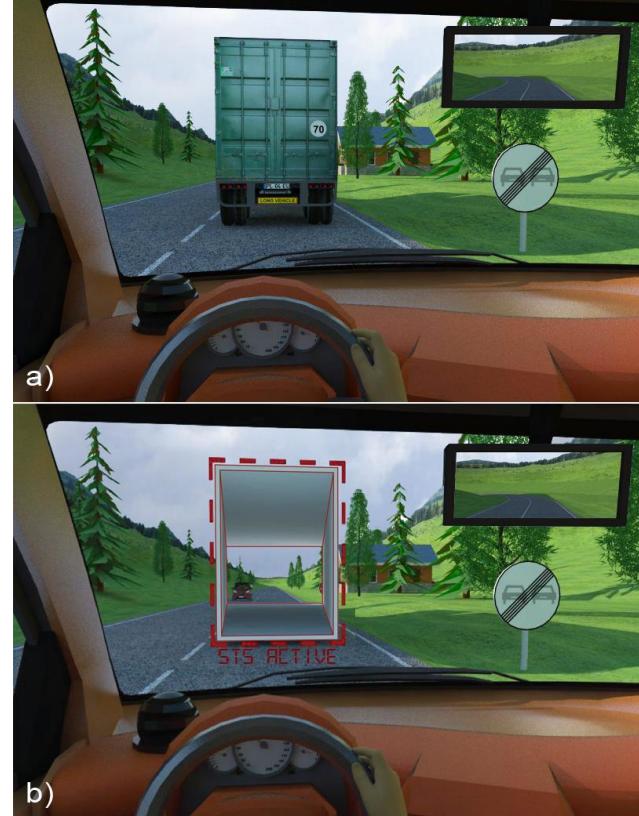
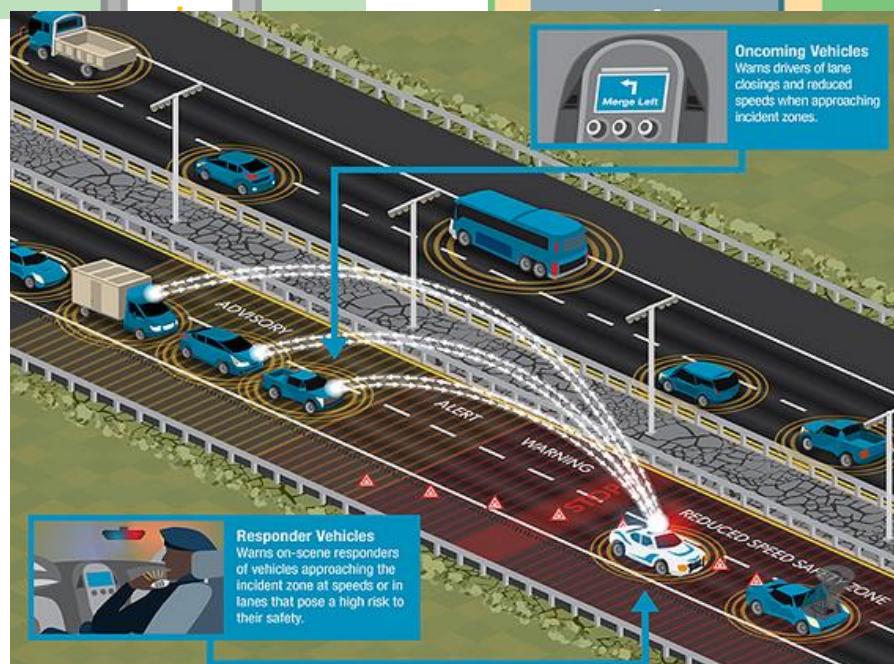
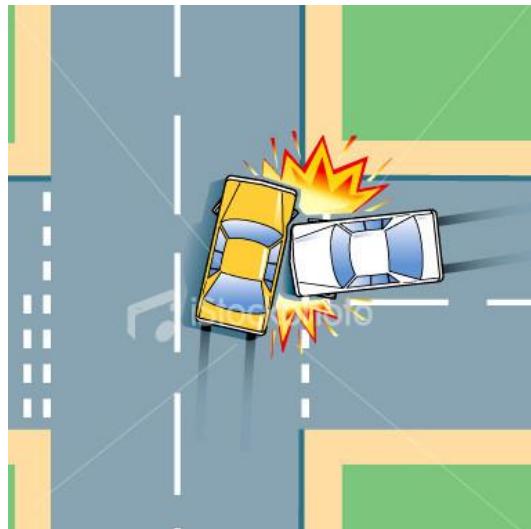
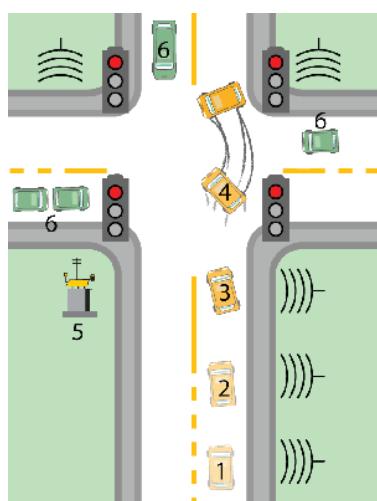
Avisos



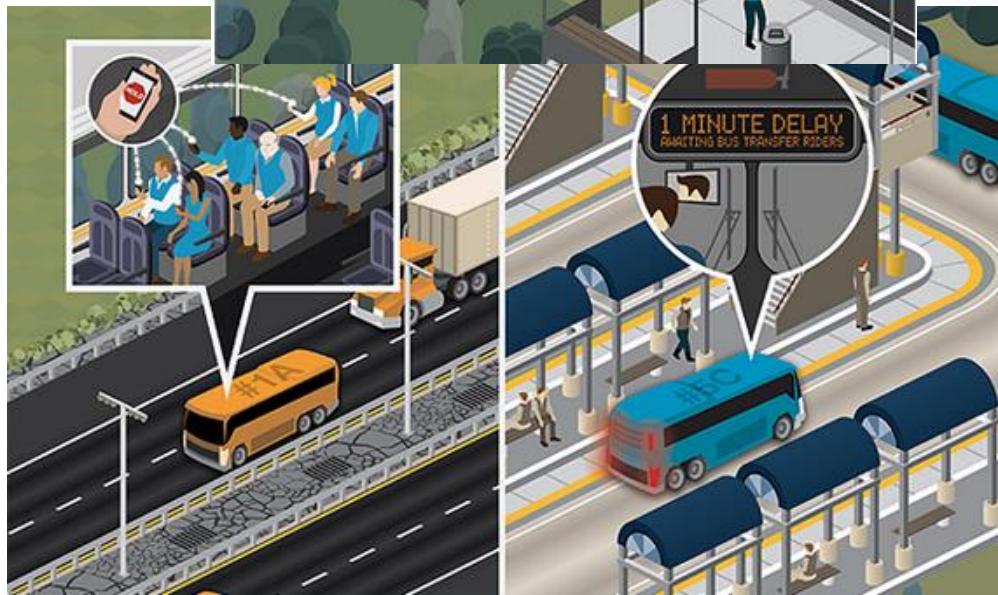
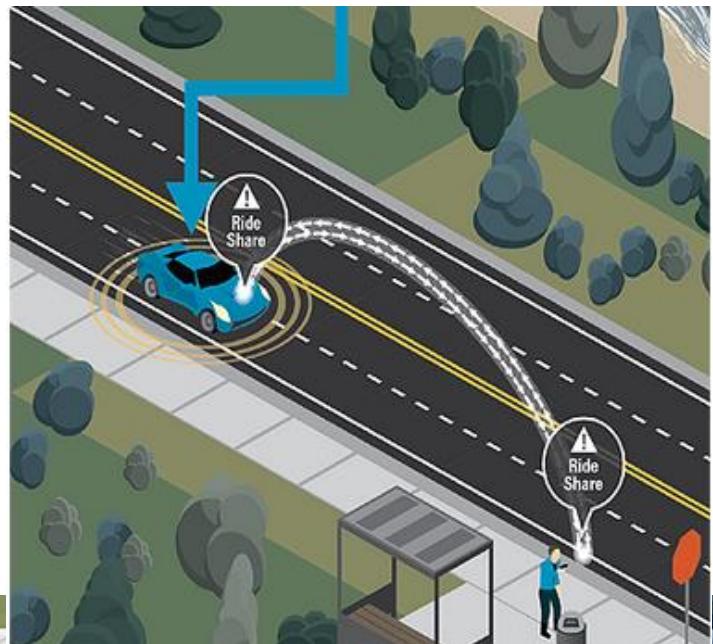
Condições de trânsito e estradas



Segurança



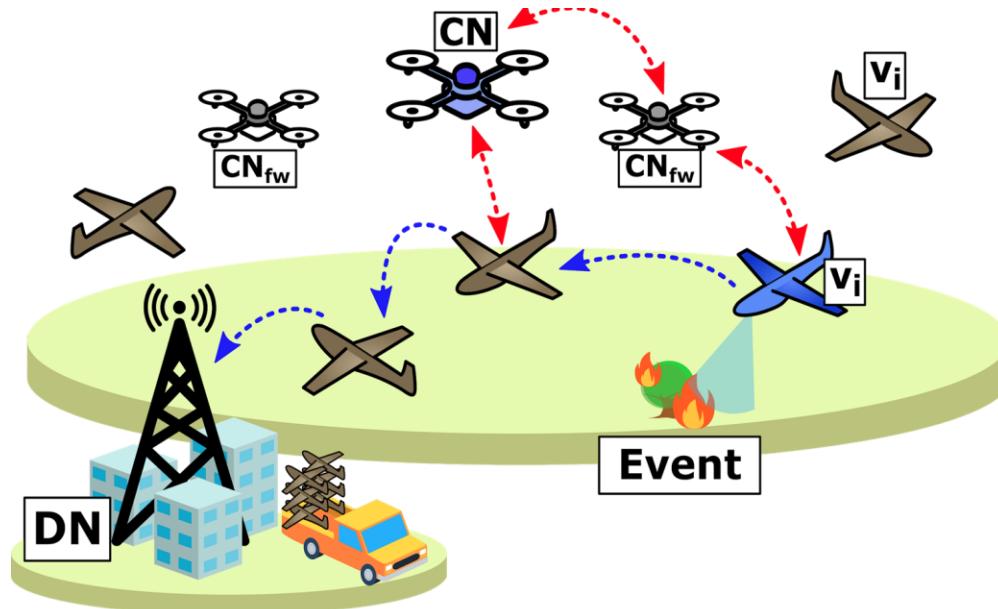
Eficiência



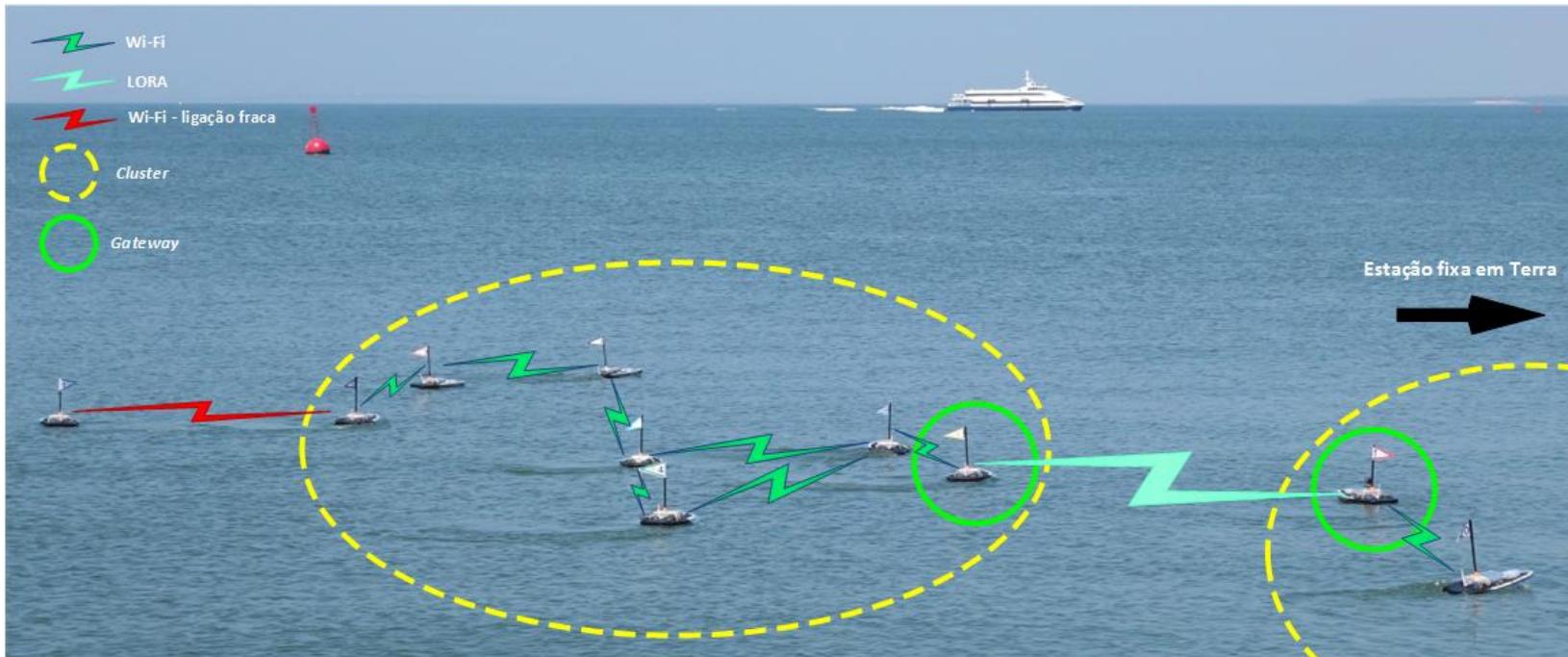
Autocondução

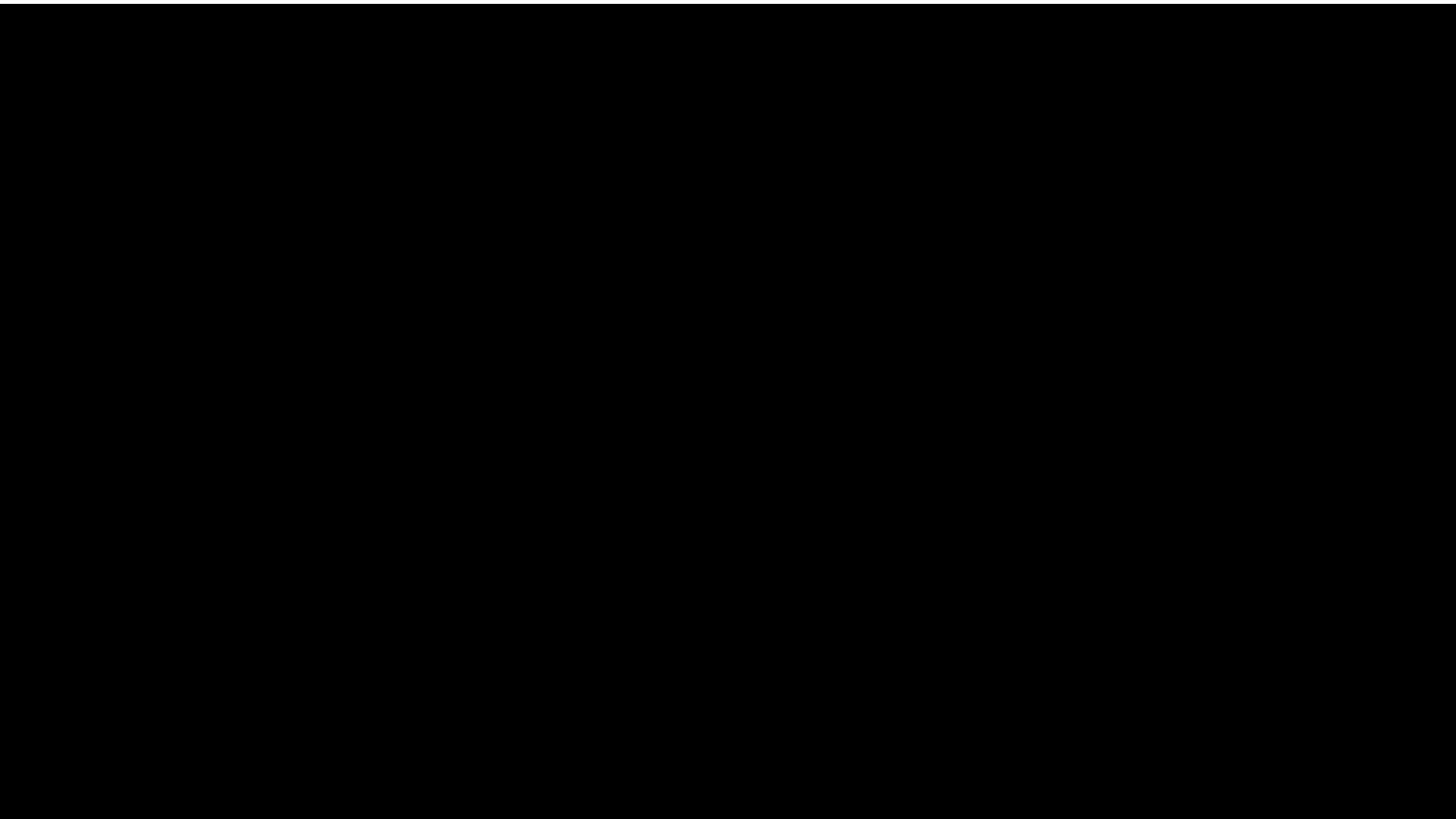


Outros tipos de veículos redes



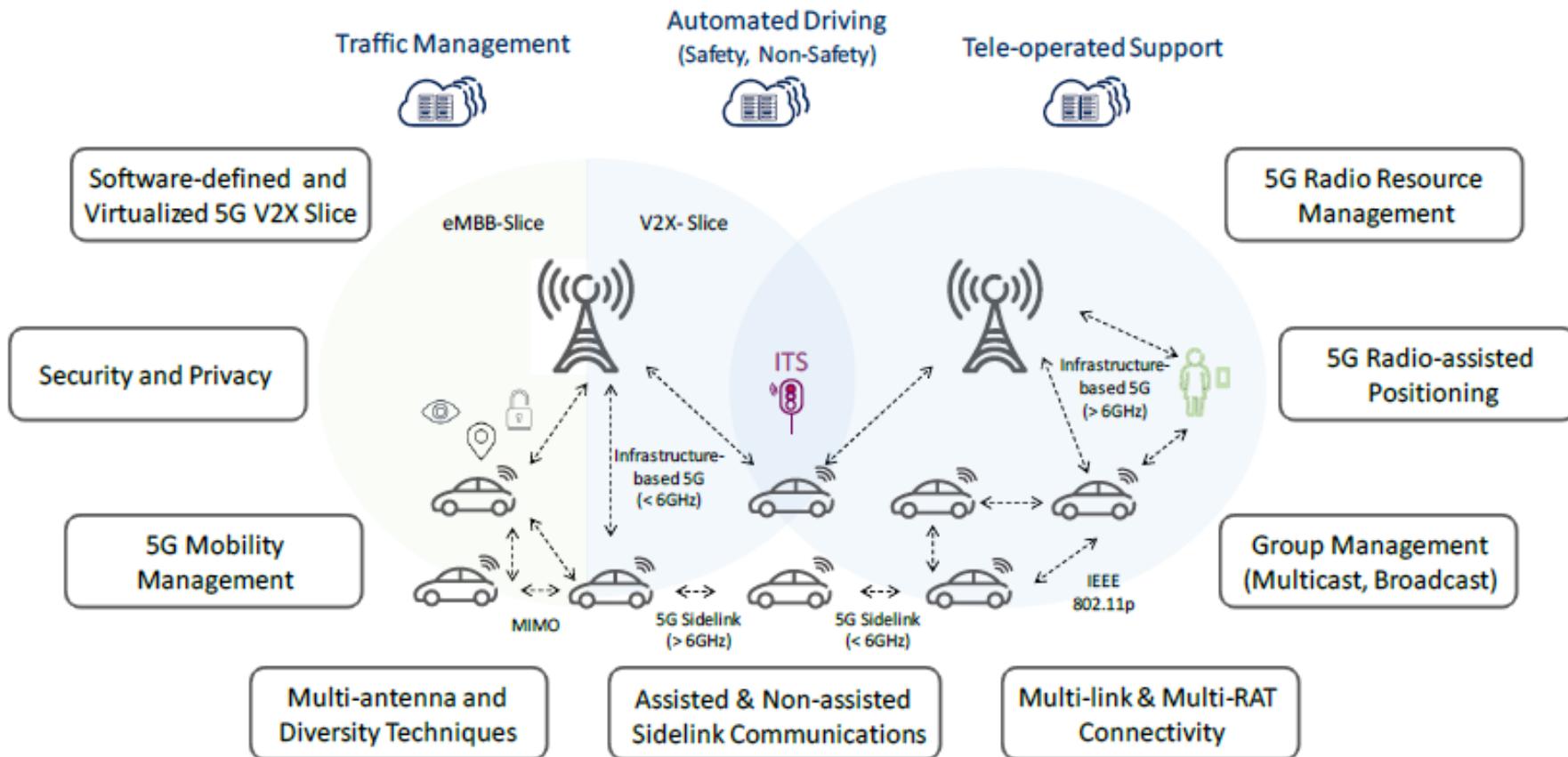
Outros tipos de veículos redes





Como eles funcionam?

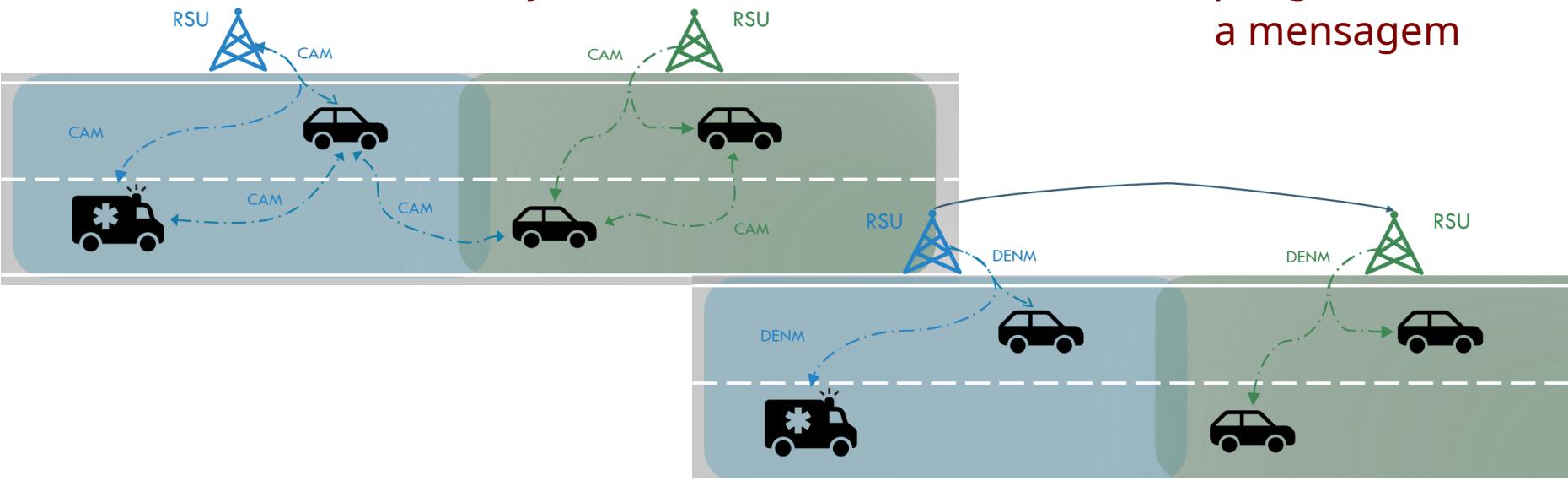
Sistemas de Transporte Inteligentes



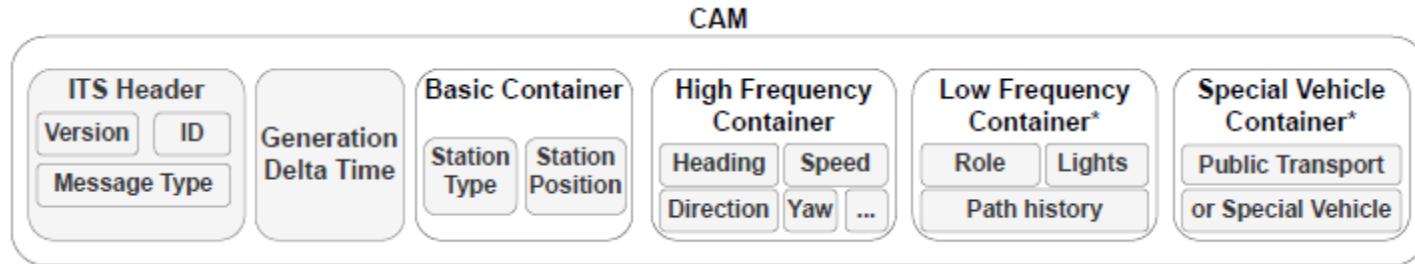
Conscientização e alerta

Informação

- Mensagens de Conscientização Cooperativa (CAM)
 - Periódico
 - Contém informações sobre a estação, como posição e velocidade
- Mensagens Descentralizadas de Notificação Ambiental (DENM)
 - Assíncrono
 - Conter informações sobre o evento e a emissora que gerou a mensagem



Mensagens de conscientização cooperativa



- Criar e manter a consciência dos veículos que utilizam a rede rodoviária ou RSUs.
- O conteúdo varia dependendo do tipo de ITS-S:
 - Veículos: tempo, posição, estado de movimento, sistemas ativados (*por exemplo*, controle de cruzeiro, pedais e outros), e as informações de atributos incluem dados sobre as dimensões, tipo de veículo e função no tráfego rodoviário;
 - RSUs: tipo e localização da estação.
- Contêiner HF (alta frequência) com dados do veículo que mudam rapidamente (como localização, rumo ou velocidade)
- Contêiner LF (Low-Frequency) com dados estáticos ou de mudança lenta (como o status das luzes externas ou dos pedais).

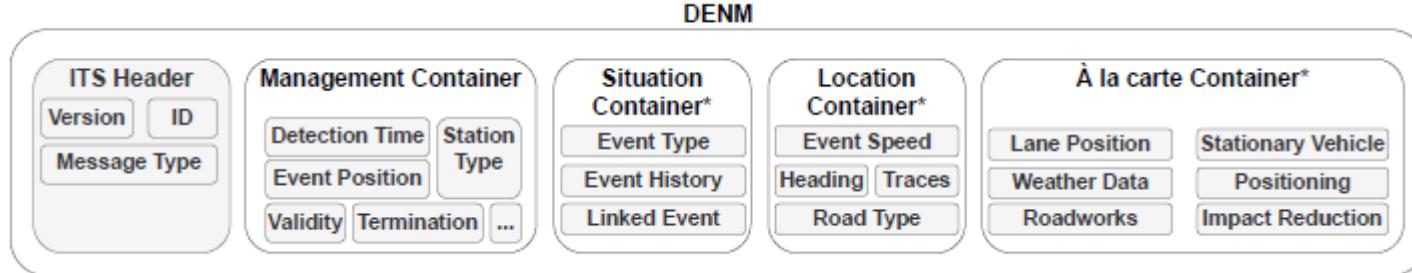
Mensagens de conscientização cooperativa

- CAMs possuem requisitos de geração, com frequência de geração entre 1 Hz e 10 Hz.
 - O contêiner HF deve estar presente em todas as mensagens CAM, enquanto o contêiner de baixa frequência pode ser atualizado na frequência máxima de 5 Hz.
 - O processo de geração deve ser eficaz, pois a diferença entre o tempo de geração do CAM e o momento em que o CAM é entregue à camada de transporte da rede deve ser inferior a 50 ms.

CAM Information	Basis Container	ITS-Station Type
		Last Geographic Position
	High Frequency Container	Speed
		Driving Direction
		Longitudinal Acceleration
		Curvature
		Vehicle Length
		Vehicle Width
		Steering Angle
		Lane Number
	Low Frequency Container	...
		Vehicle Role
		Lights
	Special Container	Trajectory
		Emergency
		Police
		Fire Service
		Road Works
		Dangerous Goods
		Safety Car
	...	

Ambiental descentralizado

mensagens de notificação



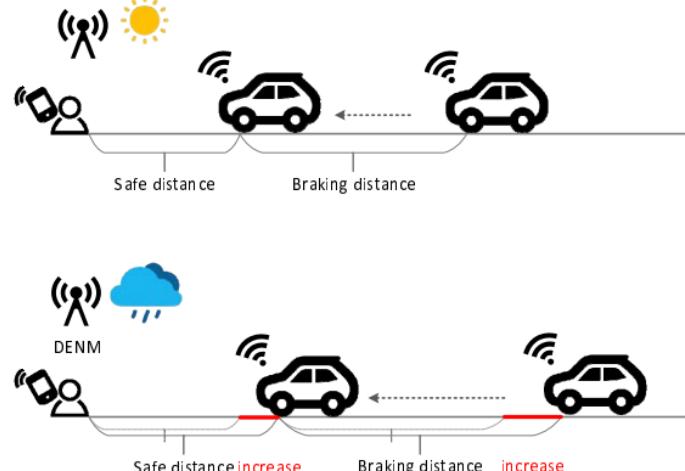
- Mensagens assíncronas para criar e manter a conscientização sobre um evento rodoviário -*por exemplo* perigo na estrada ou condição anormal de tráfego - como tipo, posição, validade, carimbo de data e hora e histórico do evento.
- Embora o conteúdo varie dependendo do tipo de evento, espera-se que pelo menos o tempo de detecção, a posição do evento, o tipo de estação relacionada e um conjunto de códigos de causa que identifiquem o tipo de evento estejam presentes.
- Contêineres para determinados tipos de eventos - como Obras Rodoviárias
- Contêineres de Veículos Estacionários.

Ambiental descentralizado

mensagens de notificação

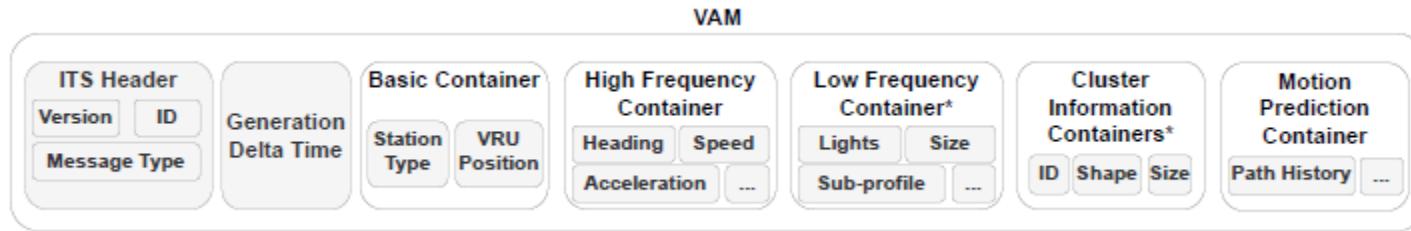
- Ao contrário dos CAMs, os DENMs são gerados à medida que os eventos ocorrem e, portanto, não são gerados periodicamente.
- Possuem prazo de validade que, após expirar, faz com que a DENM não possa mais ser considerada atualizada.
- Quando um evento não está mais ocorrendo, um tipo específico de DENM, um DENM de terminação, pode ser usado para sinalizar o fim do evento -*por exemplo* fim do perigo da estrada ou de condições climáticas adversas.

DENM Information	Management Container	Last Vehicle Position (GPS)
		Event Identifier
		Time of Detection
		Time of Message Transmission
		Event Position (GPS)
		Validity Period
		Station Type (Motor Cycle, Vehicle, Truck)
		Message Update / Removal
		Relevant Local Message Area (geographic)
		Traffic Direction (forward, backwards, both)
		Transmission Interval
	
	Situation Container	Information Quality (low -high, tbd)
		Event Type (Number)
		Linked Events
		Event Route (geographical)
	Location Container	Event Path
		Event Speed
		Event Direction
		Road Type
	A la carte Container	Road Works (Speed Limit, Lane Blockage....)
	

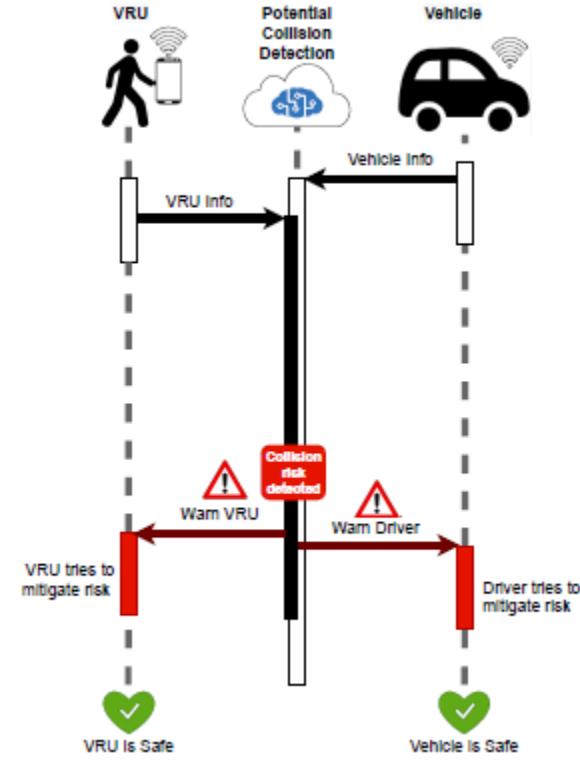


Usuário Vulnerável da Estrada

Mensagem de Conscientização



- Mensagens periódicas trocadas na rede ITS entre estações para criar e manter a conscientização sobre VRUs e apoiar a avaliação de risco
- Status básico: tempo, posição, velocidade, rumo, taxa de guinada e aceleração, orientação, posição da pista, dimensões e tipo de VRU.
- Vantagens de uma mensagem padrão VAM sobre o uso de um CAM
 - flexibilidade em termos de especificação completa do tipo e da situação do VRU, o que não é possível sem alterar a norma CAM (contrariando assim o propósito de utilizar uma norma).



Usuário Vulnerável da Estrada

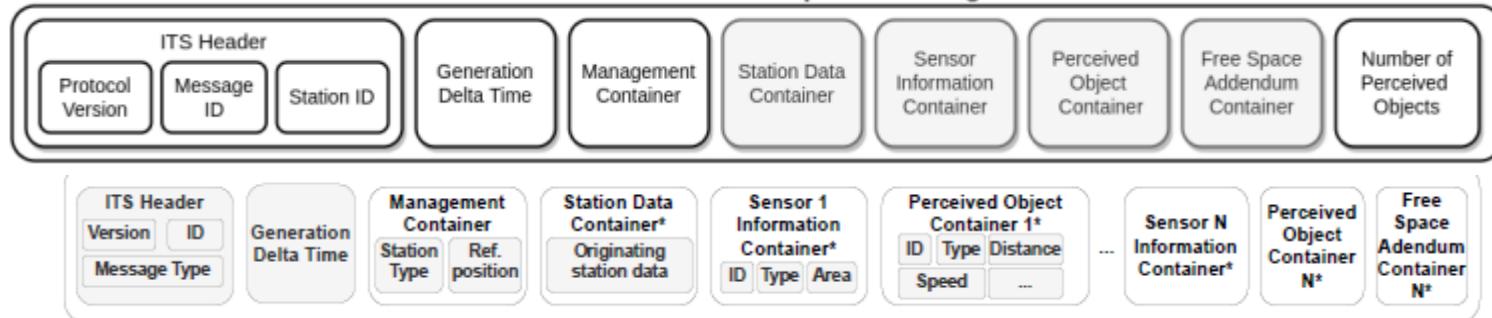
Mensagem de Conscientização

- Os VAMs podem distinguir entre vários tipos de VRU - pedestres, ciclistas, motociclistas, animais
- Dentro de cada categoria, eles podem distinguir vários papéis possíveis (*por exemplo* para um ciclista VRU, entre ciclista, cadeirante, cavaleiro, patinador, e-scooter e outros).
- Esta distinção é crucial: vários VRUs diferentes – por exemplo, um pedestre criança ou um pedestre deficiente – têm dinâmicas diferentes de um pedestre típico. Essas informações podem ser utilizadas, por exemplo, pelos serviços de segurança para ajustar um algoritmo de previsão de acidentes.

Percepção Cooperativa

Mensagem

Collective Perception Message

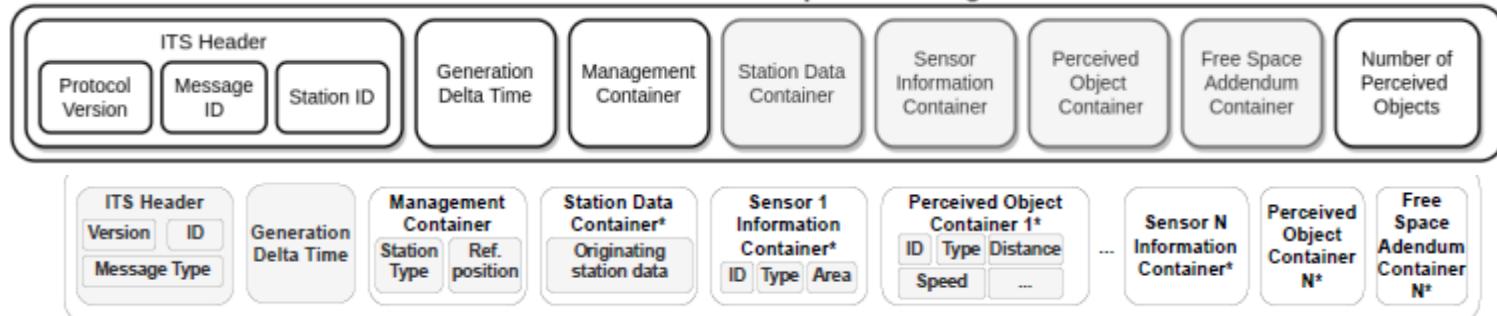


- Mensagens periódicas entre estações para transmitir informações sobre o ambiente atual percebido por 1 ou mais sensores.
- Os sensores de um veículo, de um VRU e de uma infra-estrutura podem utilizar CPMs para trocar as informações obtidas do seu entorno, melhorando a consciência da situação.
- Recipiente de informações do sensor: tipo de sensor -*por exemplo*Radar, Lidar, câmeras de vídeo ou algoritmos de fusão e a área que o sensor cobre.
- Container de Objeto Percebido: objeto percebido pelo sensor, a classificação, a confiança da classificação e diversos dados sobre sua dinâmica, como distância, velocidade, aceleração e ângulo.

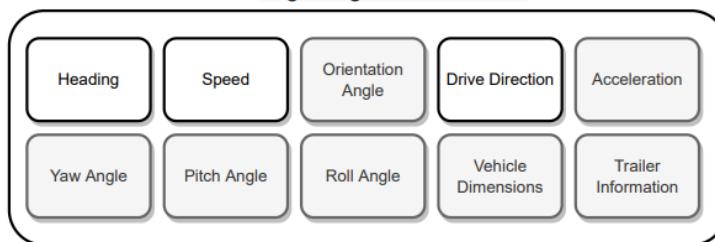
Percepção Cooperativa

Mensagem

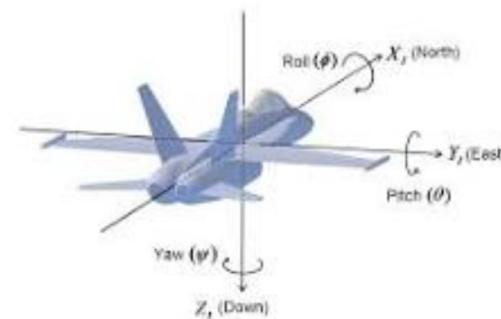
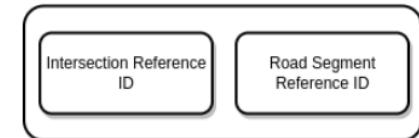
Collective Perception Message



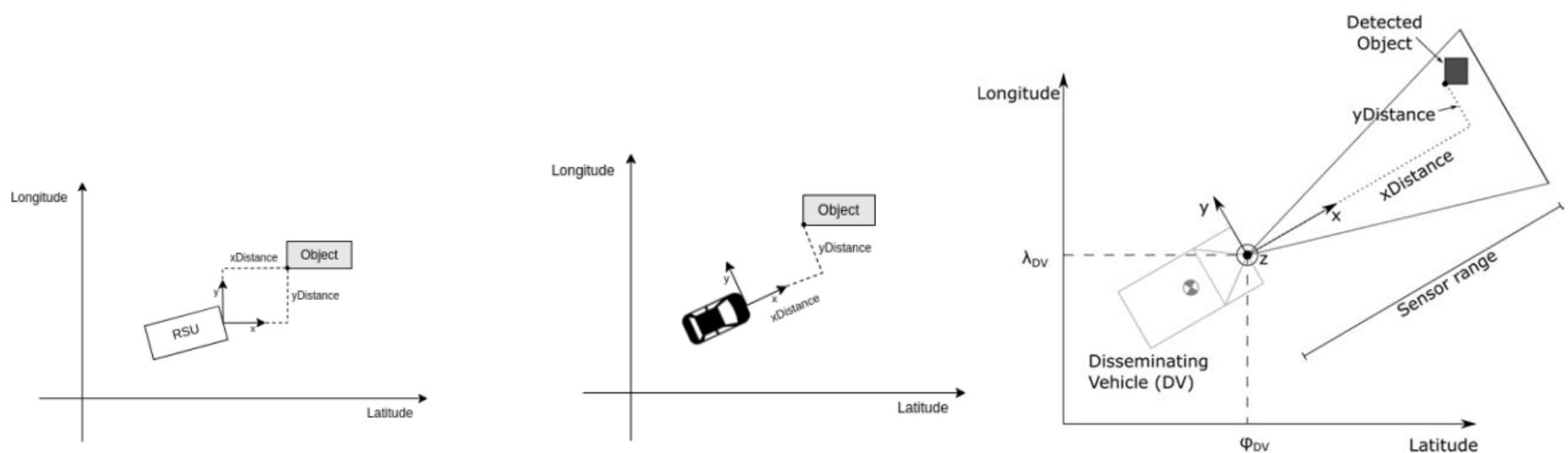
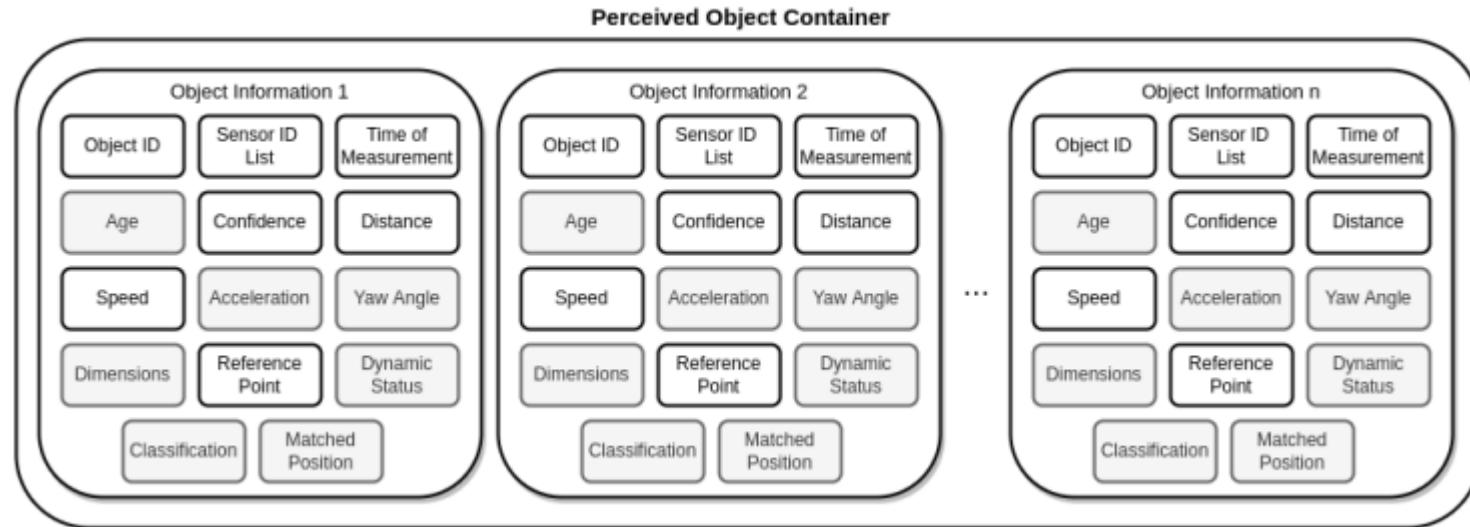
Originating Vehicle Container



Originating RSU Container



Informações de objetos em CPMs



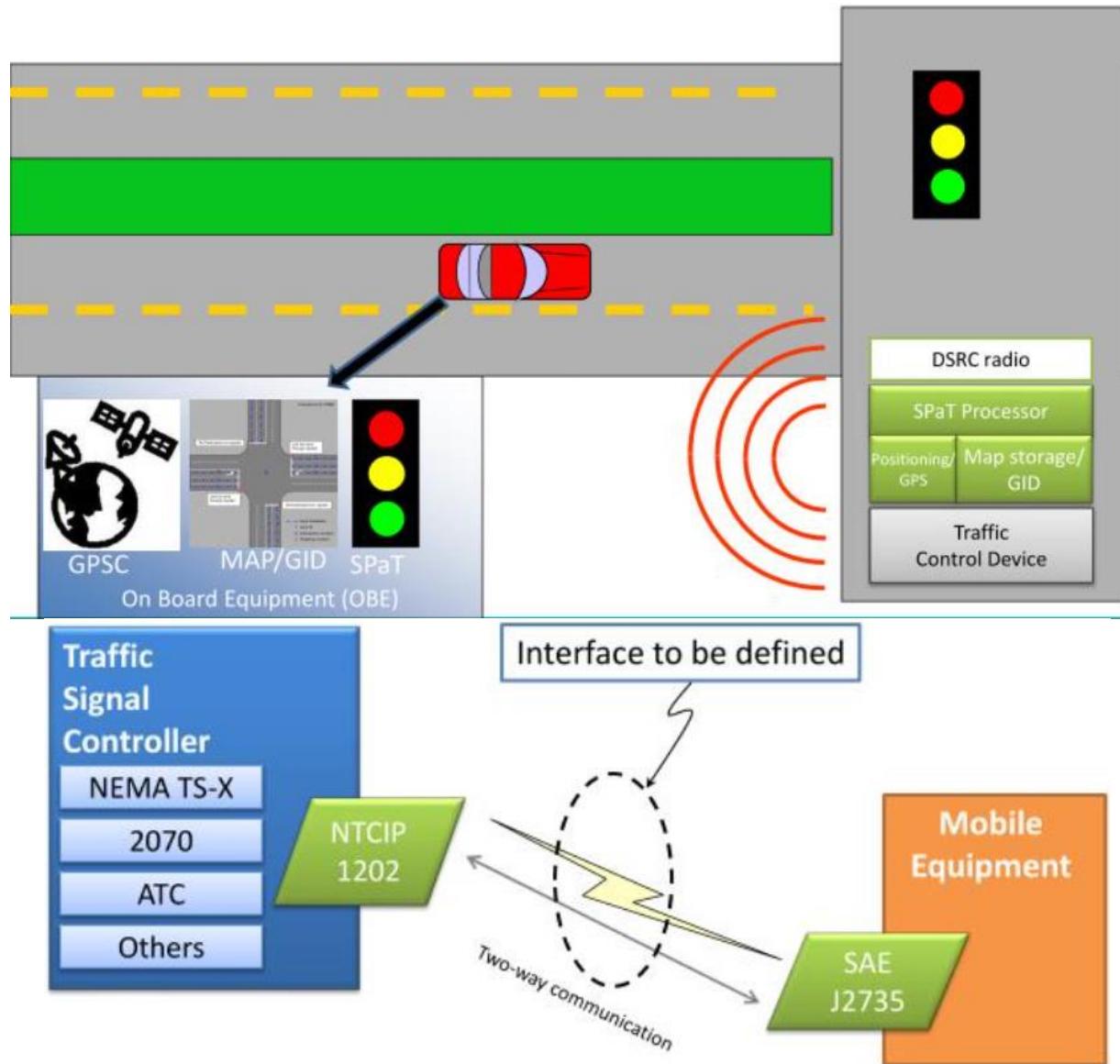
Coordinate System for detected object for vehicle

SPAT: fase e tempo do sinal

- Define uma interface aberta para comunicação bidirecional entre o controlador de semáforos e dispositivos móveis
- Estado de movimento atual de cada fase ativa
 - Aplicações de segurança, como avisos e alertas para evitar colisões, violações do sinal vermelho
 - Aplicações de mobilidade para permitir uma gestão de tráfego dinâmica e eficiente
 - Aplicações ambientais que permitem poupança no consumo de combustível e redução nas emissões de CO₂
- O estado atual de todas as faixas no cruzamento é fornecido, bem como qualquer preempção ou prioridade ativa

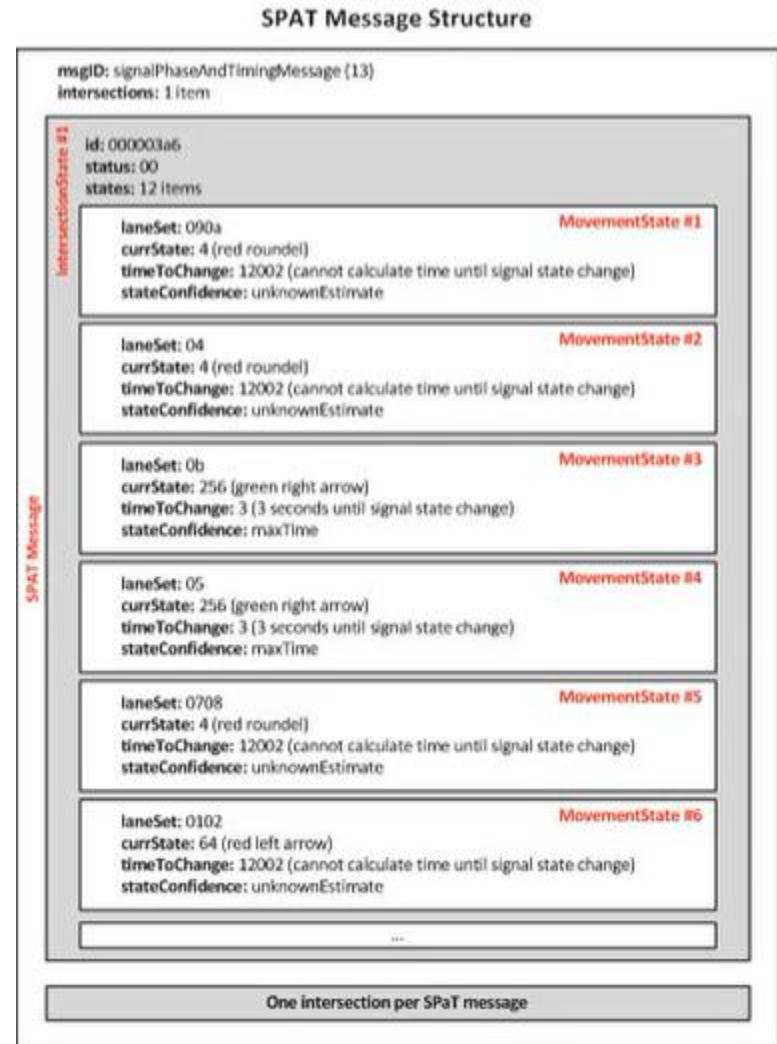


SPAT: fase e tempo do sinal

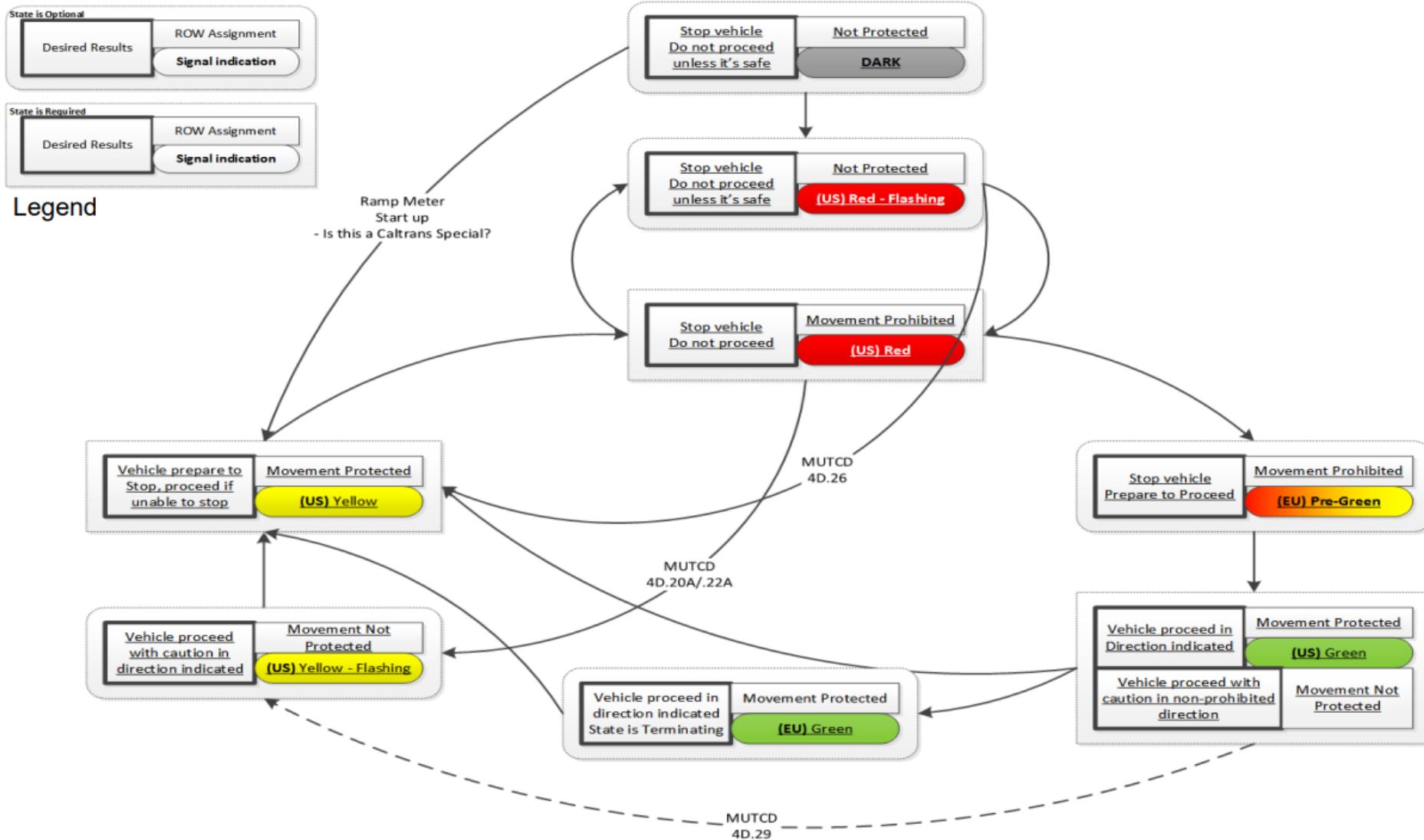


SPAT: fase e tempo do sinal

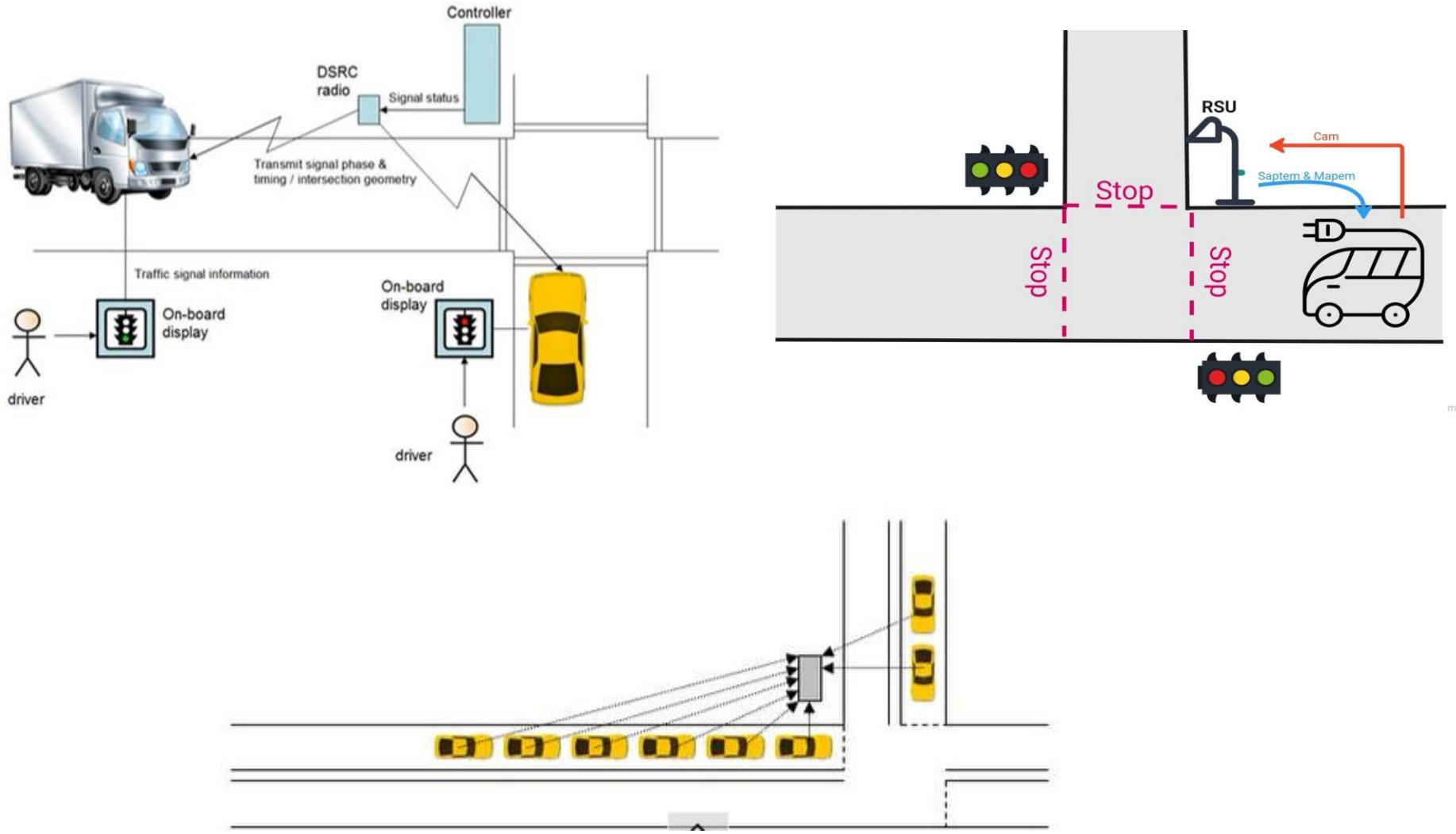
- Estado de interseção
- Estado de movimento
 - Conjunto de pistas (as pistas 9-10 são para o estado de movimento 1)
 - Estado atual (verde, amarelo, vermelho)
 - Tempo até que o estado atual do sinal mude
- Usado em cooperação com um mapa



SPAT: diagrama de estado

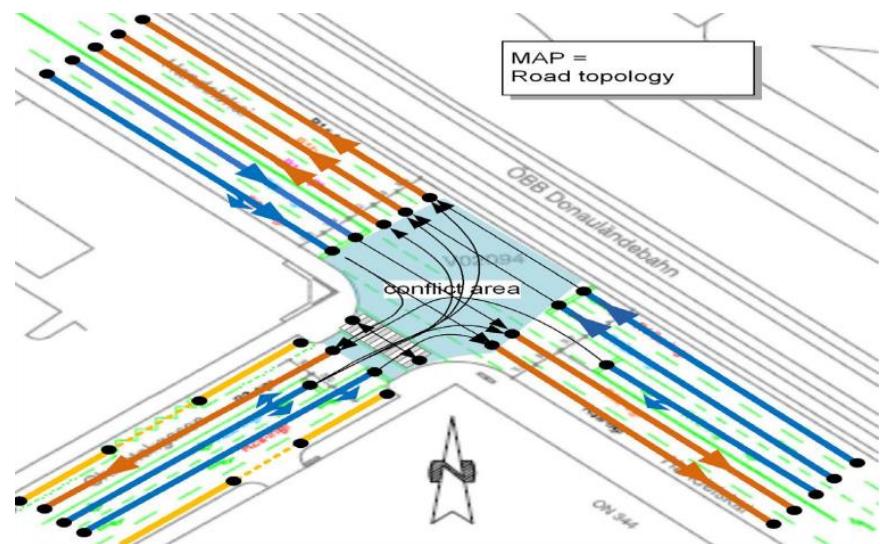


Eles podem ser usados virtualmente



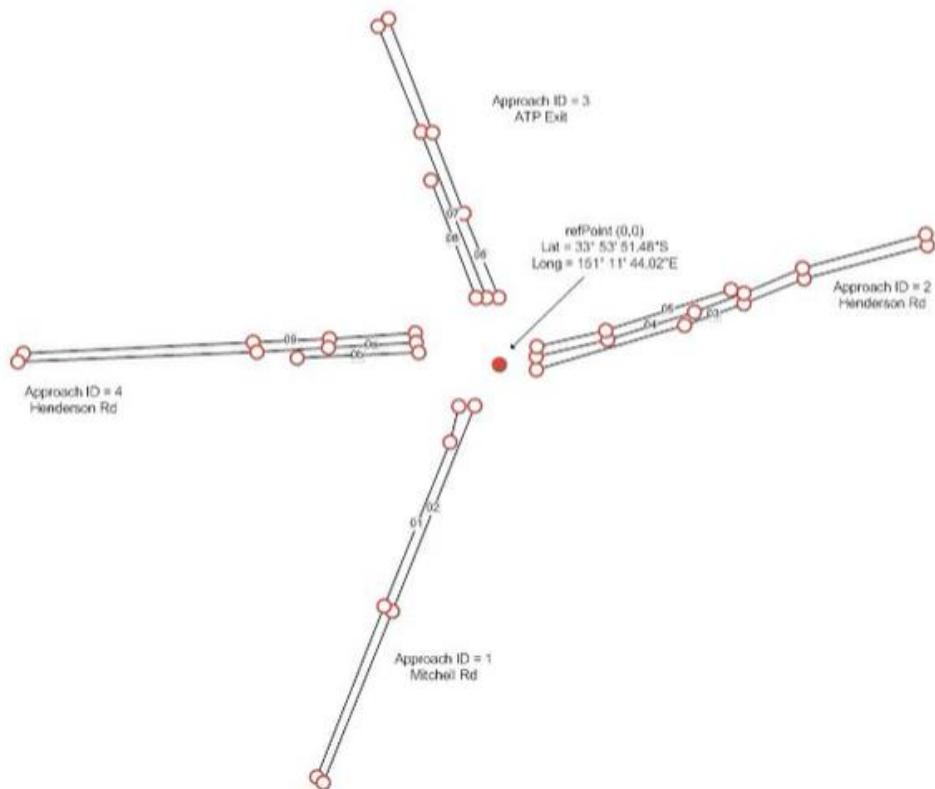
MAPA: MAPA

- Layout geométrico da interseção
- Dados de mensagens
 - Ponto de referência (centro de interseção)
 - Número de abordagens
 - Número da pista
 - Largura da pista
 - Atributos da pista
 - Reta, esquerda, direita, sinal vermelho, limite de velocidade, ônibus, etc...
 - Compensações
 - Pontos ao longo de cada faixa – usados para detectar a posição do veículo



Exemplo de informação de MAP

refPoint [Position3D]	The Position3D data frame provides a precise location in the WGS-84 coordinate system, from which short offsets may be used to create additional data using a flat earth projection centred on this location.	
laneWidth [LaneWidth]	The LaneWidth data element conveys the width of a lane in units of 1 cm.	
speedLimits [SpeedLimitList] (1..9)	The SpeedLimitList data frame consists of a list of SpeedLimit entries.	RegulatorySpeedLimit The RegulatorySpeedLimit data frame is used to convey a regulatory speed about a lane, lanes, or roadway segment.
[LaneSet] LaneList (1..255)	The LaneList data frame consists of a list of GenericLane entries. The GenericLane data frame is used for all types of lanes, e.g. motorized vehicle lanes, crosswalks, medians. The GenericLane describes the basic attribute information of the lane.	
preemptPriorityData [PreemptPriorityList] (1..32)	The PreemptPriorityList data frame consists of a list of RegionalSignalControl-Zone entries.	

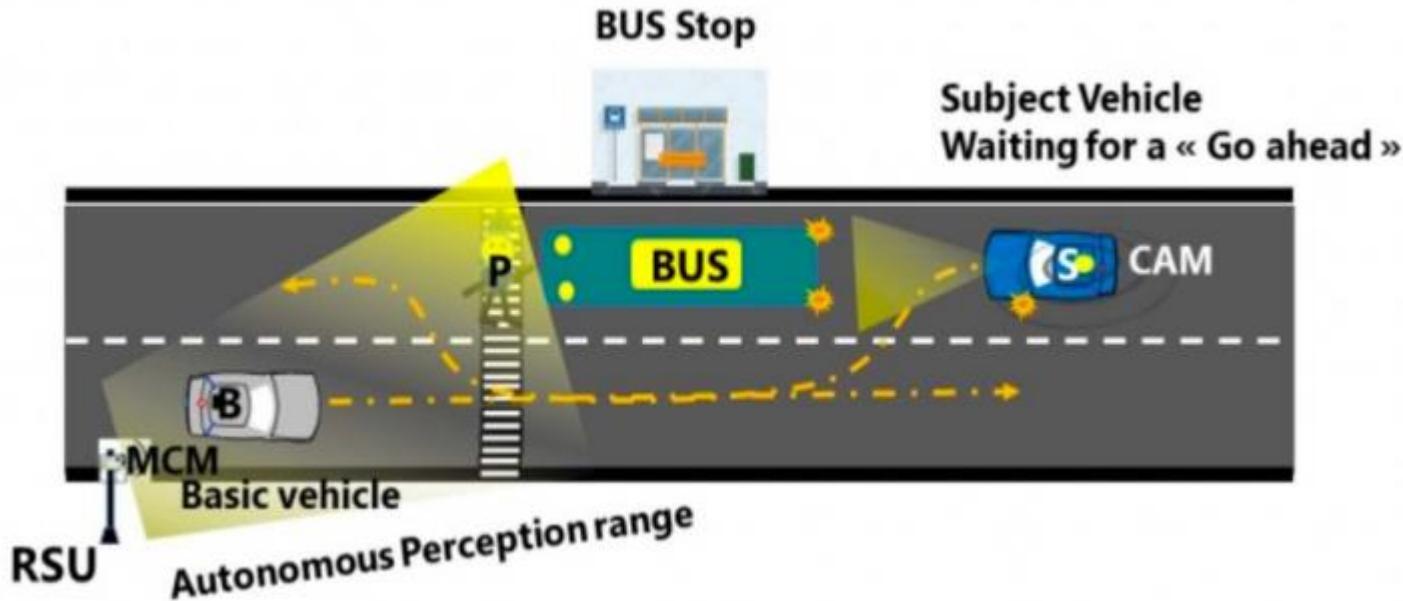


³² Coordenação de Manobra Mensagem (MCM)

- Inclui as manobras pretendidas (ou planejadas) e uma ou mais trajetórias desejadas (ou alternativas)
 - Cada trajetória é uma descrição espaço-temporal da trajetória do veículo nos próximos 5 a 10 segundos.
 - Trajetórias planejadas são usadas por aplicativos para melhorar a previsão de localizações futuras de veículos próximos e para detectar conflitos
 - As trajetórias desejadas são utilizadas para solicitar uma coordenação entre veículos.
- Espera-se que os MCMs sejam gerados continuamente a uma taxa entre 1 Hz e 10 Hz, dependendo do contexto
 - Detecção precoce da necessidade de coordenação da Manobra.
 - O serviço MC pode incluir condições de acionamento e ao mesmo tempo ter a possibilidade de ser acionado por uma aplicação.
- Para aplicações na estrada, espera-se que os MCMs incluam conselhos específicos para veículos específicos, por exemplo, sugerindo uma determinada velocidade ou uma mudança de faixa
- Espera-se que os MCM transmitidos por unidades rodoviárias sejam menores em tamanho (embora possam incluir avisos para vários veículos) e transmitidos com menos frequência do que aqueles transmitidos por veículos

³³ Coordenação de Manobra Mensagem (MCM)

- O Veículo S quer ultrapassar o Ônibus parado.
- Qualquer utente da estrada ou outra parte interessada na segurança rodoviária equipada poderia analisar a situação do tráfego rodoviário com base nas informações recebidas combinadas com outros dados de sensores
- Aconselhar ou gerir os utentes da estrada sobre como agir para conseguir uma resolução eficiente e segura da situação.

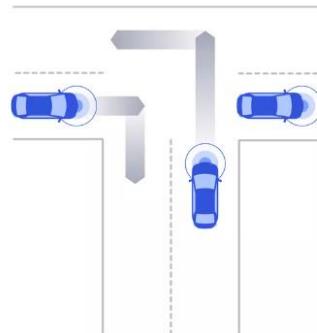


³⁴Mensagem de coordenação de manobra (MCM) - exemplos

- Ir para manobra
- Manobra ociosa
- Seguir Manobra de Caminho
- Seguir trajetória
- Ir para Agendado
- Parar Manobra
- Manobra concluída
- Manobra de Teleoperação
- Teleoperação concluída
- ...
- <https://lsts.pt/docs/imc/master/Maneuvering.html>

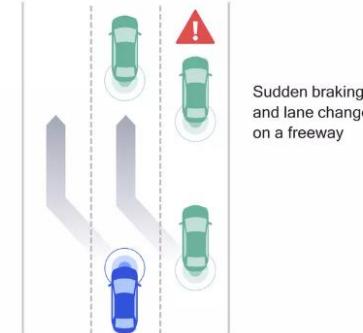
Efficient maneuvers

Autonomous vehicles are able to make quicker, yet safe maneuvers by knowing the planned movements of surrounding vehicles



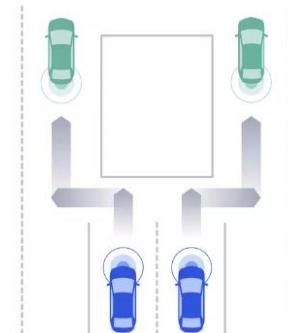
Advanced path planning

Supporting the level of predictability needed for advanced path planning for autonomous driving



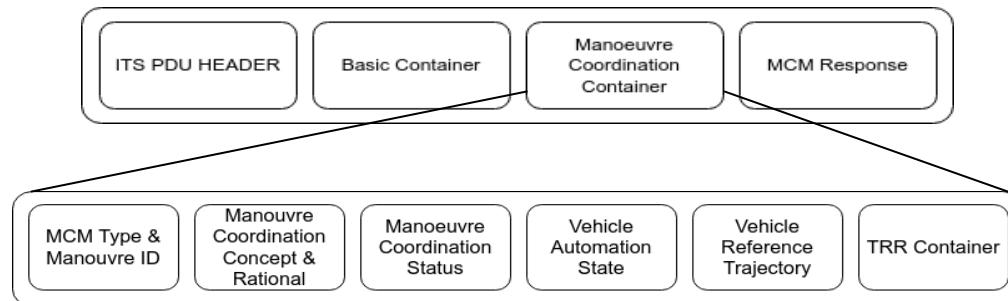
Coordinated driving

Autonomous vehicles are able to choose time-efficient paths toward their given destinations as they know the planned movements of other vehicles



Mensagens do MCM

Estrutura



MCM: Mensagem que pode ser transmitida pelos veículos e/ou nós da infraestrutura para coordenar uma manobra.

Tipo MCM: Tipo de manobra (oferta, solicitação..)

Conceito e Racional do MCM: Custo de cooperação ou objetivo prescritivo da manobra.

Status de Coordenação MCM: Elemento de dado que indica o status atual de execução.

Estado de Automação do Veículo: Longitudinal e/ou Lateral

Trajetória de Referência do Veículo: Contém a trajetória que os veículos pretendem executar

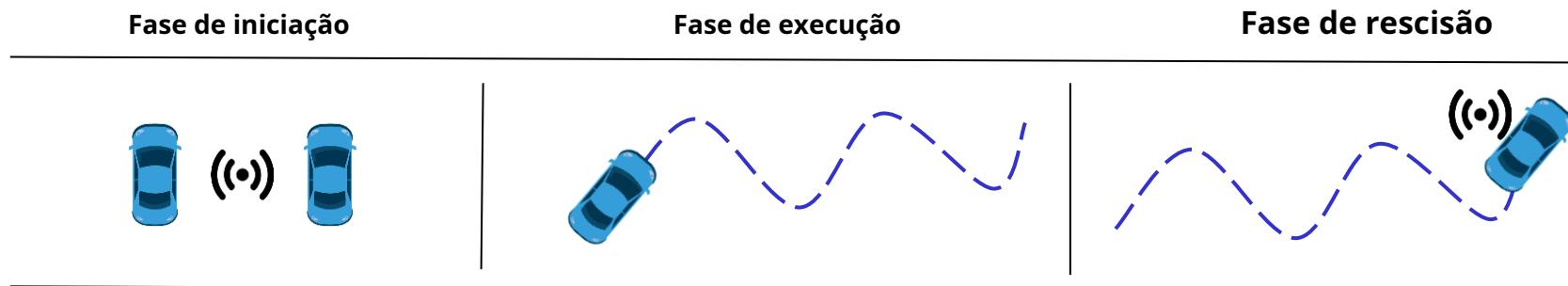
Contêiner TRR: Trajetória de Referência de Veículo para reserva de recurso rodoviário

Serviço de Cooperação em Manobras

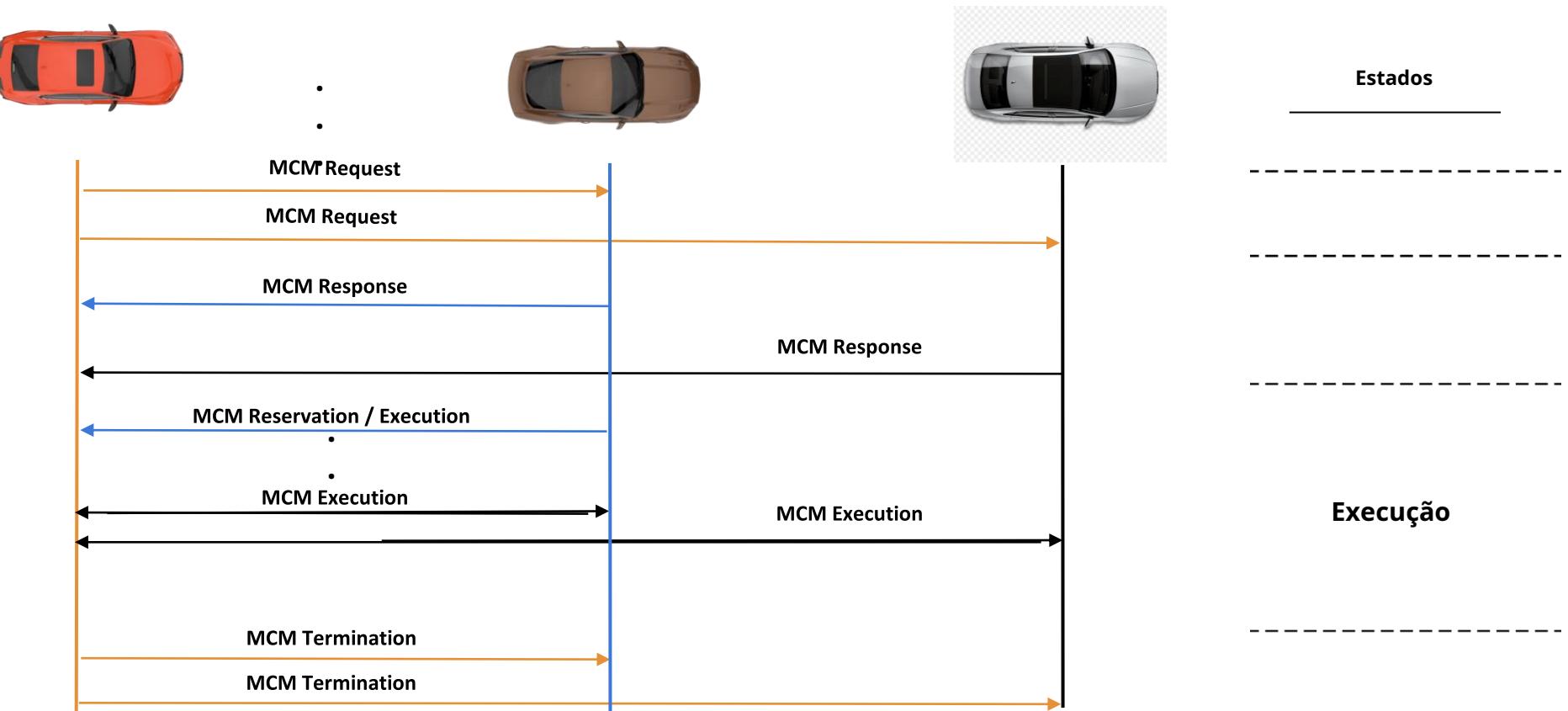
Serviço

- O Serviço de Cooperação em Manobras (MCS) atua como orquestrador e facilitador, responsável pela produção e gestão da distribuição do MCM.
- O objetivo é apoiar as funções de automação de condução de veículos automatizados cooperativos conectados (CCAV), promovendo a troca de informações e a cooperação entre ITS-S próximos ou remotamente

Processo de coordenação de manobras



Manobra Coopera n Service



Tecnologias de Comunicação

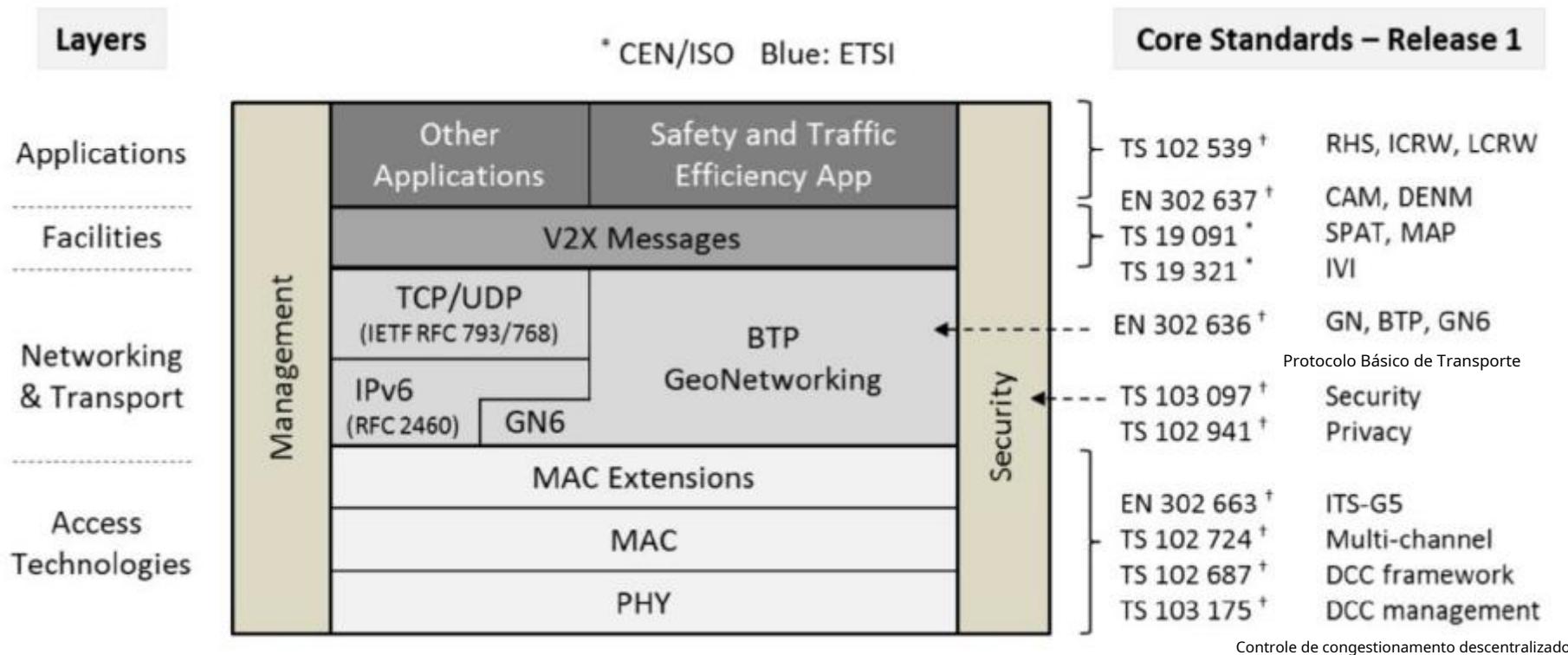
Requisitos para o Tecnologias de Comunicação

- Alcance (>200-400m)
- Atrasos (<10 mseg)
- Tempo para comunicação quando estiver dentro do alcance
(<10-20 mseg)
- Largura de banda (>>10Mb/s....→tanto quanto
possível)

ITS-G5 (DSRC, IEEE 802.11p)

- Desenvolvido para comunicação entre veículos (também suporta comunicação entre veículos e infraestrutura)
- Baseado em IEEE 802.11a com extensões PHY e MAC (baseado em CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access/Collision Prevention)
- Adaptado para comunicações V2X com latência crítica na banda de 5,9 GHz
- Frequência: Opera na banda de 75 MHz do espectro de 5,9 GHz
- Alcance: em LoS pode ir até 1Km
 - Propenso a obstruções: edifícios, árvores, carros
- Atraso: < 10 mseg
- Tempo para comunicação quando estiver dentro do alcance (10-20 mseg)
- Taxa de até 27Mb/seg no modo maior (normalmente é 12Mb/seg)

ITS-G5



Desafios ITS-G5

- As aplicações de comunicação de segurança veicular dependem fortemente da transmissão periódica de mensagens básicas de segurança (BSM) que contêm posições, velocidades e outras informações sobre os veículos.
- Essas mensagens com sobrecarga da camada PHY normalmente têm cerca de 300 bytes com o cabeçalho completo do certificado de segurança e devem ser transmitidas até uma vez a cada 100 ms. A periodicidade é escolhida para atender aos requisitos de latência e precisão das aplicações de segurança veicular.
- Congestionamento de canais em ambientes veiculares densos (colisões de pacotes)
- Falta de handshake/ACK na entrega de quadros de transmissão
- Sem suporte de QoS
- Próxima geração da especificação, nomeadamente 802.11bd
(<https://standards.ieee.org/ieee/802.11bd/7451/>)

C₄₃ellular-V2X (3GPP baseado em LTE

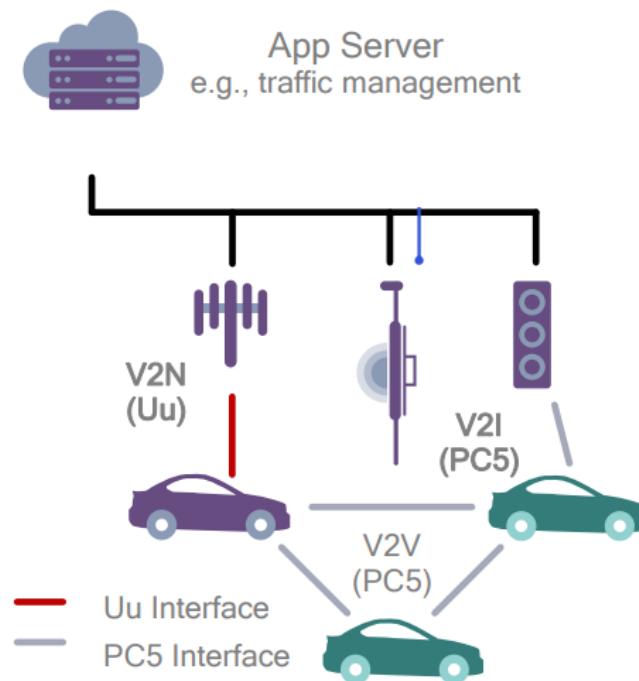
Relação 14)

- Baseado em 3GPP Rel 14
- Frequência: 5,9 GHz
- Alcance: em LoS, pode ir até 1Km
 - Propenso a obstruções: edifícios, árvores, carros
- Atraso: < 20 mseg
- Tempo para comunicação quando estiver dentro do alcance (~100 ms?)
- Taxa de até 150 Mb/s no modo maior

Cellular-V2X (3GPP baseado em LTE)

Relação 14)

- Cellular-V2X define uma nova interface aérea chamada PC5 para comunicação V2V, V2I.
- V2N ainda está sobre a interface aérea LTE Uu herdada e fornece serviços de nuvem de ponta.



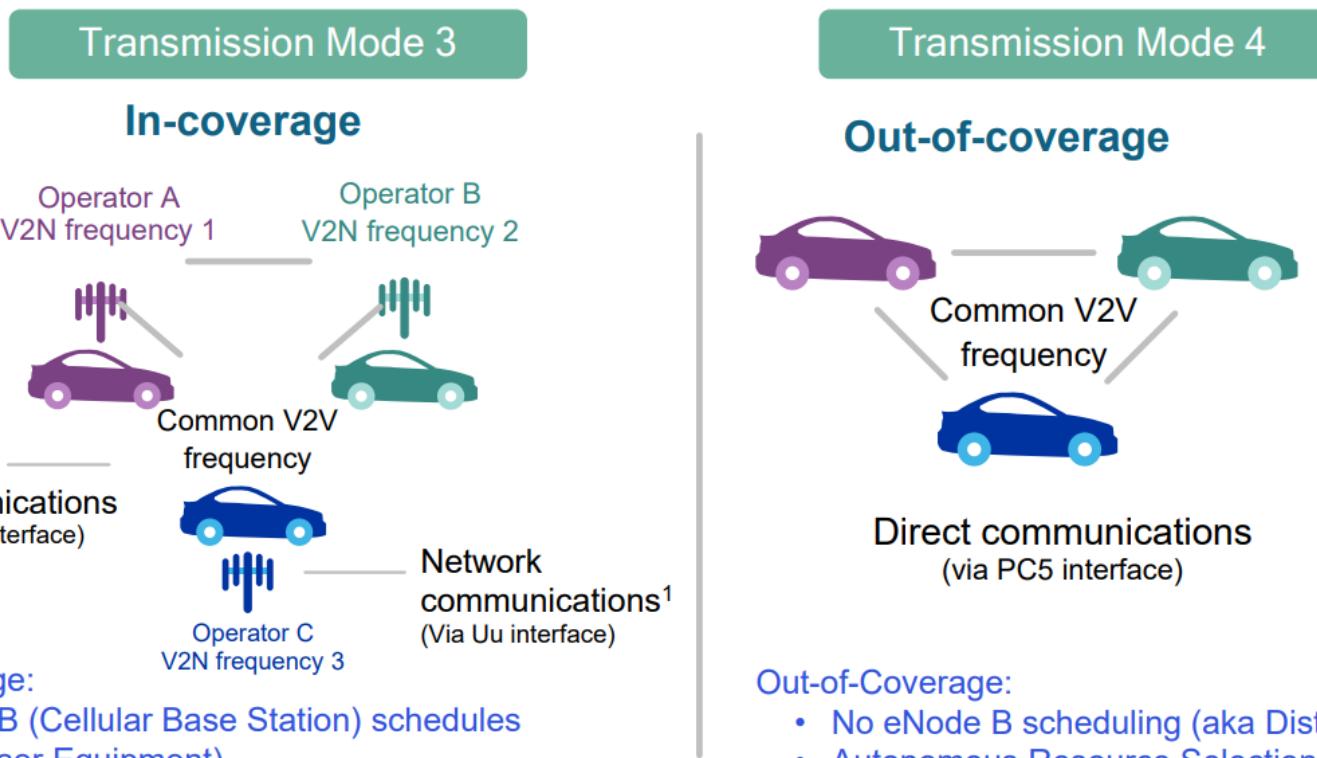
C₄₅ellular-V2X (3GPP baseado em LTE)

Relação 14)

- C-V2X define dois modos de transmissão complementares:
- 1) Comunicação direta de segurança independente da rede celular
 - Baixa latência veículo-veículo (V2V), veículo-infraestrutura (V2I) e veículo-pessoa (V2P) operando em bandas ITS (por exemplo, 5,9 GHz)
- 2) Comunicações em rede para serviços complementares
 - Vehicle-to-Network (V2N) opera no espectro licenciado da operadora móvel
- Comunicações diretas (V2V) via interface PC5
 - Baseado no design LTE Direct dispositivo a dispositivo com melhorias para altas velocidades/alto Doppler, alta densidade, sincronização aprimorada e baixa latência
 - Comunicações diretas proximais (centenas de metros)
 - Opera dentro e fora de cobertura
 - Casos de uso sensíveis à latência, por exemplo, segurança V2V
- Comunicações de rede (V2N) via interface Uu
 - Usando LTE para transmitir mensagens de um servidor V2X para veículos e outros. Veículos podem enviar mensagens para o servidor via unicast
 - Comunicações de redes de longa distância
 - Aproveita redes LTE existentes
 - Casos de uso mais tolerantes à latência, por exemplo, consciência situacional V2N

Cellular-V2X (3GPP baseado em LTE)

Relação 14)



Cellular-V2X (3GPP baseado em LTE)

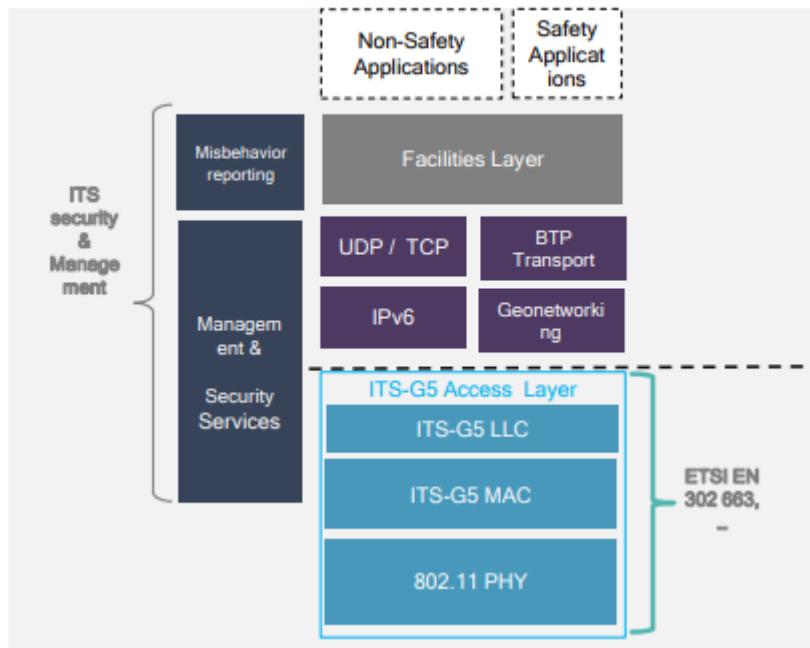
47

Relação 14)

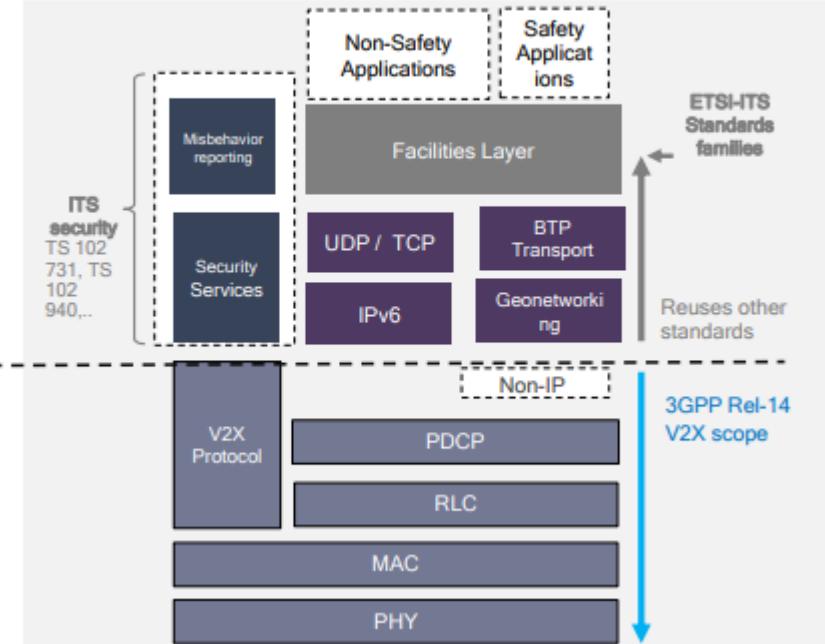
Connected Vehicle Challenges	C-V2X Solutions
	Improved signal design E.g. increasing # of ref signal symbols to improve synchronization and channel estimation
	Improved transmission structure Transmit control and data on the same sub-frame to reduce in-band emissions More efficient resource allocation New methods using sensing and semi-persistent resource selection
	Allow utilization of GPS timing Enhancements to use satellite (e.g., GNSS) when out-of-coverage

ITS-G5 versus C-V2X

ITS (ITS-G5 based)



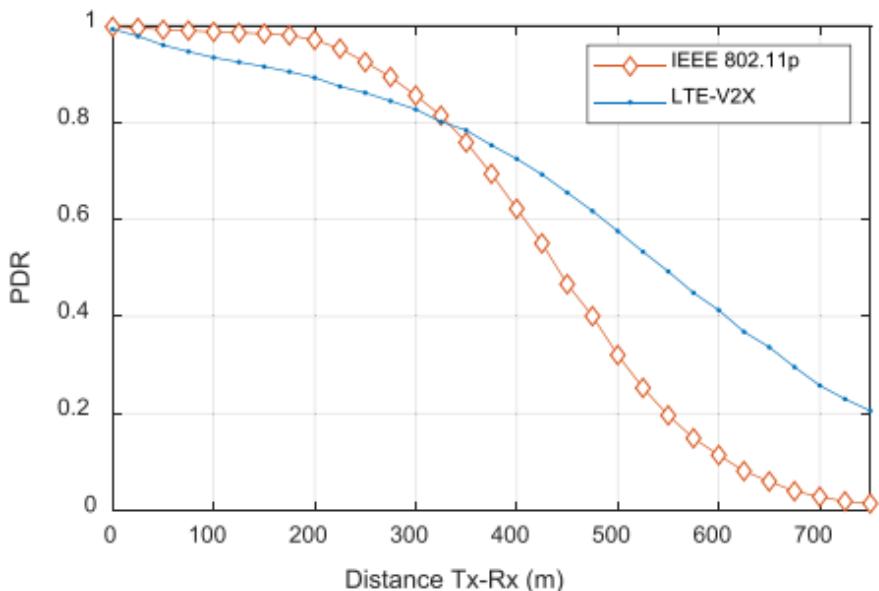
C-V2X (D2D/PC5 based)



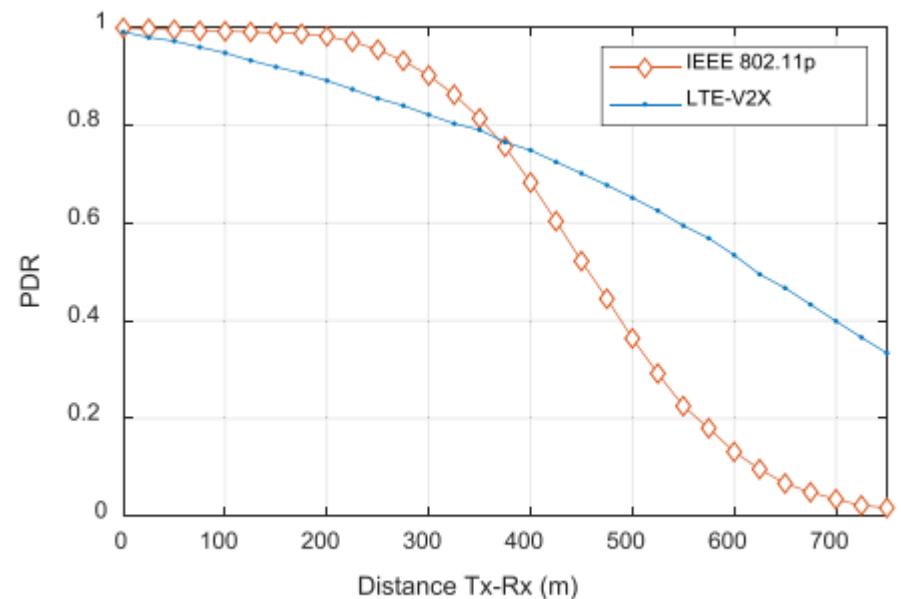
ITS-G5, C-V2X, 5G (autônomo)

Parameters	ITS-G5	C-V2X (LTE Rel. 14)	Future 5G SA
Currently available technology	Yes	Yes	No Sim, privado redes
Field trials (+10 years)	Yes	No	No
Applications	V2V, V2I	V2V, V2I, V2N	V2V, V2I, V2N
Latency	5 ms	20 ms	<5 ms
Data rate	3-27 Mbps	150 Mbps	10 Gbps
Multimedia and cloud services support	No	Yes	Yes

ITS-G5 vs C-V2X (Simulação)



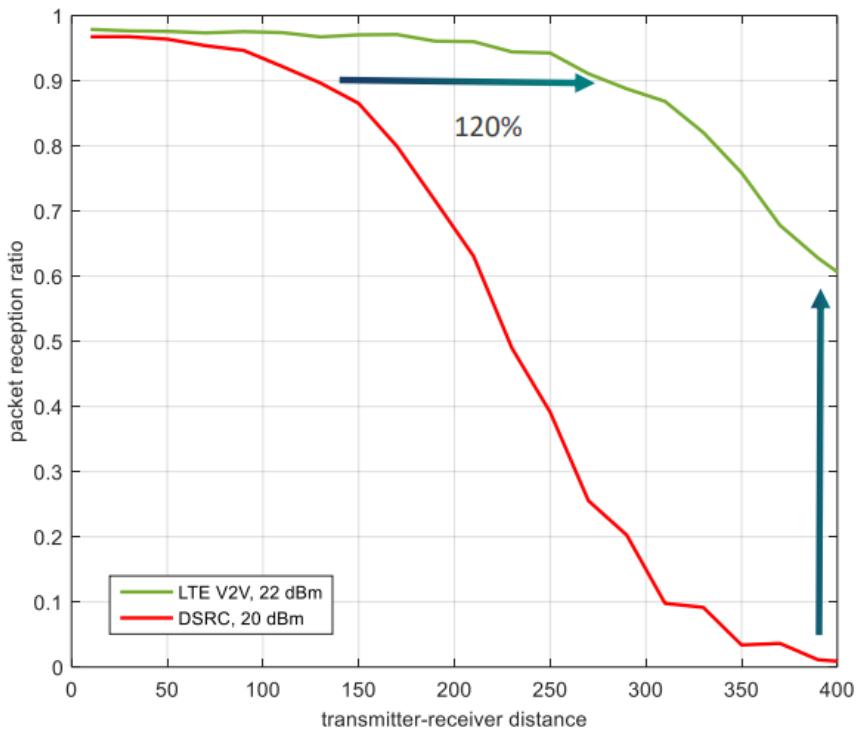
(a) *Empirical-size model. 120 veh/km (CBR~0.33)*



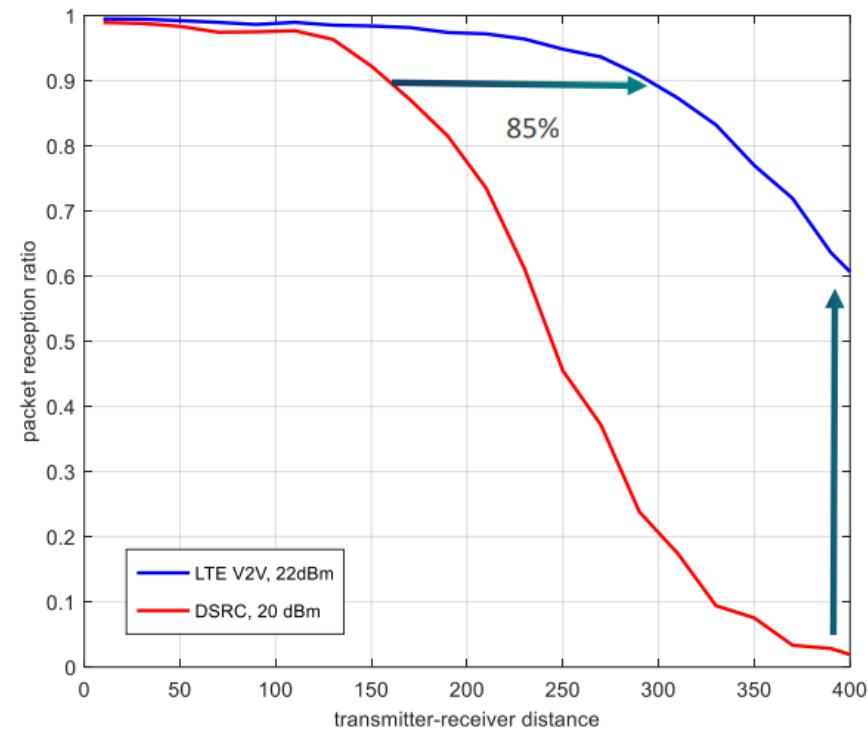
(b) *Empirical-time model. 200 veh/km (CBR~0.23)*

ITS-G5 vs C-V2X (Qualcomm)

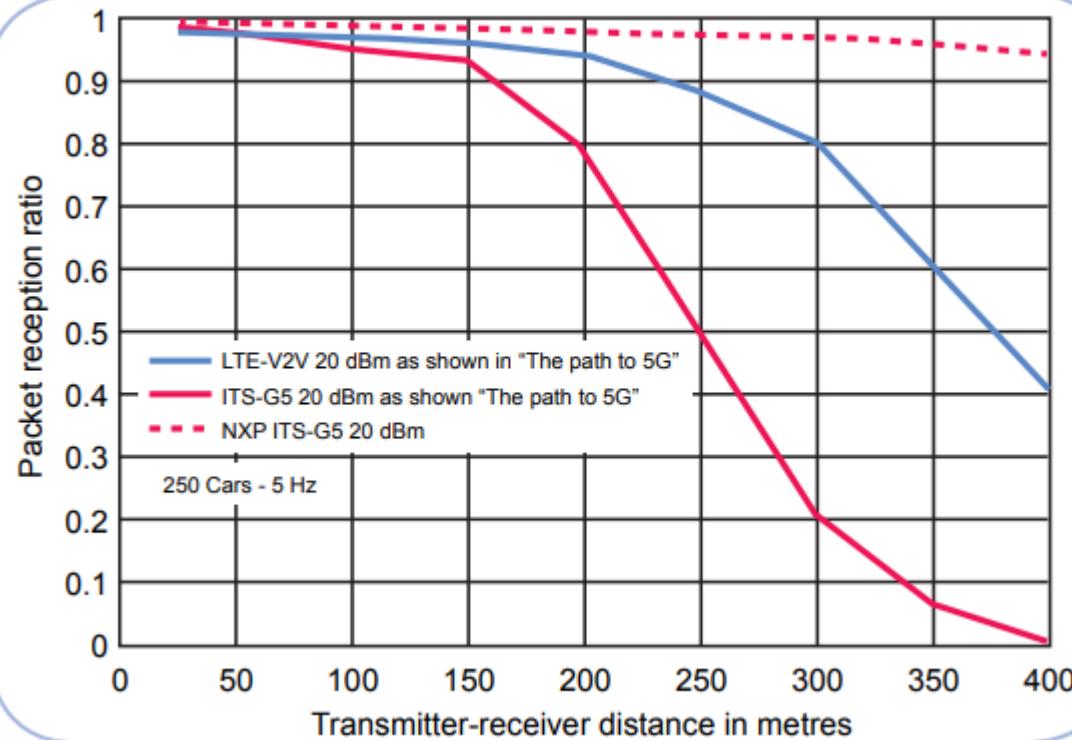
Freeway 250 km/hr, 69 cars



Freeway 140 km/hr, 123 cars



ITS-G5 versus C-V2X (NXP)



Novo rádio Cellular-V2X (Rel 16)

NR Design

5G NR C-V2X capabilities for autonomous driving

Scalable OFDM-based air interface



5G C-V2X is expected to efficiently address diverse spectrum bands for different use cases. Leveraging wideband carrier support and OFDMA to deliver **higher data rates**.

Self-contained slot structure



Smaller slot structure with immediate feedback to enable **ultra reliable low latency communications**.

Advanced channel coding



State of the art LDPC/polar coding to deliver **higher reliability** with low complexity.

Wideband carrier support



Wideband carrier based **higher data rates and system capacity**.

Larger number of antennas



Efficiently utilize larger number of antennas than Rel-14 to deliver **higher data rate** and long range.

LDPC: verificação de paridade de baixa densidade

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263702/01.02.01_60/ts_10263702v010201p.pdf

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263703/01.01.01_60/ts_10263703v010101p.pdf

https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103562/02.01.01_60/tr_103562v020101p.pdf

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/10330003/02.01.01_60/ts_10330003v020101p.pdf

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103100_103199/10319103/01.01.01_60/ts_10319103v010101p.pdf

https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/landelijke-ivri-standaarden/d3046-2_spat-perfil.aspx

https://www.crow.nl/downloads/pdf/verkeer-en-vervoer/verkeersmanagement/landelijke-ivri-standaarden/d3046-1_map-perfil.aspx