

## Capítulo

# 2

## Sistemas de Transporte Inteligentes: Conceitos, Aplicações e Desafios

Felipe D. Cunha (PUC-MG), Guilherme Maia (UFMG), Clayson S. F. S. Celles (UFMG), Bruno P. Santos (UFMG), Paulo H. L. Rettore (UFMG), André B. Campolina (UFMG), Daniel Guidoni (UFSJ), Fernanda Sumika H. Souza (UFSJ), Heitor Ramos (UFAL), Leandro Villas (UNICAMP), Raquel A. F. Mini (PUC-MG) e Antonio A. F. Loureiro (UFMG)

### *Abstract*

*Urban mobility is a current problem of modern society and large urban centers, which leads to economic and time losses, higher fuel consumption and higher CO<sub>2</sub> emissions. In the literature, it's possible to find works that point to Intelligent Transportation Systems (ITS) as a solution to this problem, and this research topic has received the vast attention of many researchers nowadays. In this context, vehicular networks emerge as a component of the ITS, providing cooperative communication between vehicles and infrastructure and cooperating to improve the flow of vehicles in big cities. In this mini-course, the objective is to discuss ITS, presenting an overview of the area, its challenges, and opportunities. In this way, this mini-course will introduce the main concepts involved in the ITS architecture, its implementation and integration with other computer networks, and how to evaluate its performance. We will also show the main applications in the literature that cooperate for the existence of ITS. In the end, we will discuss the challenges and opportunities found in the areas of interest of the SBRC symposium, among which we highlight: data collection and fusion, characterization, prediction, security and privacy.*

### *Resumo*

*A mobilidade urbana é um problema atual da sociedade moderna e dos grandes centros urbanos, que ocasiona perdas econômicas e de tempo, maior consumo de combustível e maiores emissões de CO<sub>2</sub>. Na literatura, é possível encontrar trabalhos que apontam os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) como solução para esse problema e esse tema tem recebido destaque atualmente nos principais veículos de publicação. Neste contexto,*

*as redes veiculares surgem como um componente do ITS, provendo a comunicação cooperativa entre veículos e com a infraestrutura e cooperando para a melhoria do fluxo de veículos nas grandes cidades. Neste minicurso, o objetivo é discutir ITS, apresentando uma visão geral da área, seus desafios e oportunidades. Desta forma, neste minicurso serão apresentados os principais conceitos envolvidos com a arquitetura de ITS, sua implantação e integração com outras redes computacionais, e como avaliar o seu desempenho. Será apresentado também as principais aplicações existentes na literatura que cooperam para a existência do ITS. Ao final, serão discutidos os desafios e oportunidades encontrados nas áreas de interesse do simpósio SBRC, dentre elas destacam-se: coleta e fusão de dados, caracterização predição, segurança e privacidade.*

## **2.1. Introdução**

O crescimento desordenado dos grandes centros urbanos tem provocado graves problemas socioeconômicos e estruturais para a população, que contribuem para o aumento das desigualdades sociais e para um estresse significativo à estrutura das cidades. Desta forma, serviços e recursos devem ser providos de forma a lidar e minimizar esses problemas. Dentre eles, pode-se citar a má ocupação do espaço urbano que colabora para gerar diversos problemas de mobilidade. Neste contexto, os sistemas de transporte públicos são uma parte imprescindível para melhorar a mobilidade urbana e é um dos setores mais afetados. Por exemplo, em São Paulo 23% dos moradores gastam pelo menos duas horas para ir e voltar ao seu destino todos os dias [Cintra 2013, ISO 21217:2010 2010].

Com o passar dos anos, os problemas relacionados com o trânsito vêm aumentando devido ao aumento de veículos em circulação e a grande concentração de pessoas em uma mesma região. Segundo estudos realizados pela IBM, a quantidade atual de veículos automotivos no mundo atualmente ultrapassa 1 bilhão e este número pode duplicar em 2020. Com isso, as grandes cidades são as mais afetadas por esse aumento de veículos, com a presença constante de congestionamentos. Por exemplo: pesquisas recentes mostram que São Paulo têm uma perda anua de R\$ 40 bilhões, e esta perda está relacionada a 85% tempo perdido no trânsito; 13% aumento do consumo de combustível; e apenas 2% ao aumento da emissão de gases poluentes. Estes que por sua vez, contribuem também para o aumento do aquecimento nestes centros urbanos [Cintra 2013].

Algumas tentativas de solução para o problema de mobilidade são propostas como: rodízios de placas e incentivos para uso de transporte públicos. Entretanto, essas soluções não obtiveram muito sucesso. Em muitos cenários elas afetam a rotina da população e não obtém sucesso desejado. Nesse contexto, soluções com inteligência, que fazem uso de comunicação podem contribuir para um maior sucesso, melhorando o tráfego nos grandes centros urbanos. Estas soluções proveem aplicações que viabilizam o controle e gerenciamento do tráfego, com serviços que vão desde um controle mais assertivo dos horários e rotas de transporte público até a sincronização inteligente de semáforos. Estes serviços compõem o arcabouço dos Sistemas de Transporte Inteligente (*Intelligent Transportation Systems (ITS)*) [Qu et al. 2010].

Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) utilizam dados, comunicação e computação para prover serviços e aplicações que podem resolver diversos problemas de transporte nas grandes cidades atuais. Esses sistemas além de disponibilizar serviços para gerenciar e

dar maior segurança as pessoas no trânsito, também proveem serviços de conforto para os motoristas e passageiros como o acesso às redes sociais e serviços de *stream* de vídeo durante as viagens. Todas essas aplicações se apoiam na colaboração entre os elementos que integram o sistema como os veículos, os sensores e os demais dispositivos móveis. Cada um desses elementos exerce um papel importante, colaborando e sensoriando dados que serão avaliados pelo sistema. Toda essa colaboração de elementos é viabilizada pela comunicação entre os mesmos. Para isso, elementos como antenas e estações de controle podem intermediar essa comunicação. No contexto da comunicação direta entre os veículos, surgem as redes veiculares ( *Vehicular Ad Hoc Networks*), um tipo de rede que vem exercendo grande influência no cenário dos ITS [Karagiannis et al. 2011].

Os serviços e as aplicações providos pelos ITS possuem características e peculiaridades próprias, que diferem das demais aplicações tradicionais. São serviços que geram e consomem diferente quantidade de dados, usam diferentes tecnologias de comunicação com diferentes larguras de banda, alcance e latência. Além de possuírem diferentes restrições e qualidades de serviço que diferem de acordo com a aplicação. Por esse motivo, o projeto de um serviço que faça parte destes sistemas se torna um grande desafio. Neste minicurso, o objetivo é discutir ITS e apresentar uma visão geral da área, seus desafios e oportunidades, definindo os principais conceitos envolvidos com a arquitetura ITS, sua integração e cooperação com demais redes computacionais. Neste contexto, serão definidos os principais tipos de aplicações, os simuladores e demais ferramentas utilizadas para avaliar o desempenho de serviços neste cenário. Além disso, serão discutidos os desafios e oportunidades encontrados nas áreas de interesse do simpósio SBRC.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2.2 discute o conceito de sistemas de transporte inteligente apresentando todos as definições, arquitetura e demais integrações com outras redes. A Seção 2.3 apresenta as principais aplicações em sistemas de transporte inteligente. A Seção 2.4 discute quais são as ferramentas e simuladores existentes para avaliar o desempenho de serviços em ITS. A Seção 2.5 apresenta os desafios e as oportunidades para diversos tópicos de pesquisa atuais relacionados com sistemas de tráfego inteligente. Finalmente, a Seção 2.6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## **2.2. Sistemas de Transporte Inteligentes**

Os Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) têm como objetivo melhorar a segurança e mobilidade dos transportes, como também o aumento da produtividade das pessoas e diminuição dos efeitos nocivos do trânsito. Essa melhoria é alcançada através da integração de tecnologias de comunicação nos veículos e na infraestrutura da cidade.

ITS não é proposto apenas para melhorar as condições do tráfego de veículos, mas também tem a intenção de tornar o setor de transportes mais seguro, mais sustentável e eficiente, evitando os inconvenientes causados pelos congestionamentos dos tráfegos urbanos e efeitos dos problemas climáticos sobre o tráfego. Para isso, o foco é melhorar a gerência dos recursos das cidades e aumentar a comodidade das pessoas através do uso de serviços de informação e alerta. Por conseguinte, essa melhoria contribui para facilitar o fluxo na cidade, diminuindo o tempo gasto em congestionamentos e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de combustível, emissões de CO<sub>2</sub> e perdas monetárias.

Nas seções seguintes serão apresentados os principais conceitos relacionados com Sistemas de Transporte Inteligentes. Assim, na Seção 2.2.1 serão definidas as principais arquiteturas de ITS e seus componentes, salientando as principais diferenças entre cada modelo proposto. Na Seção 2.2.2 será definido as Redes Veiculares, apresentado as principais características e peculiaridades deste tipo de rede. E na Seção 2.2.3 serão apresentados os principais tipos de redes de computadores que podem cooperar para o funcionamento destes sistemas.

### 2.2.1. Arquitetura

Com o a evolução das tecnologias de computação e comunicação, e o aumento da demanda de serviços ITS com diferentes requisitos, surge a necessidade de uma padronização de modo que se defina a maneira como os dispositivos e componente podem interagir entre eles. Dentre as arquiteturas propostas, pode-se citar a norte-americana, a europeia e a japonesa.

A arquitetura norte-americana (National ITS Achitecture) [of Transport 2016], definida pelo Departamento dos Transportes dos Estados Unidos (U.S. Department of Transportation), descreve como ocorre a comunicação entre seus elementos e subsistemas, com a definição clara do papel de cada um deles. Essa arquitetura se divide em 4 classes (conforme é ilustrado na Figura 2.1): *Center* que define o centro de controle e gerenciamento de todo o sistema, no qual os serviços são executados; *Field* que engloba toda a parte de infraestrutura do ambiente (RSU, sensores de monitoramento, câmeras); *Vehicles* que são os veículos e sensores embarcados; e os *Travelers* que define-se pelos dispositivos usados pelas pessoas durante a viagem.

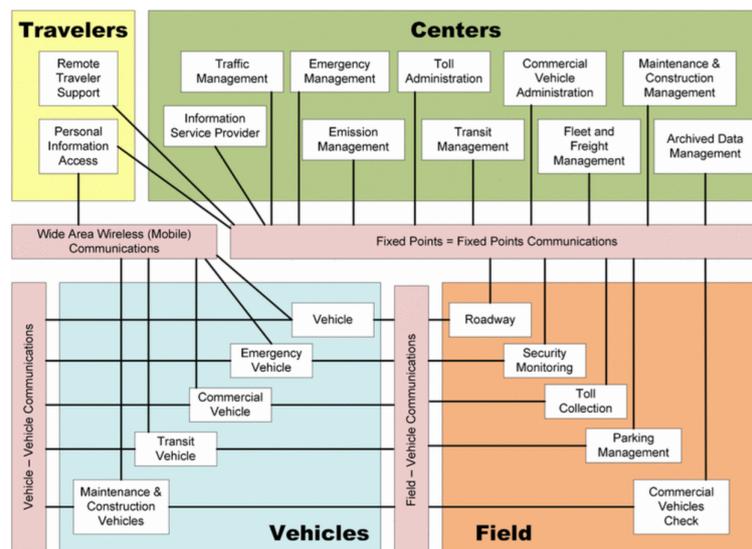


Figura 2.1: USA National ITS Architecture [of Transport 2016].

Algumas desvantagens para a utilização são apresentadas pela arquitetura norte-americana. Num primeiro momento, observa-se a dificuldade que a arquitetura tem em permitir a utilização simultânea de várias tecnologias de comunicação e também de fazer essa escolha de forma dinâmica. Outra restrição é que todos os serviços estão localizados

no *Centers*, e a comunicação entre as duas classes *Centers* e *Vehicles* ocorre por uma interface, o que limita o uso de novos paradigmas.

A arquitetura Japonesa [Lorch et al. 2006], proposta pelo projeto *Smartway* prevê a comunicação entre os veículos e entre os veículos e toda a infraestrutura inteligente das vias (sensores, RSU, Semáforos) e usa como o padrão de comunicação o DSRC, juntamente com o padrão proposto ARIB (similar ao protocolo WAVE). A arquitetura Europeia (ITS ISO CALM) possui características bem similares as demais arquiteturas como o uso de RSU e comunicação DSRC [ISO 21217:2010 2010]. Entretanto, essa arquitetura possui como maior diferença o uso do protocolo de comunicação CALM que prevê uma interface de comunicação entre as tecnologias de transmissão como: 3G/4G, Wi-Fi, infra-vermelho, entre outras.

Ambas as arquiteturas Japonesa e Europeia possuem desvantagens comparadas à arquitetura norte-americana, por não possuírem flexibilidade para o uso de novas tecnologias de comunicação e novos paradigmas da computação como por exemplo a computação em nuvem e névoa. Assim, pode-se observar uma necessidade de projetar arquiteturas que permitam a fácil integração de novas tecnologias, uma vez que elas podem cooperar para o desenvolvimento e melhoria de serviços ofertados pelo ITS.

### 2.2.2. Redes Veiculares

Redes Veiculares são um tipo de rede emergente que tem atraído o interesse de muitos grupos de pesquisa. Estas redes são formadas por veículos com capacidade de processamento e comunicação sem fio, trafegando em ruas e rodovias, enviando e recebendo informações de outros veículos. Elas se diferenciam das redes tradicionais em muitos aspectos. O primeiro deles é a natureza dos nós que as formam, sendo automóveis, caminhões, ônibus etc., que possuem interfaces de comunicação sem fio, e por equipamentos fixados nas proximidades das vias. Além disso, esses nós possuem alta mobilidade e a trajetória deles acompanham os limites e direção definidos pelas vias públicas [Faezipour et al. 2012, Boukerche et al. 2008].

O veículo que participa da rede é equipado com um sistema *on-board* com: computador, interfaces de comunicação, sensores e interfaces para usuário. O sistema suporta uma gama de aplicações para melhorar a segurança do transporte e também proporcionar serviços aos usuários. Uma infraestrutura de rede às margens de rodovias e ruas, denominada de *Road Side Unit* (RSU), também é parte das VANETs e facilita a comunicação dos nós da rede o acesso à Internet. Adicionalmente, os dispositivos portáteis dos passageiros e o sistema do veículo podem se conectar à Internet pela infraestrutura RSU. Um sistema de gerenciamento pode ser adotado para controlar e autenticar a entrada de veículos na rede, principalmente no aspecto da segurança computacional, como distribuição de chaves criptográficas, servidores de autenticação etc. O sistema também pode fornecer serviços e gerenciar a mobilidade dos nós, durante as trocas de rede.

Por se tratarem de nós com alta mobilidade, as redes veiculares possibilitam aos mesmos a troca de informações durante a sua trajetória sem a necessidade de nenhuma infraestrutura entre eles, de forma *ad-hoc*. Assim as redes veiculares podem ser consideradas como um tipo de MANETs (*mobile ad-hoc network*). Entretanto, existe a possibilidade dos nós se comunicarem com a infraestrutura das rodovias, permitindo uma comunicação in-

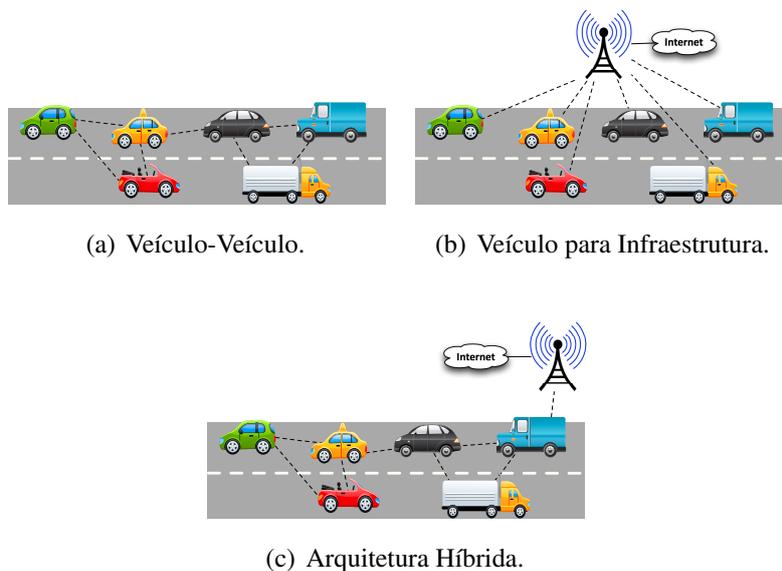


Figura 2.2: Tipos de comunicação em Redes Veiculares.

fraestruturada [Alves et al. 2009, Hartenstein and Laberteaux 2008, Yousefi et al. 2006]. Desta forma, considerando essas características peculiares, a comunicação entre os veículos pode ser classificada em três maneiras (conforme ilustra a Figura 2.2):

- Veículo-Veículo (V2V): permite a comunicação direta de veículos sem depender de um apoio de infraestrutura fixa. Neste tipo de comunicação os veículos podem permutar dados das condições da rodovia, detectar a presença de outros veículos, e mesmo informações acerca de veículos em movimentação insegura.
- Veículo para Infraestrutura (V2I): permite que um veículo se comunique com a infraestrutura rodoviária. Desta forma o veículo pode receber da infraestrutura rodoviária informações sobre obstáculos e presença de pedestres; dados das condições da rodovia; anúncios, propagandas e também informações de segurança que auxiliarão numa condução segura.
- Arquitetura Híbrida: combina soluções V2V e V2I. Neste caso, um veículo pode se comunicar com a infraestrutura rodoviária num único salto ou múltiplos saltos de acordo com sua localização em relação ao ponto de ligação com a infraestrutura visando objetivos diferentes.

Atualmente as montadoras de veículos já colocam em circulação automóveis com computadores de bordo, dispositivos de comunicação sem fio, sensores e sistemas de navegação. Esses recursos viabilizam o estabelecimento das redes veiculares. Um exemplo de aplicação desses recursos são os veículos que dispõem de sensores para coletar as condições meteorológicas, estados do veículo, condições da rodovia e até mesmo limite de velocidade das vias. Neste cenário, os veículos podem interagir com a infraestrutura

das rodovias, obtendo informações de tráfego o que gera melhoras nas condições para o condutor tomar decisões no trânsito.

A interação entre os veículos pode evitar o acontecimento de colisões em vias públicas. Pesquisas de trânsito mostram que por ano no Brasil acontecem em média 110 mil acidentes de trânsito, em torno de 300 acidentes por dia. Além disso, 6 mil pessoas vão a óbito e outras 68 mil ficam feridas, gerando aos cofres públicos um gasto de 22 bilhões de reais [IPEA 2012]. Destes acidentes contabilizados, a principal causa apontada foi a falta de atenção dos condutores, seguidos de motoristas que não obedecem a distância de segurança e velocidade incompatível com o local [CESVI 2012]. Estudos mostram que cerca de 60% dos acidentes podem ser evitados se o condutor for avisado um segundo antes da colisão. Neste contexto o uso de redes veiculares pode proporcionar a redução destes valores, por meio da interação veículo-veículo os condutores podem ser alertados de perigos em potencias nas estradas [Yang et al. 2004].

Nas redes veiculares, normalmente as informações devem ser entregues dentro de veículos numa região de interesse considerando a posição geográfica do nó e a relevância da informação ao mesmo. Um desafio nesse contexto é como distribuir as informações aos veículos de forma eficiente, considerando a dinâmica e mobilidade dos veículos na rede e até mesmo a urgência na entrega da informação, a fim de evitar uma colisão. Para isto, uma ferramenta importante a ser estudada é o protocolo de roteamento, que deve ser eficiente, confiável, suportar uma comunicação com múltiplos saltos e intolerante a atrasos. Ainda nesse cenário é importante que o veículo receba o aviso do possível obstáculo, mesmo que os mesmos não estejam no mesmo raio de comunicação [Li and Wang 2007].

### **2.2.2.1. Padrões de comunicação veicular**

Em 1999, a *Federal Communications Commission* (FCC) concedeu o espectro de 5.9 GHz para a comunicação *Dedicated Short Range Communication* (DSRC) com foco na iniciativa *Intelligent Transportation System*. A FCC adotou como base para a camada física e a camada *Media Access Control* (MAC), o padrão IEEE 802.11, porque é um padrão estável. Em 2004, o IEEE *task group p* assumiu a responsabilidade do desenvolvimento do padrão IEEE 802.11p para ambientes veiculares. Outro grupo, IEEE *working group 1609*, assumiu a tarefa das especificações das camadas adicionais no conjunto de quatro protocolos: IEEE 1609.1, 1609.2, 1609.3 e 1609.4. Coletivamente, IEEE 802.11p e IEEE 1609.x é chamado de *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE), seu objetivo é facilitar o provimento do acesso a rede em ambientes veiculares [Jiang et al. 2008].

A frequência de operação do WAVE tem como base a comunicação DSRC; nos Estados Unidos é definida na frequência de 5.9 GHz, 75 MHz de banda e existe a separação dos canais de controle (CCH), reservados para a transmissão de mensagens de aplicações de segurança (*safety*) e canais de serviço (SCH) para a troca de dados de mensagens para ambas aplicações de segurança e de entretenimento/serviços (*non-safety*). A alteração fundamental introduzida pelo WAVE é permitir um veículo transmitir e receber dados sem a necessidade de pertencer a um *Basic Service Set* (BSS), a priori. Isso significa que os veículos podem se comunicar imediatamente um com o outro a partir de um tempo de contato, sem qualquer sobrecarga adicional, considerando que operam no mesmo

canal [Jiang and Delgrossi 2008].

O padrão WAVE é dividido em duas partes [Uzcategui and Acosta-Marum 2009]:  
*i) RoadSide Unit (RSU)* que podem ser instaladas em postes de iluminação, semáforos, sinais de trânsito e assim por diante; e *ii) Onboard Unit (OBU)* que são instaladas nos veículos (carro, moto, caminhão, ônibus). As partes do padrão operam de maneira independente e os veículos podem se organizar em pequenas redes chamadas *WAVE Basic Service Set (WBSS)*. A WBSS pode consistir somente de OBUs ou uma mistura de OBUs e RSUs, como ilustrado na Figura 2.3. Os membros de um determinado WBSS trocam informações por meio de alguns canais de serviço (SCH) e de controle (CCH). Porém, pacotes de *Internet Protocol (IP)* são permitidos apenas no canal SCH e os veículos devem ser membros da mesma WBSS.

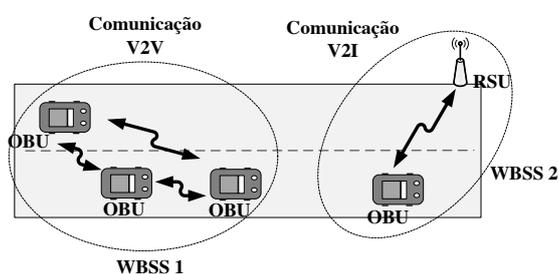


Figura 2.3: As comunicações das partes do padrão WAVE. WBSS 1: comunicação entre OBUs. WBSS 2: OBU comunicando com a RSU - adaptado de [Uzcategui and Acosta-Marum 2009]

As duas pilhas de protocolos do padrão WAVE referente aos dados, IP e *WAVE Short-Message Protocol (WSMP)*, podem ser observadas na Figura 2.4. Análogo à terminologia do modelo de referência *Open Systems Interconnection (OSI)*, ambas as pilhas usam a mesma camada física e camada de enlace e as camadas de sessão e apresentação. O motivo de ter duas pilhas de protocolos é para acomodar comunicações de alta prioridade e sensíveis ao tempo, bem como a tradicional comunicação por IP [Uzcategui and Acosta-Marum 2009].

O IEEE 802.11p é limitado pelo âmbito do IEEE 802.11, ou seja, unicamente o nível físico (WAVE PHY) e de acesso ao meio (WAVE MAC). Na banda de  $75\text{ MHz}$ , são alocados multicanais de  $10\text{ MHz}$  e taxas de dados de  $3$  a  $27\text{ Mb/s}$  por canal. O problema relacionado ao gerenciamento dos multicanais da comunicação DSRC é resolvido pelas camadas superiores definidas pelos padrões IEEE 1609.x. Em particular, o padrão IEEE 1609.4 permite às camadas superiores realizarem, de maneira transparente, operações através de múltiplos canais, sem a necessidade de conhecimento dos parâmetros da camada física [Jiang et al. 2008].

A ideia é monitorar periodicamente o canal de controle (CCH), para receber mensagens de controle e de advertência e, posteriormente, ajustar para um dos canais de serviço SCH disponíveis, para a troca de dados não relacionados à segurança. O regime de coordenação divide o tempo do canal em intervalos de sincronização de  $100\text{ ms}$ , que consiste em alternar a cada intervalo de  $50\text{ ms}$  para CCH e para o SCH, com um tempo de guarda de  $5\text{ ms}$  [Hartenstein and Laberteaux 2008].

As demais camadas do WAVE, em linhas gerais, são definidas como [Karagiannis et al. 2011]:

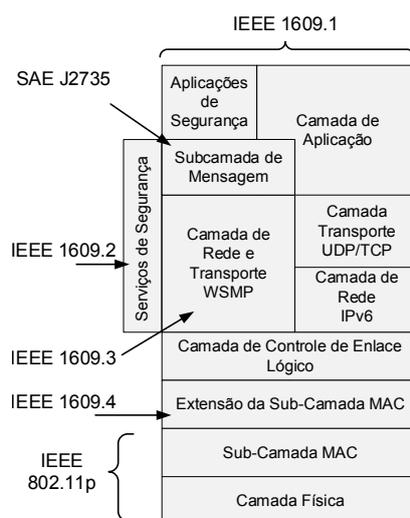


Figura 2.4: Padrão WAVE: As duas pilhas de protocolos IP e WSMP. A camada *Security* pode não se encaixar facilmente no modelo de referência OSI – adaptado de [Kenney 2011]

- *IEEE 1609.3 Network Services*: Fornece serviços de roteamento e endereçamento necessários na camada de rede WAVE; o *WAVE Short Message Protocol (WSMP)* facilita o roteamento por meio do provimento de grupos de endereços para aplicações de segurança. Além disso, utiliza ambos os canais de controle (CCH) e de serviço (SCH).
- *IEEE 1609.2 Security Services*: Especifica os conceitos de segurança do WAVE e define os formatos das mensagens e seu processamento para a comunicação segura. Adicionalmente, determina as circunstâncias para o uso da segurança na troca de mensagens.
- *IEEE 1609.1 Resource Manager*: Descreve a aplicação em uma OBU com recursos limitados que pode utilizar, remotamente, recursos de processamento de outras entidades de forma transparente.

### 2.2.3. Integração com Outras Redes

Com os avanços e crescente disponibilidade de tecnologias sem fio que oferecem acesso a rede em diversos padrões, tais como: IEEE 802.11, 3G/4G, LTE e Bluetooth, que podem ser usados para equipar as redes de sensores, as redes de veículos não tripulados e redes veiculares. Assim, encontramos redes de celulares (4G/LTE) fornecendo comunicação de longa distância e acesso à Internet para os veículos, e em curta distancia o padrão DSRC (*Dedicated short-range communications*) propiciando comunicação de curta distância de maneira *ad-hoc*. Neste cenário, os sistemas de transporte inteligentes devem prove serviços aos condutores e passageiros em qualquer hora e lugar. E o sucesso e disponibilidade desse serviço dependerá da integração de diferentes tecnologias e redes.

Em [Hameed Mir and Filali 2014], os autores apresentam uma análise de desempenho dos dois padrões de comunicação em redes veiculares para diferentes cenários, densidades e velocidades de veículos. Pode-se observar que o DSRC bons resultados em

cenários de redes esparsas. Mas devido as suas limitações de raio de comunicação, o seu suporte a mobilidade dos veículos é bem limitado. Já o padrão LTE apresentou um bom desempenho quanto a escalabilidade, confiabilidade e suporte a mobilidade. Entretanto, o mesmo apresenta alguns desafios para lidar com as restrições de atraso em algumas aplicações.

Quando se trata da obtenção de dados, os sistemas de transporte inteligentes devem fazer uso da integração com as redes de sensores (WSN) e as redes de veículos não tripulados (FANET). Os dados dos sensores podem ser combinados com outros dados coletados pelos veículos para, por exemplo, inferir o posicionamento de um nó da rede (veículo, RSU, dispositivo móvel do usuário), fornecer a densidade de veículos nas vias, apontar a presença de pontos de alagamentos e com obstáculos, etc. Levando em conta os veículos não tripulados, os mesmos podem ser aplicados em ocasiões especiais como acidentes ou enchentes, para ajudar na coleta e disseminação de dados. Nestes casos, ajudariam na difusão de mensagens de alerta por meio de estabelecimento de *links* de comunicação em locais onde a infraestrutura RSU foi danificada ou não estão disponíveis.

Considerando demais aspectos de tecnologia de transmissão de dados, esses padrões podem também ser usados para o estabelecimento de comunicação entre os ITS e toda a infraestrutura inteligente de tráfego. A reprogramação de semáforos, a leitura de dados de câmeras e sensores instalados nas vias públicas, comunicação com radares, etc. Todos esses dispositivos devem ser capazes de se comunicarem com as centrais de monitoramos de tráfego a fim de fornecer dados que possa colaborar com o gerenciamento de todo o tráfego.

### **2.3. Aplicações**

Em ITS, grande parte das aplicações são projetadas para auxiliar os motoristas e passageiros durante suas viagens, visando reduzir acidentes e gerenciar o tráfego das grandes cidades. Além disso, existem outros tipos de aplicações que auxiliam e promovem serviços aos condutores, tornando a viagem mais tranquila e prazerosa. Nesta seção será apresentado uma classificação das aplicações existentes, com a discussão de cada categoria apresentada, exemplificando com trabalhos atuais encontrados na literatura.

#### **2.3.1. Aplicações de Segurança:**

Também chamados de aplicações críticas, esta classe de aplicações tem como objetivo avisar o condutor sobre a possibilidades de colisões eminentes com outro veículo ou com algum obstáculo à frente. Em alguns cenários, o condutor precisa reagir tomando uma decisão rápida a fim de evitar a colisão. Por esse motivo, esse tipo de aplicação apresentar severas restrições de *delay* e confiabilidade. Alguns tipos de aplicações existentes nesta classe são: alerta de perigos na rodovia, colisões emitentes, acidentes na pista e obras à frente. Todos os serviços devem trabalhar de forma a evitar colisões entre os veículos e acelerar o acesso ao socorro.

Na literatura pode-se encontrar alguns trabalhos que exploram aplicações neste contexto. Em [Zaldivar et al. 2011] os autores apresentam uma aplicação que fez uso de uma aplicação Android e interações com a porta OBD do veículo para detecção da ocorrência do acidente. Em caso de acidente, a aplicação é acionada e os telefones

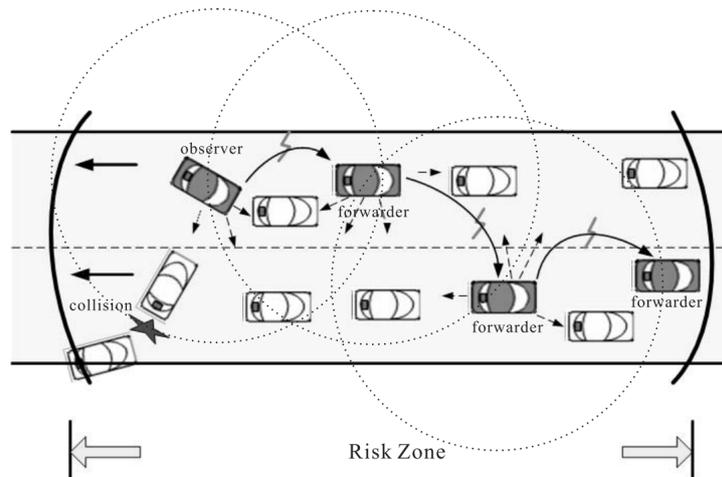


Figura 2.5: Um exemplo ilustrando um cenário de entrega de mensagem de emergência para aplicações de segurança [Tseng et al. 2010].

marcados como números de emergência serão avisados. Em experimentos, os autores mostraram que em menos de 3 segundos a aplicação reage para alertar acerca do evento ocorrido.

De forma diferente, em [Fazio et al. 2013], os autores exploram a comunicação V2X para alertar os veículos na proximidade de um acidente, alertando sobre o evento. Utilizando o protocolo WAVE, a aplicação faz uso das interações entre os veículos-veículos e veículos-infraestrutura para realizar a troca de mensagens e alertar todos os veículos no raio de influência do acidente. De maneira semelhante, em [Chiasserini et al. 2005] os autores apresentam um estudo do desempenho da disseminação de mensagens de alertas avaliando um mecanismo de controle de acesso ao canal de forma a melhorar a eficiência da transmissão de mensagens em VANETs. Como observado na Figura 2.5, em [Tseng et al. 2010] os autores apresentam um mecanismo de encaminhamento de mensagens de alerta ciente da densidade de veículos na região interesse de interesse que foca em reduzir os longos atrasos na entrega e o *overhead* dispensado na tarefa. A aplicação trabalha a partir da origem da mensagem elegendo nós intermediários para a tarefa de retransmissor.

### 2.3.2. Aplicações de Eficiência de Tráfego:

O aumento exacerbado no número de veículos, em conjunto com limitações na infraestrutura rodoviária tornaram o congestionamento de veículos um dos principais problemas dos grandes centros urbanos em todo o mundo. A ineficiência no tráfego de veículos está associada à uma série de problemas, tais como, aumento no número de acidentes, efeitos negativos no desenvolvimento econômico e problemas ambientais [Bauza et al. 2010, Karagiannis et al. 2011].

De acordo com um relatório do Departamento de Trânsito dos EUA, existem três causas principais para o surgimento de congestionamentos [of Transportation 2015]. A

primeira está relacionada aos eventos capazes de influenciar o tráfego, como por exemplo, incidentes, obras nas vias, mau tempo, etc. A segunda está relacionada à demanda de tráfego, caracterizada por flutuações nas condições normais de tráfego ou eventos especiais, tais como, shows, eventos esportivos, etc. A última está relacionada às características da infraestrutura rodoviária, representada pelos dispositivos de controle de tráfego, tais como semáforos, e os gargalos físicos na infraestrutura. O relatório também afirma que os gargalos físicos são responsáveis por 40% dos congestionamentos, seguido por incidentes (25%), mau tempo (15%), obras nas vias (10%), má programação da temporização dos semáforos e eventos especiais (5%). Como controlar as condições climáticas não é uma realidade e a construção de novas vias é um processo demorado e custoso, a sociedade necessita de novas tecnologias capazes de evitar congestionamentos e seus problemas.

Os Sistemas de Gerenciamento de Tráfego (TMS) consistem em uma série de aplicações e ferramentas de gerenciamento com o objetivo de melhorar os sistemas de transporte através da integração de tecnologias da informação, comunicação e sensoriamento. Na prática, TMS coletam dados relacionados ao tráfego a partir de fontes heterogêneas, utilizam vários tipos de algoritmos para sumarizar, agregar e fundir esses dados visando a geração de informação útil, e finalmente, utilizam essa informação para conceber aplicações e serviços para os usuários com o objetivo detectar, controlar e reduzir os congestionamentos. A Figura 2.6 mostra uma arquitetura genérica de um TMS. A seguir, são apresentadas algumas soluções que visam melhorar a eficiência de tráfego.

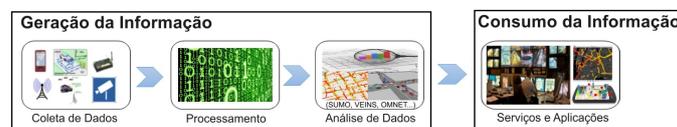


Figura 2.6: Arquitetura de um Sistema de Gerenciamento de Tráfego

O CoTEC [Bauza et al. 2010] é um sistema veicular cooperativo que utiliza comunicação V2V e lógica nebulosa para detectar pontos de congestionamento. No CoTEC, cada veículo envia mensagens para seus vizinhos com o objetivo de informá-los sobre a condição de tráfego no local em que o veículo se encontra. Ao detectar um congestionamento, cada veículo envia uma estimativa a respeito da condição de tráfego e então, de maneira colaborativa, os veículos determinam e caracterizam a condição de congestionamento. Esta solução busca apenas identificar condições de congestionamento, e não minimizá-las ou controlá-las. Em [Pan et al. 2012] é proposto um TMS centralizado para obter em tempo real a localização geográfica, velocidade e direção dos veículos com o objetivo de detectar congestionamentos. Uma vez detectado um ponto de congestionamento, os veículos que se aproximarem dessa região são re-roteados, portanto, atuando de forma a aumentar o nível de congestionamento na região.

Em [Brennand et al. 2015] é proposto um TMS que coleta informações de tráfego em tempo real na tentativa de detectar e gerenciar congestionamentos. Nesta solução, RSUs são instaladas em vários pontos de forma a garantir total cobertura em uma cidade. Cada RSU é responsável por gerenciar um conjunto de veículos e detectar congestionamentos em sua área de cobertura, conforme ilustrado na Figura 2.7. Além disso, esta solução

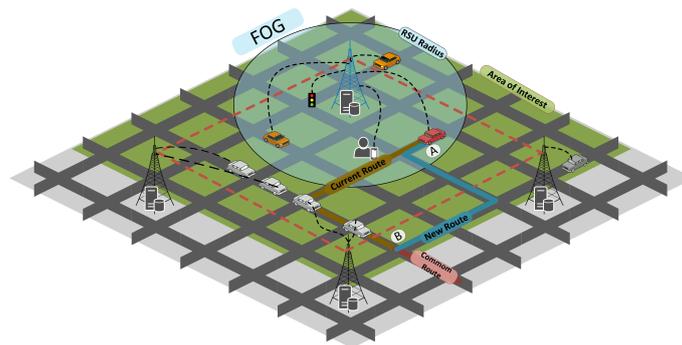


Figura 2.7: Arquitetura do Sistema de Gerenciamento de Tráfego proposto em [Brennand et al. 2015]

inclui um mecanismo de controle de congestionamento, o qual executa periodicamente o re-roteamento de todos os veículos de acordo com as informações de tráfego coletadas.

### 2.3.3. Aplicações de Entretenimento e Conforto:

Os objetivos das aplicações de conforto são tornar a viagem dos passageiros do veículo mais confortável reduzindo a carga de trabalho do motorista. Nas últimas décadas, várias montadoras de veículos incorporaram aplicações de conforto para ajudar o motorista em uma direção mais confortável e segura. Nesse tipo de aplicações, informações sobre tráfego nas ruas/avenidas/rodovias são sensoreadas pelos elementos da rede, que podem ser os veículos, sensores instalados em rodovias ou semáforos, pontos de acesso ou por dispositivos móveis de passageiros/pedestres. Após a coleta dessas informações, as mesmas são disseminadas para os veículos.

As aplicações de conforto necessitam basicamente de duas formas de conectividade:

- **Conectividade de Internet:** o acesso constante à Internet se tornou um requisito primário para uma grande quantidade de aplicações de conforto, tais como: informações sobre o tempo, tráfego na rede, pontos de interesse presentes no percurso a ser realizado (ex. Postos de gasolina, restaurantes, conveniências) ou até mesmo jogos on-line.
- **Conectividade peer-to-peer:** para aliviar o cansaço de longas viagens, engarrafamentos ou falta de conectividade com a internet, os passageiros de um veículo podem compartilhar arquivos, músicas, imagens, vídeos, conversar ou até mesmo se divertir com jogos em rede com outros passageiros de outros carros.

Ambas as formas de conectividade devem tratar aspectos específicos de redes veiculares, como mobilidade de veículos e desconexão frequente. Soluções para ambos problemas devem ser tratadas de maneira transparente para os usuários das aplicações. A seguir, faremos uma descrição não exaustiva de várias aplicações de conforto.

**Serviços de notificação:** consiste em fornecer informações aos assinantes de serviços utilizando acesso à internet. Após a assinatura de um serviço específico, o usuário pode ser

notificado sobre informações relacionadas à previsão do tempo no local atual, informações relacionadas a previsão do tempo no percurso ou no destino da viagem. Além disso, o usuário de um serviço também pode receber notificações sobre condição de tráfego durante seu percurso.

**Serviços ao motorista:** consiste em fornecer informações sobre o mapa da cidade ou do percurso a ser realizado. Informações sobre postos de gasolina, restaurantes, farmácias, oficinas mecânicas, áreas de estacionamento, localização e horário de funcionamento de museus, shoppings ou eventos. Algumas dessas informações podem ser obtidas diretamente através da internet. Outras, podem ser obtidas utilizando a comunicação entre veículos, onde um veículo que passou por algum ponto de interesse dissemina informações relevantes para outros veículos.

**Monitoramento do veículo:** esse serviço permite que as montadoras de carro ou outras empresas confiáveis monitorem o funcionamento do veículo remotamente. Estatísticas como tempo de funcionamento do veículo, quilometragem rodada, consumo de combustível, nível do óleo, freios, pressão dos pneus, filtro do combustível, limpeza do ar-condicionado são coletadas e enviadas para empresas. Além disso, a própria aplicação pode notificar o motorista sobre informações do veículo. Dessa forma, não é necessário se preocupar com revisões a cada 10.000km ou uma vez por ano. A revisão será feita apenas quando necessário.

**Estacionamento automático:** além de obter informações sobre pontos de estacionamento, pagamento automático da tarifa ou agendamento de uma vaga a ser utilizada, o veículo pode realizar o estacionamento sem a supervisão do motorista [Paromtchik and Laugier 1996]. Algumas montadoras já introduziram esse serviço de conforto para seus usuários [BMW, Bos].

**Compartilhamento de informações:** servidores dedicados (utilizando a internet) ou veículos (utilizando a conectividade entre veículos) podem compartilhar informações de interesse de seus usuários como músicas, filmes, imagens ou arquivos gerais.

**Serviços de jogos ou chat:** também podem ser considerados aplicações de entretenimento. Proveem o serviço distribuído de jogos e chat utilizando apenas a comunicação entre veículos.

Para se conseguir atingir os objetivos funcionais das aplicações descritas, características de comunicação estão fortemente relacionadas às exigências tecnológicas e de infraestrutura de comunicação da rede, que podem variar de uma aplicação para outra. Por exemplo, aplicações de notificação de eventos, necessitam de uma conectividade com a internet e baixa largura de banda. Por outro lado, aplicações de troca de vídeos ou *streaming* entre veículos necessitam de uma comunicação entre veículos robusta e de tempo real. Aplicações de estacionamento automático também necessitam de uma infraestrutura de localização de alta precisão, que inclui sensores nos carros e utilização de GPS.

Seguem algumas informações mais detalhadas sobre soluções para aplicações de conforto. Com o objetivo de reduzir o congestionamento e o tempo para encontrar estacionamento, os autores em [Tasseron et al. 2016, Tasseron and Martens 2017] propõe um sistema para a reserva de estacionamento em ruas. Os autores discutem que os trabalhos da literatura abordam a reserva de estacionamento em locais próprios

para estacionamento. Assim, sensores instalados em carros e utilizando comunicação V2V. Os sensores monitoram espaços vazios e disseminam a informação de estacionamento para veículos próximos. Outros autores também abordam o problema de estacionamento em redes veiculares [Peng and Li 2016, Chen et al. 2017, Timpner et al. 2016, Rajabioun and Ioannou 2015, Wu et al. 2014]. Em [Lee et al. 2006] os autores propõem um sistema sistema peer-to-peer para compartilhamento de arquivos. Um sistema colaborativo para realizar *download* de conteúdo é proposto em [Huang and Wang 2016]. Para se adaptar à rápida mudança na topologia de uma rede veicular, o sistema proposto divide a rede em células e o roteamento dentro de cada célula é feito de maneira peer-to-peer. Em [Lequerica et al. 2010], os autores exploram a criação de uma rede social no contexto de uma rede veicular para prover “social services”.

#### **2.3.4. Aplicações de Sensoriamento Urbano:**

Veículos são a mais rica plataforma de coleta e computação no cenário de redes móveis *ad-hoc*. Um veículo moderno possui centenas de sensores que refletem tanto aspectos dos seus sistemas internos, quanto a influência do ambiente sobre o seu funcionamento. Além disso, o tráfego de veículos segue um padrão de mobilidade bem definido pela estrutura viária das cidades, o que permite a utilização de protocolos de VANETs para a comunicação com outros veículos, infraestrutura e, até mesmo, a Internet.

A quantidade de veículos circulando pelas grandes cidades também ressalta um outro benefício da sua utilização como agente de sensoriamento: a sua ubiquidade. Milhares de veículos circulam ao mesmo tempo em diversas regiões de uma cidade. Sendo assim, uma vez que seja possível observar a influência do ambiente urbano nas leituras dos sensores dos veículos, a agregação dos dados de múltiplos veículos possibilitará o sensoriamento de grandes áreas com resolução tão grande quanto o número de veículos contribuindo para o sensoriamento.

Sendo assim, aplicações de sensoriamento urbano são aquelas que buscam extrair, dos dados de sensores veiculares, informações sobre o contexto no qual as medidas foram feitas. A seguir, apresentamos alguns exemplos de aplicações que usam dados de múltiplos sensores e veículos para construir imagens de variáveis do ambiente.

Uma consequência do aumento dos números de veículos trafegando nas cidades é a degradação da qualidade do trânsito, que, por sua vez, aumenta o consumo de combustível dos mesmos. Ganti et al. [Ganti et al. 2010] coletaram dados de consumo de combustível de diversos veículos para determinar o consumo de combustível esperado nas ruas de Urbana-Champaign. De posse de um mapa de consumo de combustível da cidade, os autores desenvolveram uma aplicação que traça a melhor rota entre dois pontos, do ponto de vista do consumo de combustível, que pode ser reduzido em até 10% ao escolher rotas corretas.

A informação sobre a condição das vias de uma cidade é do interesse de múltiplas partes: motoristas, passageiros, prestadores de serviço e administradores públicos. Entretanto, devido à extensão das vias pavimentadas nas grandes cidades, monitorar a condição de vias individuais é inviável devido aos custos envolvidos na implementação de uma infraestrutura para esse fim e sua operação. Chen et al. [Chen et al. 2016] desenvolveram uma aplicação que utiliza os dados de acelerômetros instalados em táxis para monitorar a

qualidade das vias de Shenzhen, conseguindo encontrar, com 90% de precisão, os buracos nas vias trafegadas. Adicionalmente, o número de veículos traz a possibilidade de monitorar o tempo em uma cidade com precisão maior que as estações meteorológicas. Massaro et al. [Massaro et al. 2017] utilizaram um conjunto de dados de mais de 1900 viagens de carros para estimar a temperatura local com base nos sensores veiculares. Os autores mostraram que as leituras de temperatura dos veículos são condizentes com as temperaturas aferidas por estações meteorológicas, no entanto, as primeiras leituras possuem frequência e resolução superiores às últimas, mostrando que é possível monitorar o clima de uma região ou cidade microscopicamente utilizando dados de sensores veiculares.

Um interesse comum à maioria dos motoristas de grandes cidades é o estado do trânsito ao longo de suas rotas. Apesar de valiosa, essa informação é de difícil sensoria-mento, uma vez que demanda uma complexa e abrangente infraestrutura para monitorar o estado das vias de uma cidade. Bauza et al. [Bauza et al. 2010] propuseram um sistema que usa dados veiculares compartilhados em uma VANET para identificar congestionamentos no trânsito, bem como sua localização, gravidade e extensão. Por sua vez, Wang et al. [Zuchao Wang et al. 2013] desenvolveram um método de identificação de congestionamentos baseado na sobreposição de trajetórias de dispositivos GPS embarcados em veículos.

## **2.4. Ferramentas e Simuladores**

Nesta seção serão apresentadas as principais ferramentas e simuladores abertos e gratuitos que são utilizados por profissionais e pesquisadores da comunidade de Sistemas de Transportes Inteligentes. Será apresentado o serviço de mapeamento colaborativo OpenStreetMap, o qual permite exportar informações a respeito do mapeamento de regiões específicas, cidades ou até países inteiros. Tais informações podem servir como base para a criação de cenários virtuais, os quais podem ser utilizados tanto por simuladores de tráfego, tais como o SUMO, quanto por simuladores de redes de comunicação, como por exemplo, OMNeT, Veins, ns, etc.

### **2.4.1. OpenStreetMap**

O OpenStreetMap<sup>1</sup> é um serviço de mapeamento construído de maneira colaborativa por usuários, profissionais e entusiastas (Figura 2.8). Dessa forma, uma comunidade de usuários é responsável por contribuir e manter informações a respeito de ruas, linhas ferroviárias, prédios, etc. Tais informações são construídas utilizando-se dados de GPS, imagens de satélite, dentre outras tecnologias de mapeamento.

Um aspecto interessante a respeito do OpenStreetMap é que todas as informações de mapeamento estão livremente disponíveis para qualquer usuário utilizá-las. Com isso, é possível, por exemplo, extrair informações a respeito do mapeamento de regiões específicas, cidades, países ou até mesmo continentes. O OpenStreetMap permite selecionar uma região específica a partir da qual o usuário deseja exportar informações de mapeamento. A Figura 2.9 mostra o processo de exportação de uma região do centro da cidade de Belo Horizonte. Em seguida, é gerado um arquivo XML contendo todas as informações de mapeamento da região selecionada (Figura 2.10). Tal arquivo XML é formatado

---

<sup>1</sup>[www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)

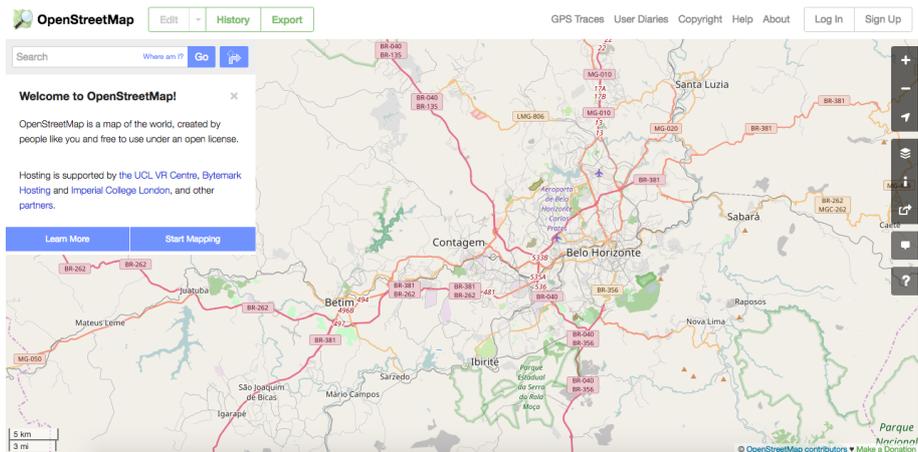


Figura 2.8: Interface do serviço de mapeamento OpenStreetMap

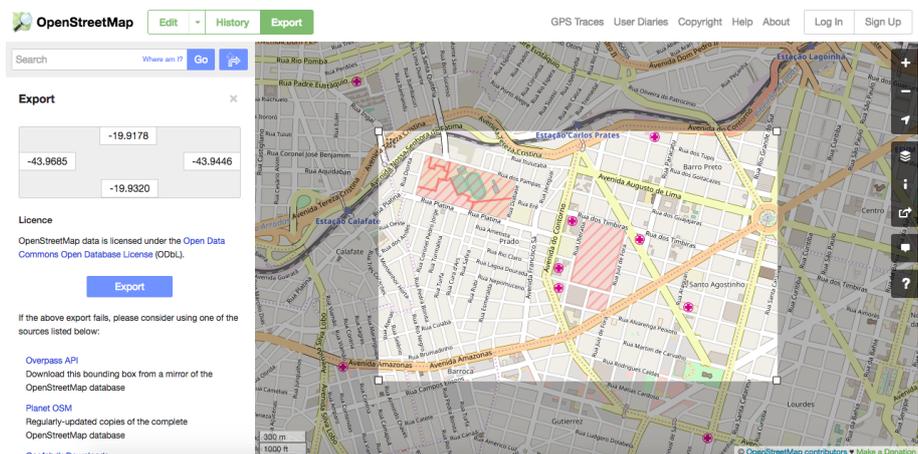


Figura 2.9: Exportando informações de mapeamento a partir do openStreetMap de uma região específica selecionada pelo usuário

obedecendo-se regras previamente estabelecidas pelo OpenStreetMap. Isso permite que tais arquivos de mapeamento possam ser processados por outras ferramentas, tais como o **netconvert**, o qual será apresentado na próxima seção.

## 2.4.2. Simulator of Urban MObility - SUMO

Pesquisadores e profissionais da comunidade de Sistemas de Transportes Inteligentes utilizam simuladores de tráfego como forma de estudar o impacto de algoritmos de roteamento de veículos, alterações no controle de semáforos e mudanças na infraestrutura viária antes das mesmas serem implementadas no mundo real. Um exemplo de simulador de tráfego amplamente utilizado pela comunidade é o SUMO<sup>2</sup>. Dentre as principais características do SUMO, pode-se citar:

<sup>2</sup>[sourceforge.net/projects/sumo/](http://sourceforge.net/projects/sumo/)

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8">
<osm version="0.6" generator="CGImap 0.5.8 (15613 thorn-01.openstreetmap.org)" copyright="OpenStreetMap and contributors" attribution="http://
www.openstreetmap.org/copyright" license="http://opendatacommons.org/licenses/odbl/1.0/">
<bounds minlat="-19.9320000" minlon="-43.9685000" maxlat="-19.9178000" maxlon="-43.9446000"/>
<node id="27583807" visible="true" version="5" changeset="8167769" timestamp="2011-05-17T01:14:34Z" user="Samuel Vale" uid="72239" lat="-19.9221016"
lon="-43.9455990">
<tag k="highway" v="traffic_signals"/>
</node>
<node id="27583808" visible="true" version="5" changeset="20043769" timestamp="2014-01-17T00:55:57Z" user="Gerald Weber" uid="582148" lat="-19.9234211"
lon="-43.9446267"/>
<node id="27584872" visible="true" version="2" changeset="584875" timestamp="2008-12-24T02:41:04Z" user="Samuel Vale" uid="72239" lat="-19.9260953" lon
="-43.9584982">
<tag k="created_by" v="Merkaartor 0.12"/>
</node>
<node id="27584873" visible="true" version="7" changeset="28530473" timestamp="2015-01-31T19:04:49Z" user="Vitor Dias" uid="397143" lat="-19.9183508"
lon="-43.9563007"/>
<node id="27584875" visible="true" version="3" changeset="562832" timestamp="2008-12-23T01:59:26Z" user="Samuel Vale" uid="72239" lat="-19.9173601" lon
="-43.9536890">
<tag k="created_by" v="Merkaartor 0.12"/>
</node>
<node id="27584880" visible="true" version="5" changeset="18148834" timestamp="2013-10-02T18:23:32Z" user="lalm120" uid="1694470" lat="-19.9383824" lon
="-43.9566997"/>
<node id="27591791" visible="true" version="4" changeset="8167769" timestamp="2011-05-17T01:14:35Z" user="Samuel Vale" uid="72239" lat="-19.9219754"
lon="-43.9450650"/>

```

Figura 2.10: Arquivo XML contendo as informações de mapeamento de uma região específica exportada a partir do openStreetMap

- Granularidade dos elementos da simulação: no SUMO é possível modelar e controlar de maneira explícita veículos individuais, pedestres e sistemas de transporte público;
- Importar e criar cenários: o SUMO contém um conjunto de ferramentas que permitem a criação de diferentes tipos de redes rodoviárias, além de possibilitar a criação de cenários rodoviários a partir de informações de mapeamento previamente obtidas a partir de outros serviços, tais como o OpenStreetMap;
- Interação online: o SUMO possibilita a interação com os elementos da simulação de forma online. Ou seja, tal funcionalidade permite, por exemplo, alterar em tempo de simulação as rotas individuais de veículos, a temporização de semáforos, além de permitir a integração do simulador de tráfego com simuladores de redes de comunicação;
- Desempenho: no SUMO é possível realizar a simulação de grandes redes, tais como o tráfego de veículos em uma grande cidade.

Além de permitir a simulação microscópica da mobilidade de veículos e pedestres, a qual é a sua principal funcionalidade, o SUMO fornece um conjunto de ferramentas e bibliotecas que tem o objetivo de facilitar o desenvolvimento dos mais variados tipos de cenários, possibilitando o estudo de várias questões relacionadas ao tráfego de veículos e pedestres. Por exemplo, com o SUMO é possível criar diferentes tipos de infraestrutura viária, importar uma infraestrutura viária a partir de serviços de mapeamento, definir a demanda de veículos e suas rotas, estudar o consumo de combustível e emissão de gases dos veículos, etc. A seguir, serão apresentadas algumas das principais ferramentas que acompanham o SUMO. Para uma lista completa, consultar a documentação oficial do SUMO.

## netconvert

Esta ferramenta permite que redes rodoviárias obtidas a partir de serviços de mapeamento, tais como o OpenStreetMap, possam ser convertidas para o formato de redes

rodoviárias compreendido pelo SUMO e suas demais ferramentas. Por exemplo, assumindo que o trecho exportado a partir do OpenStreetMap na Figura 2.9 foi salvo no arquivo *belo\_horizonte.osm.xml*, cuja parte de seu conteúdo é exibido na Figura 2.10. Com isso, para converter a rede que se encontra no formato definido pelo OpenStreetMap para o formato compreendido pelo SUMO, basta executar o comando abaixo:

```
netconvert --osm belo_horizonte.osm.xml
```

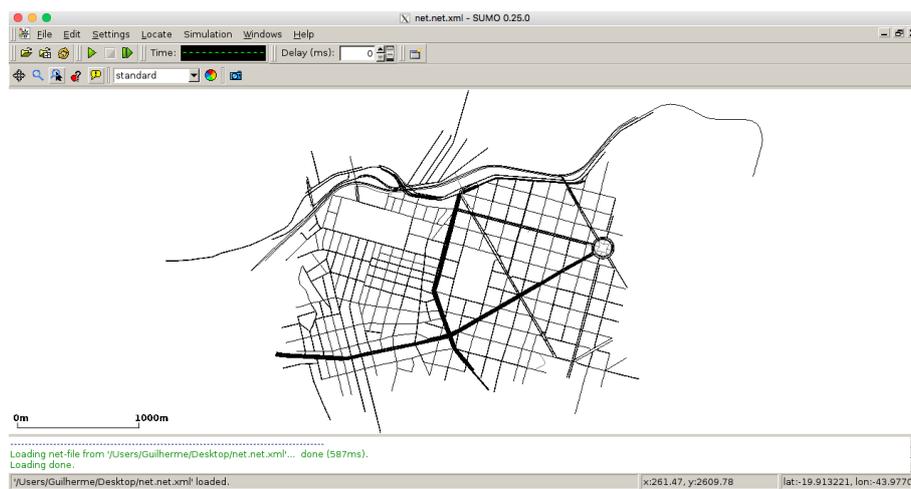


Figura 2.11: Visualização de uma rede rodoviária utilizando-se a interface gráfica do SUMO

O resultado da execução desse comando é a geração do arquivo *belo\_horizonte.net.xml*, o qual nada mais é do que uma descrição da rede rodoviária da região selecionada na Figura 2.9, no entanto, agora em um formato adequado para se trabalhar com o SUMO e suas ferramentas. A Figura 2.11 mostra o resultado dessa conversão, utilizando-se como ferramenta de visualização a interface gráfica do SUMO.

De posse de tal rede rodoviária, é possível, por exemplo, definir uma demanda de veículos e suas rotas utilizando ferramentas como **jtrrouter**, **duarouter** e **marouter**, e estudar o consumo de combustível e o nível de emissão de gases nessa região específica da cidade de Belo Horizonte.

### netgenerate

Além de permitir a importação de redes rodoviárias a partir de serviços de mapeamento, o SUMO possibilita a criação de redes rodoviárias abstratas, tais como redes em grade ou redes aleatórias, conforme ilustrado na Figura 2.12.

Essas redes foram geradas utilizando-se os comandos abaixo, os quais especificam basicamente o tipo de rede que deverá ser gerada e o nome do arquivo em que a definição da rede deverá ser armazenada. É importante ressaltar que esta ferramenta possui uma

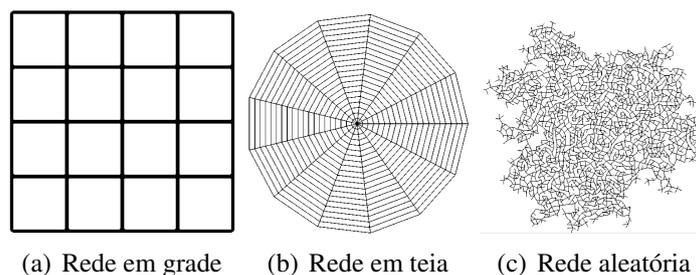


Figura 2.12: Exemplos de redes rodoviárias abstratas geradas utilizando-se a ferramenta `netgenerate`

série de parâmetros que permitem alterar o formato da rede gerada. Para mais informações, consultar a documentação do `netgenerate`.

```
netgenerate -g -o grid.net.xml
netgenerate -s -o spider.net.xml
netgenerate -r -o random.net.xml
```

## TraCI

O TraCI é uma interface de programação para o SUMO que possibilita o acesso à simulações que estão sendo executadas. O TraCI permite, por exemplo, recuperar ou modificar valores dos objetos da simulação de maneira online, ou seja, durante a execução da simulação. O TraCI utiliza uma arquitetura do tipo cliente/servidor, onde o SUMO funciona como um servidor e um programa externo (por exemplo, um *script* em Python ou um simulador de redes de comunicação) funciona como cliente, conforme ilustrado na Figura 2.13.

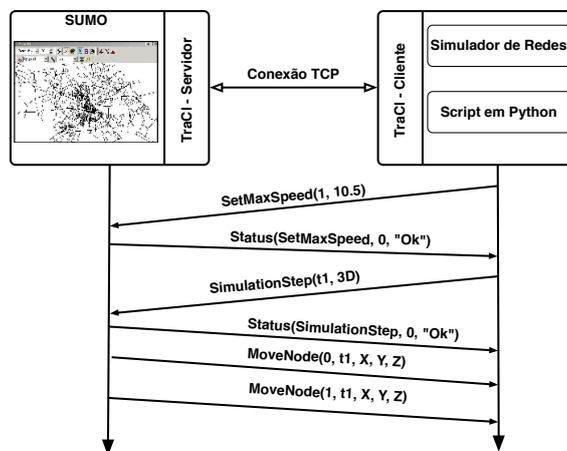


Figura 2.13: Arquitetura do TraCI

O cenário típico para a utilização do TraCI é a simulação de uma rede VANET. Neste cenário, dois simuladores trabalham em conjunto. De um lado, atuando como o servidor, está o simulador de tráfego, que no caso do TraCI sempre é o SUMO. Do outro lado, atuando como cliente, está um simulador de redes habilitado para utilizar a interface de programação do TraCI, como por exemplo, o simulador de redes Veins, que será apresentado na próxima seção. O simulador de redes é responsável por modelar todos os aspectos relacionados à comunicação de dados, como por exemplo, a troca de pacotes entre veículos, a perda de pacotes como resultado de colisões, atenuação de sinal, erros de bits, etc. Já o simulador de tráfego recebe, por exemplo, o tempo de simulação atual e fornece para o simulador de redes, utilizando a interface do TraCI, a localização atualizada dos veículos, que são determinadas obedecendo as condições de tráfego e modelos de mobilidade que estão sendo simulados no SUMO.

A grande vantagem em se utilizar o TraCI é que ele permite alterar os parâmetros dos objetos de simulação do simulador de tráfego (SUMO) a partir do simulador de redes. Neste cenário, é possível, por exemplo, que após a troca de dados entre veículos, o simulador de redes envie um comando para o SUMO alterar a rota de um veículo ou um conjunto de veículos, com o objetivo de evitar uma área congestionada. Perceba que o TraCI aumenta a flexibilidade dos cenários e aplicações que podem ser simuladas em um simulador de redes. Na abordagem tradicional, um *trace* estático de mobilidade com as posições dos veículos para todos os instantes de simulação é fornecido como entrada para um simulador de redes. Neste caso específico, os aspectos de mobilidade não podem ser alterados durante a simulação, inviabilizando o estudo de alguns tipos de aplicações de Sistemas de Transportes Inteligentes.

### 2.4.3. Veins

Veins<sup>3</sup> é um *framework* de simulação de redes de comunicação composto por um conjunto de modelos especificamente desenvolvidos para o estudo de redes veiculares. A execução destes modelos é realizada pelo simulador de eventos discretos OMNeT++<sup>4</sup> em conjunto com o simulador de tráfego SUMO. A Figura 2.14 mostra a estrutura geral do Veins. Por se tratar de um *framework* de simulação, o Veins serve como base para o desenvolvimento de aplicações específicas. No entanto, como o Veins é composto por vários modelos, é possível utilizá-lo apenas agrupando os modelos disponíveis e modificando alguns poucos parâmetros, o que facilita o estudo de aplicações de Sistemas de Transporte Inteligentes.

No Veins, cada simulação é realizada executando-se dois simuladores em paralelo: o OMNeT++, para a simulação da rede de comunicação, e o SUMO, para a simulação do tráfego de veículos e pedestres. Ambos os simuladores se comunicam através de um *socket* TCP e o protocolo de comunicação adotado é definido pelo TraCI, conforme apresentado na seção anterior. Isso permite a simulação em conjunto tanto de aspectos de comunicação de dados quanto de aspectos de tráfego e mobilidade. O movimento de veículos no simulador de tráfego SUMO é refletido pelo movimento de nós no simulador de redes OMNeT++. Portanto, a interação com o simulador de tráfego permite, por exemplo, simular a influência da comunicação entre veículos no trânsito. O interessante é que no

---

<sup>3</sup>veins.car2x.org

<sup>4</sup>omnetpp.org



## Modelo de Propagação de Sinal

Modelos precisos de propagação de sinal são fundamentais para o estudo de Sistemas de Transporte Inteligentes. Normalmente, assume-se que o sinal se propaga em condições livres de qualquer tipo de interferência, o que não representa um cenário realístico. Portanto, o Veins implementa o modelo de propagação de sinal Two-Ray Interference, o qual captura de maneira mais realista efeitos como reflexão de sinal [Sommer et al. 2012].

## Atenuação de Sinal por Obstáculos

Transmissões de rádio são enormemente afetadas por efeitos de atenuação de sinal. Capturar de maneira precisa estes efeitos é de suma importância no estudo de aplicações de Sistemas de Transporte Inteligentes, especialmente em ambientes urbanos, onde os prédios bloqueiam a propagação dos sinais de rádio. Diante disso, o Veins inclui um modelo de atenuação de sinal causado por obstáculos que captura de maneira realista o efeito de bloqueio de sinal causado por prédios, conforme ilustrado na Figura 2.16.

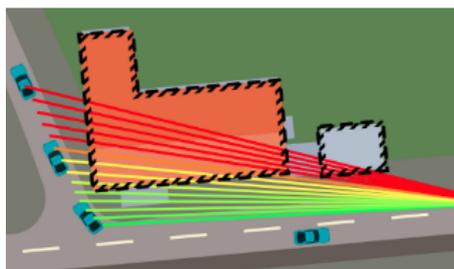


Figura 2.16: Modelo de atenuação de sinal causado por obstáculos que é utilizado no Veins. Fonte: [Vei ]

## 2.5. Desafios e Oportunidades

Nesta seção serão apresentados os principais tópicos de pesquisa atuais relacionados com Sistemas de Transporte Inteligentes. Para cada um dos tópicos também serão elencados os principais desafios e oportunidades de trabalhos futuros.

### 2.5.1. Infraestrutura de ITS

O cenário dinâmico em que consiste um sistema de transporte é devido à grande mobilidade de seus componentes no ambiente urbano. Embora a mobilidade de pessoas e mercadorias exista há muitos anos, nunca havia alcançado taxas de tão grande escala como a dos tempos atuais. Sendo assim, os problemas enfrentados desde tempos remotos como acidentes, congestionamentos ou situações de perigo também se agravaram com este crescimento.

Com o avanço da tecnologia, os meios de comunicação passaram por uma grande evolução; migrando do rádio, placas de aviso e alertas dos próprios motoristas para dispositivos como computadores de bordo, sensores, telefones celulares, que podem receber notificações em tempo real através de comunicação sem fio. Novas tecnologias permitem uma comunicação mais imediata e dinâmica.

Os sistemas inteligentes de transporte possuem a flexibilidade de adotar uma arquitetura híbrida na qual é possível operar em plena conectividade à Internet, através do uso de infraestrutura, ou assumindo total autonomia do sistema, de forma *ad hoc*. Esta arquitetura possui benefícios como escalabilidade e redução de atraso, mas enfrenta diversos desafios para atuar de maneira eficiente e garantir qualidade e segurança, além de representar um custo adicional nem sempre praticável.

Como parte integrante desta arquitetura, podemos destacar os principais componentes como sensores, OBUs (*on-board units*), RSUs (*road side units*), GPS (global positioning system), semáforos inteligentes, pontos de acesso, dispositivos portáteis (celular, tablet, laptop), satélites, servidores especializados, e a própria Internet. Para garantir a comunicação entre os componentes, diversas tecnologias podem ser adotadas, tais como Wi-Fi, WiMAX, LTE, GSM, 3G, 4G, satélite, bluetooth.

Um dos maiores desafios consiste em projetar soluções de comunicação apropriadas neste conjunto heterogêneo de tecnologias disponíveis. Considerando que o sistema deve operar de maneira colaborativa, é preciso o estabelecimento de padrões que facilitem a integração dos componentes. Além disso, devido à alta mobilidade, é preciso se preocupar com uma deposição adequada de infraestrutura (por exemplo, pontos de acesso, RSUs), além de levar em consideração a tolerância à atraso e falhas, inerente a tais sistemas.

Os componentes de um sistema inteligente de transporte podem ser equipados com múltiplos tipos de transceptores sem fio, podendo se comunicar por mais de um canal de dados sem fio. O protocolo IEEE 802.11p, variante da tecnologia Wi-Fi, provê bandas alocadas para comunicação específica V2V e V2I. A comunicação pode se dar em curto alcance, possibilitando comunicação V2V e V2I, por meio de GPS e rádios DSRC – *dedicated short range communication* (criado para suportar transferência de dados em ambientes de rápida mudança de comunicação) ou longo alcance, principalmente para V2I e I2I, utilizando transceptores de dados celulares, GSM-based, GPRS, UMTS.

O trabalho [Gerla and Kleinrock 2011] destaca a importância e o papel desempenhado pela infraestrutura de Internet no contexto das redes veiculares. Por ser onipresente e prontamente disponível nos diversos ambientes urbanos, a infraestrutura de Internet cabeada pode prover suporte em diversas aplicações, seja no download de propagandas e entretenimento ou no armazenamento de dados sensorizados e enviados pelos próprios veículos. Além disso, conteúdos que já estiverem em poder de algum veículo, poderão ser também compartilhados por conexões P2P oportunísticas entre os veículos e demais dispositivos. Os autores concluem que a grande tendência para Internet do Futuro é justamente a interação entre as comunicações sem fio P2P lado a lado com uma infraestrutura de suporte para o provimento adequado de aplicações e serviços. Entre estes, destacam-se principalmente: segurança de navegação, eficiência de navegação, entretenimento, monitoramento dos veículos, sensoriamento urbano, sensoriamento participativo e emergências.

A seguir, destacamos alguns trabalhos que fazem uso de infraestrutura integrada às redes *ad hoc*, demonstrando como um sistema inteligente de transporte pode se tornar mais completo e eficiente com o uso de uma arquitetura híbrida, além dos desafios a serem superados.

A deposição de RSUs utilizadas na comunicação V2I através do protocolo IEEE

802.11p é estudada no trabalho de [Gozálvez et al. 2012]. O objetivo principal consiste na análise dos impactos de características urbanas, juntamente com a deposição adequada de RSUs e das configurações de comunicação para garantir que a comunicação V2I obtenha sucesso. Os resultados apresentados para um conjunto vasto de testes conduzidos na cidade de Bolonha demonstram que a qualidade da comunicação V2I através do IEEE 802.11p é fortemente afetada pelo layout das ruas, elevação do terreno, árvores e vegetações, densidade do tráfego, presença de veículos pesados sendo necessário levar tais fatores em consideração na adequada deposição de RSUs e configuração de rádio. Os autores propõem diretrizes a serem seguidas para uma deposição eficiente no projeto de redes veiculares.

Em [Jeong et al. 2010], o problema de entrega de dados I2V é investigado, e consiste em estimar com precisão a posição de destino, considerando o encontro temporal e espacial do pacote e do veículo de destino. A solução proposta, protocolo TSF (Trajectory-based Statistical Forwarding), utiliza uma distribuição de atraso de pacote e uma distribuição de atraso do veículo para selecionar um ponto alvo visando minimizar o atraso de entrega do pacote enquanto satisfaz a probabilidade de entrega de pacote requisitada pelo usuário. É considerada a instalação de RSUs como infraestrutura, veículos equipados com OBUs e comunicação DSRC, GPS presente tanto nos veículos quanto nos nós estacionários e conhecimento da trajetória pelo veículo, que é compartilhada na Internet periodicamente através de pontos de acesso.

O uso de infraestrutura no projeto de sistemas inteligentes de transporte é explorado em diversos trabalhos da literatura. O uso de RSUs pode ser encontrado em [Peng et al. 2006, Trullols et al. 2010]. A fusão de VANET e cloud computing é abordada em [Olariu et al. 2011, Hussain et al. 2012, He et al. 2014]. Mecanismos de segurança são tratados em [Plöbl and Federrath 2008, Studer et al. 2009].

### **2.5.2. Coleta e Qualidade de Dados**

Hoje em dia, os veículos modernos têm sistemas embarcados de alta tecnologia que objetivam melhorar a segurança da condução, o desempenho e o consumo de combustível. Para alcançar esses objetivos, os fabricantes têm investido tanto na quantidade quanto na qualidade dos sensores que os veículos possuem [Fleming 2001]. Atualmente, um veículo coleta informações de centenas de sensores que estão conectados à Unidade de Controle do Motor (*Engine Control Unit* – ECU) através de uma rede interna de sensores com fio [Qu et al. 2010] e os dados de saída são acessíveis por meio de uma interface *On-Board Diagnostic* (OBD).

Os sistemas de controle de direção dos veículos modernos dependem fortemente dos dados coletados dos sensores embarcados. Esses sistemas permitem controlar a sua estabilidade e contribuem para uma condução mais segura. Os dados de sensores estão disponíveis através da interface OBD, que foi introduzida para fins regulatórios e de manutenção, mas tem sido explorada para diversas outras finalidades devido às informações que disponibiliza.

Parte dos dados coletados dos sensores dos veículos não representam informações relevantes, do ponto de vista de direção, para os motoristas, uma vez que a maioria desses dados é usada pela ECU e não tem um significado claro para o motorista comum (e.g.,

sensor de oxigênio e pressão de combustível). Além disso, os sensores que indicam informações significativas para o condutor são apresentados por indicadores existentes nos veículos como, por exemplo, rotações por minuto, velocidade e temperatura do motor.

Desse modo, o desafio é extrair informações úteis dos sensores veiculares com o objetivo de correlacioná-los com variáveis internas e externas, possibilitando fornecer serviços personalizados para os motoristas e um sistema de transporte. Para melhor exemplificar o assunto tratado nessa seção, foram coletados dados a partir de adaptadores Bluetooth conectados à interface OBD e *smartphones*.

A interface OBD-II foi introduzida para padronizar o conector físico, os protocolos e o formato das mensagens com as quais eles lidam. O sistema é geralmente empregado para monitorar e regular as emissões de gás e está presente em todos os carros produzidos na Europa e nos Estados Unidos desde 1996 e, no Brasil, desde 2010. A interface OBD também auxilia os serviços de manutenção, ao rastrear a origem de problemas mecânicos [Lin et al. 2009]. Ao possibilitar o armazenamento dos códigos de falha do motor, essas informações fornecem aos mecânicos um histórico de problemas do veículo e possíveis fontes associadas. A Figura 2.17 ilustra o processo de coleta: os dados adquiridos, dos sensores, por meio da interface OBD são transferidos para um *smartphone* com o sistema operacional Android, onde são processados e registrados.



Figura 2.17: Esquema de coleta de dados usando a interface OBD e o *smartphone*

Tabela 2.1: Protocolos utilizados com a interface OBD

Protocolos	Taxa de Transferência
SAE J1850 PWM	41.6 kbit/s
SAE J1850 VPW	10.4 kbit/s
ISO 9141-2	10.4 kbit/s
ISO 14230 KWP 2000	10.4 kbit/s
ISO 15765 CAN	250 or 500 kbit/s

A Tabela 2.1 apresenta os cinco protocolos permitidos com a interface OBD. Todos esses protocolos usam o mesmo conector OBD, porém os pinos têm funções diferentes exceto os que fornecem alimentação da bateria. Os dados coletados dos sensores do veículo estão disponíveis através dos PIDs do OBD. A Tabela 2.2 mostra algumas das informações disponibilizadas via *smartphone*, veículo e também dados fornecidos por sensores virtuais (cujos valores são gerados a partir de dados de sensores físicos e processamento matemático e fusão de dados). Existem também outras centenas de sensores que podem ser acessados através dos PIDs, alguns dos quais são definidos pelos padrões OBD e outros pelos fabricantes dos veículos.

É importante notar que dados provenientes de sensores físicos estão inerentemente sujeito a erros causados por diversos motivos, entre eles a precisão do próprio sensor, o registro dos valores lidos em arquivos e até mesmo falhas no funcionamento tanto do veículo como do sensor [Rettore et al. 2016]. Sendo assim, a primeira etapa do processamento e análise dos dados de sensores virtuais é a sua verificação para garantir que estejam de acordo com os eventos que foram medidos. Entre os fenômenos observados nessa etapa estão dados discrepantes ou *outliers*, informações conflitantes de dois ou mais sensores,

Tabela 2.2: Amostra de dados coletados da ECU e do *smartphone*

Dados Coletados				
<i>Smartphone</i>		<i>Veículo</i>		<i>Sensor Virtual</i>
Data/Hora	Distância da Viagem	Torque	Rotações Por Minuto	Aceleração
GPS	Nível de Combustível Restate	Fluxo de Combustível	Velocidade	Tempo de Reação
Velocidade (GPS)	Temperatura do Ambiente	Temperatura do Motor	Média de CO <sub>2</sub>	Força de Atrito do Ar
GPS HDOP	Custo do km no Inst (R\$)	Voltagem	CO <sub>2</sub> Instantâneo	Marcha
Bússola	Custo da Viagem (R\$)	Nível de Combustível	Posição do Pedal	
Giroscópio	Barômetro	Temperatura de Entrada do Ar	Média de KPL	
Altitude		Média de KPL da Viagem	KPL Instantâneo	

dados incompletos, ambíguos e correlatos. Feita a verificação dos dados, é possível aplicar a fusão de dados, que têm como objetivo obter novos valores com um significado mais importante que os dados individuais, sem que os resultados obtidos sejam prejudicados pela fonte de informação.

### 2.5.3. Caracterização de Dados

A informação sobre o contexto dos veículos é fundamental para melhor compreender os padrões de tráfego, o comportamento dos condutores e os padrões de mobilidade de uma cidade. Um exemplo de informação contextual gerada pelos dados coletados dos sensores dos carros é apresentado por Ganti et al. [Ganti et al. 2010], onde o consumo de combustível em toda a cidade foi inferido a partir das leituras de alguns carros. Para determinar quais sensores - individualmente ou combinados - representam melhor o contexto onde o veículo se insere, é necessário, primeiramente, caracterizar os dados das leituras em contextos previamente conhecidos. Para isso, é fundamental que os conjuntos de dados sejam devidamente anotados.

Atualmente, não existem conjuntos de dados publicamente disponíveis contendo um número significativo de leituras de sensores veiculares, desse modo, para demonstrar o comportamento destes dados, um adaptador OBD Bluetooth foi instalado em um veículo para coletar as leituras de seus sensores. Para caracterizar os dados desses sensores, foram selecionados uma amostra de trajeto que compreende uma viagem entre duas cidades – Belo Horizonte e Pedro Leopoldo, MG - Brasil – a 40 km de distância e em condições normais de tráfego.

No processo de coleta, um passo importante é identificar os dados que fornecem informações valiosas sobre o veículo. No estudo de caso, 25 variáveis foram monitoradas, mas apenas 16 destas foram analisadas. Sendo, algumas leituras diretas dos sensores do veículo, outras baseadas em processamentos dos dados coletados (sensores virtuais) e outras utilizam os sensores do *smartphone*. Estas variáveis representam linhas e colunas da matriz de correlação par-a-par da Figura 2.18.

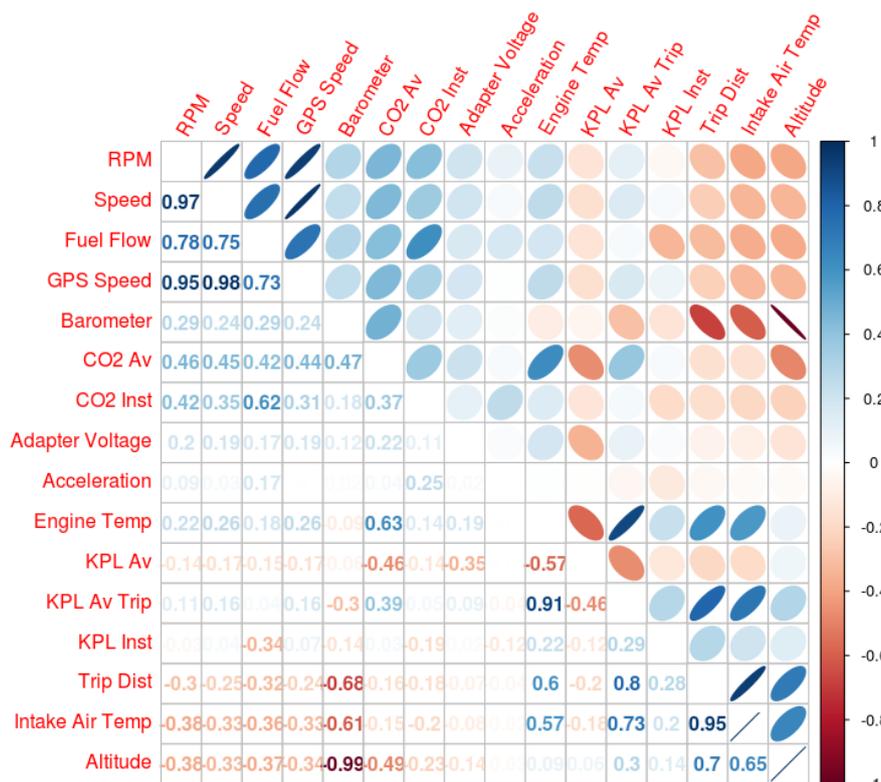


Figura 2.18: Correlação entre sensores

As variáveis que são diretamente coletadas do veículo por meio do scanner OBD são:

1. *Intake Air Temp*: temperatura do ar utilizado na mistura de ar e combustível.
2. *Engine Temp*: temperatura atual do líquido de arrefecimento do motor.
3. *Adapter Voltage*: tensão no módulo de controle.
4. *CO2 Inst*: emissão instantânea de CO<sub>2</sub> do motor.
5. *Fuel Flow*: fluxo de combustível usado pelo motor em um instante.
6. *Speed*: velocidade indicada pelo odômetro.
7. *RPM*: número de rotações do motor por minuto.

As variáveis obtidas a partir de processamentos matemáticos, conhecidas como variáveis virtuais são:

1. *Trip Dist*: distancia percorrida da viagem.
2. *KPL Av Trip*: consumo médio de combustível em quilometro por litro da viagem.

3. *KPL Av*: consumo médio de combustível em quilometro por litro.
4. *Acceleration*: variação da velocidade entre duas observações.
5. *KPL Inst*: consumo instantâneo de combustível em quilometro por litro.
6. *CO2 Av*: média de emissões de CO<sub>2</sub> do motor.

Finalmente, as variáveis obtidas dos sensores embarcados no *smartphone* são:

1. *Altitude*: altitude instantânea do veículo.
2. *Barometer*: pressão atmosférica instantânea.
3. *GPS Speed*: velocidade medida pelo sensor GPS.

A Figura 2.18 também mostra a correlação baseada no *Pearson Product Moment Correlation* (PPMC), entre todos esses sensores em uma viagem. Como a matriz de correlação é simétrica, um lado mostra os valores explícitos da correlação e o outro lado, o mesmo valor é visualmente apresentado como uma elipse, pois corresponde a uma distribuição bivariada com o mesmo valor de correlação. Assim, visualmente, elipses próximas a linhas retas representam dois sensores estritamente correlatos, que podem ser diretas ou inversamente correlacionados, dependendo da direção da linha. Por outro lado, sensores pouco relacionados são representados por um círculo quase invisível, devido à escala de cores e o grau de correlação. Foram considerados altos valores de correlação entre 0.5 a 1.0 ou  $-0.5$  a  $-1.0$ , correlação média entre 0.3 a 0.5 ou  $-0.3$  a  $-0.5$ , baixa correlação entre 0.1 a 0.3 ou  $-0.1$  a  $-0.3$  e não correlacionados quando igual a 0.

Em uma observação mais detalhada da matriz de correlação, são apontados na Figura 2.19 os quatro diferentes tipos de correlação em seus respectivos graus. Por exemplo, a Figura 2.19(A) representa uma alta correlação entre a velocidade medida pelo GPS e velocidade medida pelo sensor do veículo, destacando uma relação linear. Contudo, alguns pontos não estão alinhados com o relacionamento, isso acontece devido a erros e diferenças nas leituras dos sensores. Outro exemplo de alta correlação está na Figura 2.19(B), que mostra a relação entre pressão atmosférica (identificada como “Barômetro”) e altitude. É conhecido que a pressão atmosférica é inversamente proporcional à altitude, assim a relação é quase linear  $-0,99$ .

A Figura 2.19(C) mostra baixa correlação entre  $-0.1$  a  $-0.3$ . No entanto, a curiosidade é que o gráfico de dispersão apresenta algo semelhante a uma distribuição exponencial. Esta figura mostra que quanto menos litros são consumidos por quilômetro, mais gases são emitidos. Outro ponto é que as emissões de dióxido de carbono mais baixas ocorrem com o menor consumo de combustível (mais quilômetros por litro) e pode caracterizar momentos em que o motorista para de acelerar.

Finalmente, no extremo da matriz de correlação, é apresentado na Figura 2.19(D) um par de variáveis sem correlação, representado por um coeficiente de correlação de Pearson de  $-0.08$ . A relação entre a tensão da bateria e a temperatura do ar de admissão não representa informação relevante. Uma vez que, a tensão da bateria tem seu comportamento

afetado pela aceleração do veículo. Em outras palavras, o alternador funciona com o movimento do veículo e é usado para carregar a bateria e para alimentar o sistema elétrico do veículo. Ao mesmo tempo, o sensor de temperatura do ar de admissão não é afetado pela tensão da bateria.

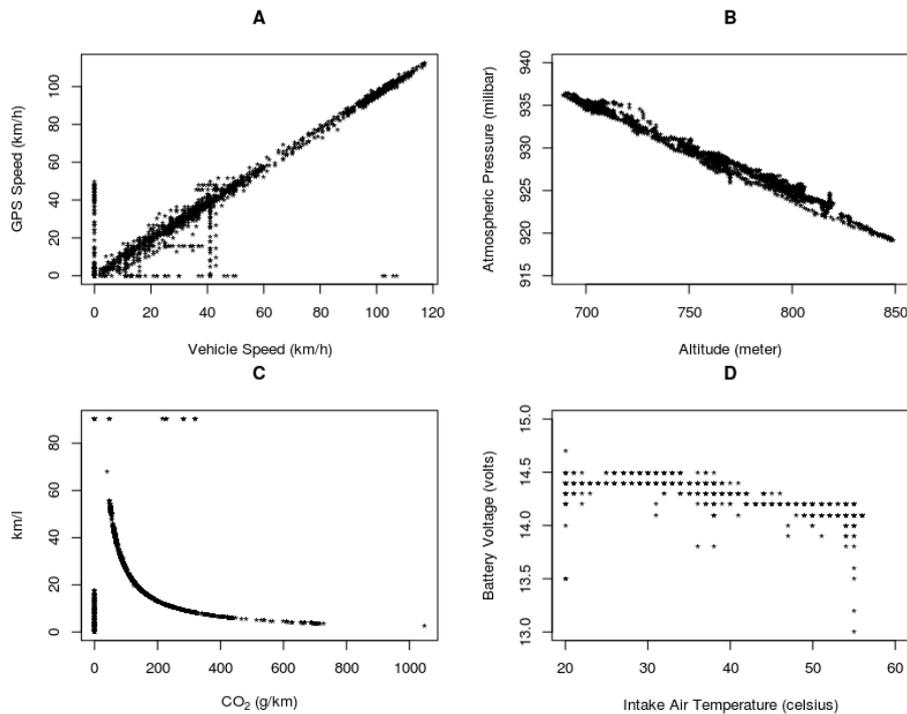


Figura 2.19: Exemplos de correlações entre pares de sensores

Durante o tempo de coleta, foram capturados uma variedade de situações de tráfego: ambientes urbanos com vários níveis de tráfego, rodovias, greves e estradas bloqueadas. Como exemplo das observações realizadas, algumas das leituras dos sensores de sua viagem são ilustradas na Figura 2.20 e representam o estado do veículo. Foi considerado como o estado do veículo, a percepção do contexto em que se localiza através de suas leituras de sensores. No gráfico, as cores das colunas dividem a linha do tempo em cenários: tráfego urbano na cidade de origem, tráfego rodoviário, rotas de acesso à cidade de destino - chamada “Transição” e tráfego urbano na cidade de destino.

O ambiente urbano é caracterizado pelo comportamento da velocidade do veículo, que não sobe acima de 60 km/h, devido à legislação e densidade de tráfego. Esta densidade também é visível no final da linha do tempo, quando o tráfego da cidade de destino é mais intenso e, assim, os carros se movem em um movimento conhecido como parada e arrancada (*stop-and-go*), ou seja, paradas em semáforos ou cruzamentos, movendo nas oportunidades, até que novamente paradas ocorram. Esse tipo de comportamento reflete-se nas linhas horizontais em 0 km/h nos ambientes urbanos, seguidos por pequenos picos de velocidade. A aceleração, que é a variação da velocidade ao longo do tempo, também se comporta diferente nessas situações. Devido à constante aceleração e desaceleração do carro, a variação de velocidade é maior em tais situações.

Por outro lado, a parte rodoviária da viagem mostra um comportamento diferente.

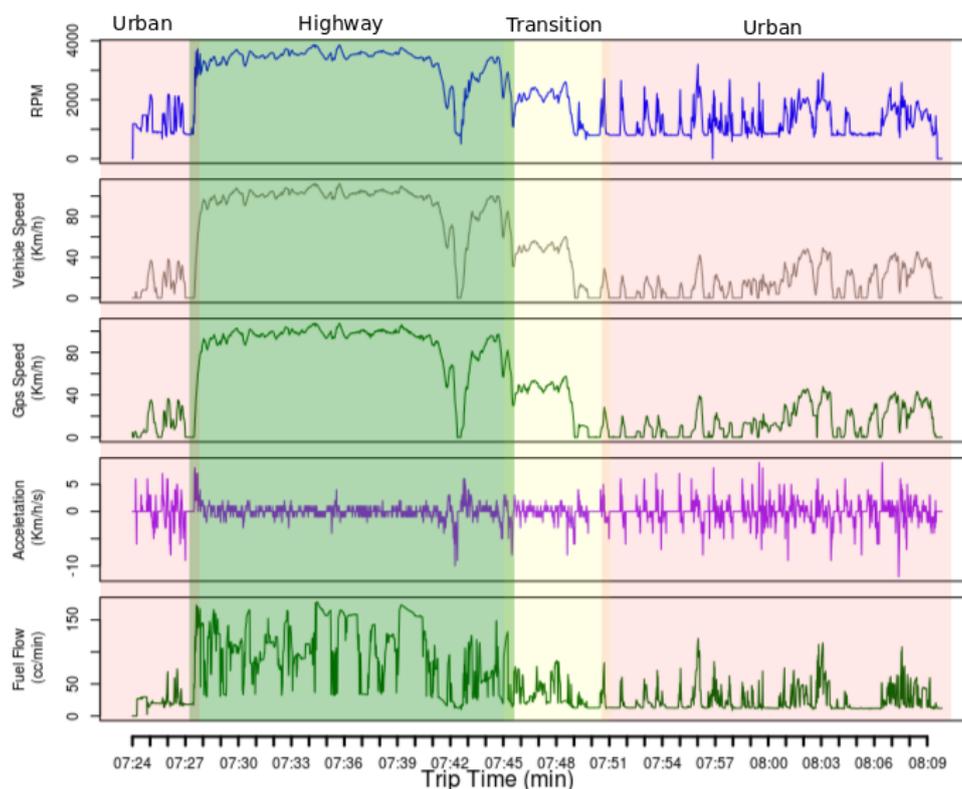


Figura 2.20: Comportamento dos sensores (RPM - Velocidade - Aceleração - Fluxo de Combustível) ao longo do trajeto

A velocidade é constantemente alta e não há grandes intervalos entre aceleração ou desaceleração e a velocidade raramente reduz abaixo de 60 km/h. Para manter o veículo em movimento a velocidades altas, o motor também deve trabalhar mais, traduzido em RPMs mais altas, que também apresentam valores diferentes dos cenários urbanos. Mesmo assim, existem alguns pontos no trânsito urbano onde o motor gira a mais de 3000 vezes por minuto, estas ocorrências são raras e não duram tanto quanto na rodovia, que por aproximadamente 15 minutos as rotações não foram muito inferiores a este valor. Um aspecto único, do cenário de rodovia, detectado nestes dados corresponde ao fluxo de combustível, que é significativamente mais alto, mas não constante quanto o RPM ou a velocidade. Esse comportamento pode refletir a condição da estrada, variações de altitude e pressão atmosférica, torque exigido a cada instante ou até mesmo qualidade do combustível e questões mecânicas do automóvel.

Em resumo, o que se pode notar é que uma caracterização mais detalhada pode ser aplicada com o objetivo de melhor entender a dinâmica desses dados. Por exemplo, a identificação e distinção entre engarrafamentos, greves, bloqueios de estradas e acidentes em uma área urbana e rodovia são questões em destaque e exigem ampla investigação.

#### 2.5.4. Mobilidade e Trânsito

Problemas relacionados à urbanização, principalmente quanto a mobilidade humana e ao trânsito, são uns dos principais desafios de pesquisa relacionados com a qualidade de

vida das pessoas e ao meio ambiente nas cidades. Nesse sentido, diversos esforços têm sido feitos para reduzir congestionamentos, proporcionar meios seguros de locomoção, reduzir poluição ambiental, reduzir poluição sonora, entre outros objetivos. Os sistemas inteligentes de transporte podem desempenhar um papel fundamental no provimento de soluções tecnológicas para se alcançar tais objetivos.

Um desafio é entender a dinâmica das cidades. Graças a popularização de dispositivos com a capacidade de sensoriamento e a evolução dos ITS, um enorme volume de dados tem sido gerado e disponibilizado para análise do comportamento das entidades (e.g., veículos, pessoas) nas cidades, facilitando assim o entendimento da mobilidade humana e o comportamento do trânsito ao longo dos dias. Por exemplo, o Portal Data.rio<sup>5</sup> fornece vários conjuntos de dados abertos que podem ser livremente utilizados para o estudo da mobilidade na cidade do Rio de Janeiro, como foi realizado em [da Cruz et al. ].

Outras fontes de dados como redes sociais e aplicativos (*Waze*<sup>6</sup> e *Bing Maps*<sup>7</sup>) são uma poderosa forma de coleta de dados para o estudo da mobilidade e trânsito. Por exemplo, [Silva et al. 2014] analisaram dados de redes sociais (*Instagram*<sup>8</sup> e *Foursquare*<sup>9</sup>) para estudar a dinâmica das cidades, destacando as regiões mais visitadas pelos usuários em diferentes horários do dia. [Tostes et al. 2013] utilizaram dados do *Bing Maps* para analisar e prever pontos de congestionamentos em Chicago nos Estados Unidos. Esses trabalhos mostram como a disciplina de análise de dados pode ser interessante para facilitar o entendimento da dinâmica das cidades. Por exemplo, identificar quais as principais vias utilizadas pela população, coletar informações sobre a demanda de veículos privados e públicos, descobrir quais as causas dos congestionamentos, entre outros questionamentos. Além disso, existem diversas oportunidades relacionadas com a utilização de fontes heterogêneas de dados, manipulação e processamento de grande volume de dados e técnicas para sumarizar e entender esses dados.

Além da análise para entender a mobilidade da população nas cidades, uma outra perspectiva importante é o oferecimento de serviços que permitam otimizar recursos e utilizar eficientemente os meios de transportes, considerando as particularidades de cada cidade tais como dimensão territorial e populacional, relevo, cultura, entre outros aspectos. Nesse sentido, o restante dessa seção concentra-se em expor soluções existentes no domínio da mobilidade e trânsito, destacando as principais oportunidades e desafios associados a elas.

**Mobilidade compartilhada.** Nesse caso, novas soluções de transportes permitem os usuários utilizarem sistemas de meios de transporte compartilhados por um certo tempo tais como carros e bicicletas. Geralmente, nesses sistemas, os veículos estão disponíveis em estações e os usuários podem utilizá-los pagando uma taxa. Nesse contexto, diversos desafios de pesquisa estão relacionados. [Yang et al. 2016] propuseram um método preditivo para balanceamento de bicicletas nas estações com base no estudo de dados de mobilidade em Hangzhou na China. Em [Chen et al. 2015], os autores utilizaram diversas

---

<sup>5</sup>Data.rio - <http://data.rio/>

<sup>6</sup><http://www.waze.com/>

<sup>7</sup><http://www.bing.com/maps/>

<sup>8</sup><http://www.instagram.com/>

<sup>9</sup><http://www.foursquare.com/>

fontes de dados para explorar o problema de alocação de estações. Além dessas questões, outras oportunidades existem no sentido de investigar a demanda de veículos, monitorar em tempo-real e aumentar a segurança dos condutores, visando a redução de congestionamentos e mitigar poluição sonora e ambiental. Similarmente, alguns esforços têm concentrado em investigar o compartilhamento de veículos [Nair et al. 2013] [Boldrini et al. 2016].

**Sistemas de caronas.** Uma ocorrência comum em várias cidades é a presença condutores oferecendo caronas para diminuir custo de viagem, considerando as suas rotinas de mobilidade. Os meios de comunicações digitais potencializaram esse comportamento, pois as pessoas passaram a se organizar nas redes sociais e grupos de mensagens para planejarem as caronas, por exemplo o serviço fornecido pelo aplicativo Blablacar<sup>10</sup>. Nesse sentido, um dos principais desafios para este tipo de sistema consiste na criação de serviços de recomendação que explorem a infraestrutura de ITS como VANET e dados gerados por veículos e pessoas. Por exemplo, [Elbery et al. 2013] propuseram um sistema de planejamento de rotas e recomendação de caronas baseado em informações de redes sociais. [Monteiro de Lira et al. 2016] desenvolveram um aplicativo móvel para sugerir caronas com base na reputação de condutores e satisfação dos usuários.

**Sistemas integrados e transporte multimodal.** Refere-se em integrar os vários modos de transporte a fim de proporcionar o deslocamento de pessoas. Por exemplo, um sistema integrado entre linhas de ônibus, metrô, bicicletas ou carros compartilhados. Para tanto, diversos desafios devem ser considerados na concepção de sistemas de transportes multimodais, tais como manipulação de informação em tempo-real, análise multicritério, fazer recomendações de rotas, considerar preferências dos usuários. Em [Campigotto et al. 2017], os autores desenvolveram um sistema de recomendação de transporte multimodal que considera, além da distância mais curta e menor tempo de viagem, as preferências dos usuários.

**Tecnologias de suporte.** A popularização de *smartphones* potencializou o desenvolvimento de aplicativos móveis que fornecem serviços tanto para deslocamento (e.g., Uber<sup>11</sup> e o Lifty<sup>12</sup>) como para obter informações de tráfego (e.g., Waze<sup>13</sup>). Nesse sentido, novas iniciativas que explorem tecnologias de suporte (e.g., computação móvel e ubíqua, *internet* das coisas, sistemas baseados em localização) aos ITS são altamente recomendadas no cenário atual.

**Controle de tráfego.** Monitorar e controlar fluxo de trânsito de veículos (tráfego) é um importante tópico em sistemas inteligentes de transporte. [Tian et al. 2017] fizeram uma revisão de literatura de trabalhos que utilizam câmeras para monitorar e auxiliar no gerenciamento do tráfego urbano. Eles propuseram uma taxonomia de métodos para detecção, rastreamento e reconhecimento de veículos. Um outro tópico relacionado ao problema de tráfego de veículos é o controle de cruzamentos e interseções, principalmente em horários de pico, para melhorar a fluidez e segurança dos condutores e pedestres. Nesse caso, o desafio consiste em gerenciar semáforos e cruzamentos visando o sincronismo de tráfego entre vias como discutido em [Ye and Xu 2017] e [Shirazi and Morris 2017].

---

<sup>10</sup><http://www.blablacar.com.br/>

<sup>11</sup><https://www.uber.com>

<sup>12</sup><https://www.lyft.com/>

<sup>13</sup><https://www.waze.com>

**Detecção e gerenciamento de incidentes de trânsito.** Detecção e mitigação de incidentes de trânsito é uma das principais oportunidades de pesquisa no contexto de ITS, visto que pode-se explorar o grande volume de dados gerados pelos veículos ou disponibilizado por usuários por meio de aplicativos móveis e redes sociais. [Pan et al. 2013] propuseram um sistema para detecção de incidentes (e.g, acidentes, eventos esportivos) e sugestão de rotas utilizando dados de localização do veículo e informações compartilhadas por redes sociais. No entanto, existem alguns desafios em aberto como determinar espacialmente o impacto de um incidente, tempo de duração e semântica. Uma possibilidade para investigar soluções para tais desafios é utilizar diferentes fontes de dados e aplicar técnicas de fusão de dados [Castanedo 2013].

Em resumo, soluções tecnológicas em mobilidade e trânsito buscam que as pessoas gastem menos tempo no trânsito utilizando com segurança os diversos tipos de transporte, priorizando o consumo consciente de recursos energéticos e diminuindo o impacto ambiental.

### 2.5.5. Segurança e Privacidade

Nesta seção será apresentada uma visão geral de segurança aplicada ao contexto de ITS. Para tanto, o conteúdo apresentado a seguir é baseado na RFC 3552 que descreve boas práticas de segurança na Internet [Rescorla and Korver 2003], no relatório técnico que reporta recomendações sobre *cyber* segurança e resiliência em sistemas de transporte público inteligente [Levy-Bencheton and Darra 2015] e, finalmente, baseando-se nas análises de segurança de informações para ITS apresentadas em [Biesecker et al. 1997].

Para que o ITS seja seguro é preciso estabelecer quais são os componentes de segurança. Neste minicurso são considerados apenas 3 componentes de segurança, porém sem perda de generalidade, o leitor pode encontrar em [Levy-Bencheton and Darra 2015, Biesecker et al. 1997] visões mais extensas sobre o assunto. Os componentes aqui considerados são: (i) *Objetivos* para manter o sistema seguro; (ii) *Ameaças* que podem causar prejuízos aos objetivos e; (iii) *Serviços de segurança* que visam combater as ameaças ao passo que põe o sistema em direção aos objetivos.

### 2.5.6. Objetivos de segurança para ITS

Neste minicurso serão considerados três objetivos desejáveis no contexto segurança para ITS<sup>14</sup>, sendo eles: *confidencialidade, disponibilidade e integridade*.

- **Confidencialidade:** visa assegurar que os dados e o sistema não estejam acessíveis à entidades, processo ou sistemas não autorizados. Por exemplo, não deve ser permitido que usuários comuns tenham acesso aos dados de um sistema de controle de semáforos.
- **Disponibilidade:** tem por intuito permitir o acesso aos dados e sistema à entidades autorizadas, bem como outros processos e até mesmo sistemas. Por exemplo, se uma aplicação de proteção do motorista está ativa, então os dados do veículo devem estar disponíveis e acessíveis ao provedor do serviço.

---

<sup>14</sup>Note que esses não são os únicos objetivos de um sistema de segurança para ITS. Deste modo, foram apresentados os objetivos fundamentais segundo a visão dos autores.

- **Integridade:** visa assegurar que os dados do ITS mantenham seu significado, completude e consistência. Por exemplo, os dados não podem ser alterados enquanto estão sendo roteados na rede, ou serem deliberadamente removidos ou inseridos ao sistema objetivando desvirtuar o seu funcionamento correto.

### 2.5.7. Ameaças de segurança ao ITS

De modo geral, uma ameaça é tudo que potencialmente pode causar algum problema ao sistema. As ameaças que um sistema pode enfrentar surgem de três possíveis classes de origem: *desastre natural, acidentais e intencionais*. Em ITS, as ameaças também estão presentes, deste modo, a seguir são listadas as principais ameaças, sua classe de origem e um exemplo no contexto de ITS.

**Negação de serviço:** a negação de serviço (*Denial of Service (DoS)*) acontece quando ações são tomadas para bloquear acessos ou interromper o funcionamento apropriado de um sistema. A negação de serviço pode ser gerada por eventos intencionais, acidentais ou naturais. Ameaças naturais como inundações, terremotos e outros eventos naturais podem causar a DoS. Geralmente, entretanto, a causa do DoS é devido a introdução de códigos maliciosos ou a execução ações não autorizadas que tornam o sistema indisponível. No contexto de ITS, a negação de serviço pode ser crítica, por exemplo, se um sistema de detecção direção segura se torna indisponível acidentes podem ser gerados.

**Exposição de informações (*Disclosure*):** a exposição de informações (*Disclosure*) nada mais é que a interceptação de dados sensíveis (pessoais, financeiros, etc) por entidades não autorizadas. Podendo ser classificados como exposição de informação acidental ou intencional. No contexto de ITS, a exposição pode acontecer, por exemplo, quando veículos trocam informações entre si ou entre a infraestrutura, o que cria vulnerabilidades no ITS que podem ser exploradas.

**Alteração de informações:** esta ameaça está relacionada com a adição, modificação ou remoção de informações do sistema para produzir efeitos não autorizados ao sistema. Essa ameaça pode ser causada por eventos de cunho natural, acidental ou intencional. Um exemplo do potencial negativo desta ameaça em ITS é a alteração de informações exibidas em rodovias por conteúdo incorreto ou inapropriado (ex: a troca de limites de velocidades das placas eletrônicas de sinalização).

**Acesso não autorizado (*Masquerading*):** esta ameaça tem relação ao acesso não autorizado de um usuário ou processo ao sistema, de modo que o acesso seja percebido como um acesso autêntico. Caso o usuário não autorizado ganhe acesso ao sistema ele pode obter informações confidenciais, bem como permissões exclusivas para alterar o sistema. *Masquerading* pode ser gerado por eventos acidentais ou intencionais. No que tange *Masquerading* e ITS, o usuário não autorizado poderá, por exemplo, alterar dados de rodovias, enviar informações errôneas para usuários do sistema e até mesmo interromper o funcionamento apropriado do sistema. Tudo isto tem potencial para causar sérios

problemas para o ITS e todas as entidades (usuários, processos e outros sistemas) que se relaciona com o sistema afetado.

**Retransmissão (*Replay*):** a retransmissão é a repetição de informações válidas sob circunstâncias inválidas para alcançar efeitos não autorizados ao sistema. Este tipo de ameaça pode ter impactos na integridade do sistema, principalmente no que diz respeito ao significado e consistência das informações dentro do sistema. *Replays* são gerados acidentalmente ou de modo intencional por parte de um atacante. No contexto de ITS, essa ameaça pode ser usada para retransmitir dados de identidade e crédito de uns usuários válidos (capturados de forma ilegal) para beneficiar quem obteve, ilegalmente, as informações válidas.

**Repúdio:** o repúdio é a negação de uma ação. O repúdio viabiliza que o transmissor ou receptor bloqueia a execução de uma ação. Em geral, esta ameaça atinge a integridade do sistema e é causada por eventos acidentais ou intencionais. No âmbito do ITS, o repúdio pode ocorrer geralmente em transações eletrônicas, por exemplo, suponha que o pagamento de um pedágio é automatizado, neste cenário, pode ocorrer, mesmo que acidentalmente, a não autorização do pagamento do pedágio o que acarreta na negação do prosseguimento (ação) da viagem do usuário.

**Serviços de Segurança:** desenvolver serviços de segurança é o passo natural que ocorre após o levantamento dos objetivos e ameaças de segurança. Serviços de segurança são proteções comumente empregadas para alcançar confidencialidade, disponibilidade e integridade ao sistema. Embora, as ameaças à segurança não possam ser eliminadas por uma única ferramenta ou serviço, elas podem ser prevenidas ou mitigadas através da aplicação de serviços de segurança.

Alguns serviços de segurança são listados e descritos a seguir:

- **Serviço de autenticação:** este serviço é um meio de verificar a identidade das entidades que se relacionam com o sistema. Tipicamente a própria identidade se identifica para o sistema.
- **Serviço de integridade:** este serviço dá suporte às análises sobre a integridade da informação que flui através do sistema e visa minimizar a manipulação de informações. Exemplos de serviços de integridade são a detecção e correção de erros.
- **Serviço de controle de acesso:** visa prover permissões distintas para cada entidade (usuário, processos, gerentes, etc.) dada a função que exerce no sistema. Geralmente o serviço de controle de acesso é executado após a autenticação do usuário e assim são aplicadas as regras que limitam o acesso às informações do sistema. Este serviço visa reduzir a exposição de informações e recursos (*disclosure*), alterações de informações, e negação de serviços.
- **Serviço de auditoria:** é utilizado para rastrear as atividades dos usuários do sistema. Exemplos de auditoria são registros de entrada e saída do sistema, acesso a recursos,

reconfiguração. Geralmente é realizado através de um sistema de julgamento sobre o registro de ações realizadas. Esse serviço deve estar livre de modificações e acessos não autorizadas devido a sua importância. Esse serviço também pode indicar a responsabilidade (*accountability*) de uma ação ofensiva contra o sistema, a responsabilidade de uma ação pode também ser considerada como um objetivo de segurança.

### 2.5.8. Cidades Inteligentes e Sustentáveis

Com a evolução das tecnologias, das redes veiculares e também da comunicação de redes metropolitanas, torna-se possível criar ambientes nos quais os veículos interajam com o eles e também são influenciados. Neste contexto, é possível monitorar toda a trajetória dos veículos, a densidade em cada região da cidade e também a evolução do tráfego ao longo do dia, reagindo de acordo com a demanda e eventos da cidade. Por exemplo, de acordo com a densidade de veículos em um lugar, os semáforos podem ser sincronizados de forma a evitar o engarrafamento e possíveis interrupções nas nessas vias [Barba et al. 2012].

As cidades inteligentes podem incluir serviços para coordenar os semáforos, o estacionamento, os serviços de localização do local, os serviços meteorológicos, os serviços turísticos e os serviços de emergência. Todos os serviços deve ser integrados para melhorar a precisão das informações entregues ao driver [Nam et al. 2011]. Um grande desafio neste cenário é a integração de todos os serviços, para que a cidade se torne inteligente. Para isso, é importante padronizar os protocolos de comunicação entre veículo-veículo e veículo-a-infraestrutura, de forma a garantir a conectividade entre eles independente de marca ou modelo. Além disso, é essencial a cooperação entre as redes veiculares, outras redes, e dispositivos computacionais na tarefa para coletar dados de ambiente e para melhorar os serviços prestados aos cidadãos.

Cidades inteligentes também podem trabalhar para fornecer ruas com sensores que rastreia e alertam o condutor de perigos à frente. Além disso, veículos autônomos podem fazer uso destes sensores para se guiarem e conduzirem os passageiros até o seu destino. Em [Kumar et al. 2012], os autores apresentam um *framework* que permitir a comunicação entre os sensores e veículos e viabiliza o deslocamento do carro entre a origem e o destino com segurança.

Um ponto que ganha destaque nas cidades inteligentes é a preocupação com o clima do planeta e as ações relacionadas que os seres humanos têm feito para reduzir o impacto nele. Muitos serviços e aplicações de rotas são providos à população para favorecer a locomoção de pessoas, reduzindo o consumo de combustível e a emissão de gás carbônico pelos veículos. Além disso, serviços de compartilhamento de rotas e caronas também tem recebido maior adesão [Zhu et al. 2013], pois reduzem a quantidade de veículos em circulação e por consequência a emissão de gases na atmosfera.

Em outra direção, surgem os veículos elétricos, que garante o deslocamento das pessoas além de reduzir a poluição do ar. Normalmente, os veículos elétricos são pequenos e possuem uma bateria que fornece energia para todo o veículo. No entanto, esta bateria é limitada e a sua recarga deve ser planejada com o objetivo a não comprometer a trajetória do automóvel. Neste cenário surgem a demanda de serviços que promovam uma rota mais curta, com poucos engarrafamentos e com pontos de recarga ao longo do caminho, quando

necessário [Qin and Zhang 2011].

## 2.6. Conclusões

Neste minicurso foi apresentado os principais conceitos relacionados a sistemas de transporte inteligentes. Questões relacionadas as arquiteturas existentes, padrões de comunicação em redes veiculares e integração dos sistemas com diferentes tipos de comunicação foram apontadas e discutidas, mostrando a necessidade da padronização e integração desses sistemas.

Além disso, discutimos os principais tipos de aplicações existentes em ITS, de forma a mostrar os trabalhos encontrados na literatura que já empregam esses conceitos e deixar algumas direções de novos trabalhos. Em seguida, de forma a clarear e ajudar os pesquisadores que estão iniciando na área, apresentamos uma seção que discute as principais ferramentas e simuladores usados para avaliar e projetar soluções em ITS.

Ao final, apresentamos uma discussão dos principais tópicos de pesquisa atual e também dos desafios que são encontrados em ITS com o objetivo de nortear futuras pesquisas na área. Acreditamos que existem novos desafios podem surgir na medida que esses sistemas evoluem e com a adesão de novos usuários.

## Referências

- [BMW ] Bmw intelligent parking. [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/driver\\_assistance/intelligent\\_parking.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/driver_assistance/intelligent_parking.html). Acessado em: 21/03/2017.
- [Bos ] Bosch automatic park assist. [http://www.bosch.com/en/com/boschglobal/automated\\_driving/technology\\_for\\_greater\\_safety/pagination\\_1.html](http://www.bosch.com/en/com/boschglobal/automated_driving/technology_for_greater_safety/pagination_1.html). Acessado em: 21/03/2017.
- [Vei ] Veins ivc simulator. [veins.car2x.org](http://veins.car2x.org). Acessado em: 21/03/2017.
- [IEE 2010] (2010). Ieee standard for information technology– local and metropolitan area networks– specific requirements– part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments. *IEEE Std 802.11p-2010*, pages 1–51.
- [WAV 2011] (2011). Ieee standard for wireless access in vehicular environments (wave)– multi-channel operation. *IEEE Std 1609.4-2010 (Revision of IEEE Std 1609.4-2006)*, pages 1–89.
- [Alves et al. 2009] Alves, R. S., do V. Campbell, I., de S. Couto, R., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., and Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. In *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 199–254, Recife-PE.
- [Barba et al. 2012] Barba, C. T., Mateos, M. A., Soto, P. R., Mezher, A. M., and Igartua, M. A. (2012). Smart city for vanets using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. In *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pages 902–907.

- [Bauza et al. 2010] Bauza, R., Gozalvez, J., and Sanchez-Soriano, J. (2010). Road traffic congestion detection through cooperative vehicle-to-vehicle communications. In *IEEE Local Computer Network Conference*, pages 606–612. IEEE.
- [Biesecker et al. 1997] Biesecker, K., Foreman, E., Jones, K., and Staples, B. (1997). Intelligent transportation systems (its) information security analysis. Technical report, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [Boldrini et al. 2016] Boldrini, C., Bruno, R., and Conti, M. (2016). Characterising demand and usage patterns in a large station-based car sharing system. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2016 IEEE Conference on*, pages 572–577. IEEE.
- [Boukerche et al. 2008] Boukerche, A., Oliveira, H. A. B. F., Nakamura, E. F., and Loureiro, A. A. F. (2008). Vehicular ad hoc networks: A new challenge for localization-based systems. *Computer Communications*, 31(12):2838–2849.
- [Brennand et al. 2015] Brennand, C. A., de Souza, A. M., Maia, G., Boukerche, A., Ramos, H., Loureiro, A. A., and Villas, L. A. (2015). An intelligent transportation system for detection and control of congested roads in urban centers. In *2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, pages 663–668. IEEE.
- [Campigotto et al. 2017] Campigotto, P., Rudloff, C., Leodolter, M., and Bauer, D. (2017). Personalized and situation-aware multimodal route recommendations: the favour algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1):92–102.
- [Castanedo 2013] Castanedo, F. (2013). A review of data fusion techniques. *The Scientific World Journal*, 2013.
- [CESVI 2012] CESVI (2012). Centro de experimentação e segurança viária.
- [Chen et al. 2017] Chen, J., Li, Z., Jiang, H., Zhu, S., and Wang, W. (2017). Simulating the impacts of on-street vehicle parking on traffic operations on urban streets using cellular automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 468:880 – 891.
- [Chen et al. 2016] Chen, K., Tan, G., Lu, M., and Wu, J. (2016). Crsm: a practical crowdsourcing-based road surface monitoring system. *Wireless Networks*, 22(3):765–779.
- [Chen et al. 2015] Chen, L., Zhang, D., Pan, G., Ma, X., Yang, D., Kushlev, K., Zhang, W., and Li, S. (2015). Bike sharing station placement leveraging heterogeneous urban open data. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, pages 571–575, New York, NY, USA. ACM.
- [Chiasserini et al. 2005] Chiasserini, C., Fasolo, E., Furiato, R., Gaeta, R., Garetto, M., Gribaudo, M., Sereno, M., and Zanella, A. (2005). Smart broadcast of warning messages in vehicular ad hoc networks. In *Workshop Interno Progetto NEWCOM (NoE)*.

- [Cintra 2013] Cintra, M. (2013). A crise do trânsito em são paulo e seus custos. *GV-executivo*, 12(2):58–61.
- [da Cruz et al. ] da Cruz, S. M. S., Andrade, L. S., and Sampaio, J. O. Explorando dados abertos governamentais sobre as mobilidade urbana na cidade do rio de janeiro.
- [Elbery et al. 2013] Elbery, A., ElNainay, M., Chen, F., Lu, C.-T., and Kendall, J. (2013). A carpooling recommendation system based on social vanet and geo-social data. In *Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, SIGSPATIAL'13*, pages 556–559, New York, NY, USA. ACM.
- [Faezipour et al. 2012] Faezipour, M., Nourani, M., Saeed, A., and Addepalli, S. (2012). Progress and challenges in intelligent vehicle area networks. *Communications ACM*, 55(2):90–100.
- [Fazio et al. 2013] Fazio, P., de Rango, F., and Lupia, A. (2013). Vehicular networks and road safety: An application for emergency/danger situations management using the wave/802.11 p standard. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 11(5):357.
- [Fleming 2001] Fleming, W. J. (2001). Overview of automotive sensors. *IEEE Sensors Journal*, 1(4):296–308.
- [Ganti et al. 2010] Ganti, R. K., Pham, N., Ahmadi, H., Nangia, S., and Abdelzaher, T. F. (2010). Greengps: A participatory sensing fuel-efficient maps application. In *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services, MobiSys '10*, pages 151–164, New York, NY, USA. ACM.
- [Gerla and Kleinrock 2011] Gerla, M. and Kleinrock, L. (2011). Vehicular networks and the future of the mobile internet. *Computer Networks*, 55(2):457 – 469. Wireless for the Future Internet.
- [Gozálvez et al. 2012] Gozálvez, J., Sepulcre, M., and Bauza, R. (2012). Ieee 802.11 p vehicle to infrastructure communications in urban environments. *IEEE Communications Magazine*, 50(5).
- [Hameed Mir and Filali 2014] Hameed Mir, Z. and Filali, F. (2014). Lte and ieee 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2014(1):89.
- [Hartenstein and Laberteaux 2008] Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6):164–171.
- [He et al. 2014] He, W., Yan, G., and Da Xu, L. (2014). Developing vehicular data cloud services in the iot environment. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2):1587–1595.
- [Heinovski et al. 2016] Heinovski, J., Klingler, F., Dressler, F., and Sommer, C. (2016). Performance comparison of ieee 802.11p and arib std-t109. In *2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pages 1–8.

- [Huang and Wang 2016] Huang, W. and Wang, L. (2016). Ecds: Efficient collaborative downloading scheme for popular content distribution in urban vehicular networks. *Computer Networks*, 101:90 – 103. Industrial Technologies and Applications for the Internet of Things.
- [Hussain et al. 2012] Hussain, R., Son, J., Eun, H., Kim, S., and Oh, H. (2012). Rethinking vehicular communications: Merging vanet with cloud computing. In *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2012 IEEE 4th International Conference on*, pages 606–609. IEEE.
- [IPEA 2012] IPEA (2012). Instituto brasileiro de pesquisas econômicas.
- [ISO 21217:2010 2010] ISO 21217:2010 (2010). Intelligent transport systems — communications access for land mobiles (CALM) — architecture. ISO 21217:2010, ISO TC204, Geneva, Switzerland.
- [Jeong et al. 2010] Jeong, J., Guo, S., Gu, Y., He, T., and Du, D. H. (2010). Tsf: Trajectory-based statistical forwarding for infrastructure-to-vehicle data delivery in vehicular networks. In *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2010 IEEE 30th International Conference On*, pages 557–566. IEEE.
- [Jiang et al. 2008] Jiang, D., Chen, Q., and Delgrossi, L. (2008). Optimal data rate selection for vehicle safety communications. In *Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-NETworking, ACM Conference on, (VANET'08)*, pages 30–38.
- [Jiang and Delgrossi 2008] Jiang, D. and Delgrossi, L. (2008). Ieee 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *Proceedings of the Vehicular Technology Conference, IEEE Conference on (VTC Spring'08)*, pages 2036–2040.
- [Karagiannis et al. 2011] Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., and Weil, T. (2011). Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *Commun. Surveys Tutorials, IEEE*, 13(4):584–616.
- [Kenney 2011] Kenney, J. (2011). Dedicated short-range communications (dsrc) standards in the united states. *Proceedings of the IEEE*, 99(7):1162–1182.
- [Kumar et al. 2012] Kumar, S., Shi, L., Ahmed, N., Gil, S., Katabi, D., and Rus, D. (2012). Carspeak: a content-centric network for autonomous driving. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 42(4):259–270.
- [Lee et al. 2006] Lee, U., Park, J.-S., Yeh, J., Pau, G., and Gerla, M. (2006). Code torrent: Content distribution using network coding in vanet. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Decentralized Resource Sharing in Mobile Computing and Networking, MobiShare '06*, pages 1–5, New York, NY, USA. ACM.

- [Lequerica et al. 2010] Lequerica, I., Longaron, M. G., and Ruiz, P. M. (2010). Drive and share: efficient provisioning of social networks in vehicular scenarios. *IEEE Communications Magazine*, 48(11):90–97.
- [Levy-Bencheton and Darra 2015] Levy-Bencheton, C. and Darra, E. (2015). Cyber security and resilience of intelligent public transport: good practices and recommendations. Technical report, European Union Agency For Network And Information Security (ENISA).
- [Li and Wang 2007] Li, F. and Wang, Y. (2007). Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, 2(2):12–22.
- [Lin et al. 2009] Lin, J., Chen, S., Shih, Y., and Chen, S.-h. (2009). A study on remote on-line diagnostic system for vehicles by integrating the technology of obd, gps, and 3g. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 32(8):435–441.
- [Lorch et al. 2006] Lorch, J. R., Adya, A., Bolosky, W. J., Chaiken, R., Douceur, J. R., and Howell, J. (2006). The smart way to migrate replicated stateful services. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, 40(4):103–115.
- [Massaro et al. 2017] Massaro, E., Ahn, C., Ratti, C., Santi, P., Stahlmann, R., Lamprecht, A., Roehder, M., and Huber, M. (2017). The car as an ambient sensing platform [point of view]. *Proceedings of the IEEE*, 105(1):3–7.
- [Monteiro de Lira et al. 2016] Monteiro de Lira, V., Renso, C., Perego, R., Rinzivillo, S., and Cesario Times, V. (2016). The comewithme system for searching and ranking activity-based carpooling rides. In *Proceedings of the 39th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, SIGIR '16*, pages 1145–1148, New York, NY, USA. ACM.
- [Nair et al. 2013] Nair, R., Miller-Hooks, E., Hampshire, R. C., and Bušić, A. (2013). Large-scale vehicle sharing systems: analysis of vélib'. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(1):85–106.
- [Nam et al. 2011] Nam, T., Aldama, F. A., Chourabi, H., Mellouli, S., Pardo, T. A., Gil-Garcia, J. R., Scholl, H. J., Ojo, A., Estevez, E., and Zheng, L. (2011). Smart cities and service integration. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, dg.o '11*, pages 333–334, New York, NY, USA. ACM.
- [of Transport 2016] of Transport, U. S. D. (2016). National its architecture. <http://www.iteris.com/itsarch/index.htm/>. [Online; acessado Dez-2016].
- [of Transportation 2015] of Transportation, U. D. (2015). Traffic congestion and reliability: trends and advanced strategies for congestion mitigation.
- [Olariu et al. 2011] Olariu, S., Khalil, I., and Abuelela, M. (2011). Taking vanet to the clouds. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 7(1):7–21.

- [Pan et al. 2013] Pan, B., Zheng, Y., Wilkie, D., and Shahabi, C. (2013). Crowd sensing of traffic anomalies based on human mobility and social media. In *Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pages 344–353. ACM.
- [Pan et al. 2012] Pan, J., Khan, M. A., Popa, I. S., Zeitouni, K., and Borcea, C. (2012). Proactive Vehicle Re-routing Strategies for Congestion Avoidance. In *2012 IEEE 8th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pages 265–272.
- [Paromtchik and Laugier 1996] Paromtchik, I. E. and Laugier, C. (1996). Motion generation and control for parking an autonomous vehicle. In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, volume 4, pages 3117–3122 vol.4.
- [Peng and Li 2016] Peng, L. and Li, H. (2016). Searching parking spaces in urban environments based on non-stationary poisson process analysis. In *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 1951–1956.
- [Peng et al. 2006] Peng, Y., Abichar, Z., and Chang, J. M. (2006). Roadside-aided routing (rar) in vehicular networks. In *Communications, 2006. ICC'06. IEEE International Conference on*, volume 8, pages 3602–3607. IEEE.
- [Plöbl and Federrath 2008] Plöbl, K. and Federrath, H. (2008). A privacy aware and efficient security infrastructure for vehicular ad hoc networks. *Computer Standards and Interfaces*, 30(6):390 – 397. Special Issue: State of standards in the information systems security area.
- [Qin and Zhang 2011] Qin, H. and Zhang, W. (2011). Charging scheduling with minimal waiting in a network of electric vehicles and charging stations. In *Proceedings of the Eighth ACM international workshop on Vehicular inter-networking, VANET '11*, pages 51–60, New York, NY, USA. ACM.
- [Qu et al. 2010] Qu, F., Wang, F. Y., and Yang, L. (2010). Intelligent transportation spaces: Vehicles, traffic, communications, and beyond. *IEEE Communications Magazine*, 48(11):136–142.
- [Rajabioun and Ioannou 2015] Rajabioun, T. and Ioannou, P. A. (2015). On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(5):2913–2924.
- [Rescorla and Korver 2003] Rescorla, E. and Korver, B. (2003). Guidelines for writing rfc text on security considerations. Technical report, IETF.
- [Rettore et al. 2016] Rettore, P. H., André, B. P. S., Campolina, Villas, L. A., and A.F. Loureiro, A. (2016). Towards intra-vehicular sensor data fusion. In *Advanced perception, Machine learning and Data sets (AMD'16) as part of the 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2016)*, , Rio de Janeiro.

- [Shirazi and Morris 2017] Shirazi, M. S. and Morris, B. T. (2017). Looking at intersections: A survey of intersection monitoring, behavior and safety analysis of recent studies. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1):4–24.
- [Silva et al. 2014] Silva, T. H., De Melo, P. O. V., Almeida, J. M., and Loureiro, A. A. (2014). Large-scale study of city dynamics and urban social behavior using participatory sensing. *IEEE Wireless Communications*, 21(1):42–51.
- [Sommer et al. 2012] Sommer, C., Joerer, S., and Dressler, F. (2012). On the applicability of two-ray path loss models for vehicular network simulation. In *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC '12)*, pages 64–69.
- [Studer et al. 2009] Studer, A., Shi, E., Bai, F., and Perrig, A. (2009). Tacking together efficient authentication, revocation, and privacy in vanets. In *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2009. SECON'09. 6th Annual IEEE Communications Society Conference on*, pages 1–9. IEEE.
- [Tasseron and Martens 2017] Tasseron, G. and Martens, K. (2017). Urban parking space reservation through bottom-up information provision: An agent-based analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64:30 – 41.
- [Tasseron et al. 2016] Tasseron, G., Martens, K., and van der Heijden, R. (2016). The potential impact of vehicle-to-vehicle communication on on-street parking under heterogeneous conditions. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 8(2):33–42.
- [Tian et al. 2017] Tian, B., Morris, B. T., Tang, M., Liu, Y., Yao, Y., Gou, C., Shen, D., and Tang, S. (2017). Hierarchical and networked vehicle surveillance in its: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1):25–48.
- [Timpner et al. 2016] Timpner, J., Schürmann, D., and Wolf, L. (2016). Trustworthy parking communities: Helping your neighbor to find a space. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 13(1):120–132.
- [Tostes et al. 2013] Tostes, A. I. J., de LP Duarte-Figueiredo, F., Assunção, R., Salles, J., and Loureiro, A. A. (2013). From data to knowledge: city-wide traffic flows analysis and prediction using bing maps. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*, page 12. ACM.
- [Trullols et al. 2010] Trullols, O., Fiore, M., Casetti, C., Chiasserini, C., and Ordinas, J. B. (2010). Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 33(4):432 – 442.
- [Tseng et al. 2010] Tseng, Y.-T., Jan, R.-H., Chen, C., Wang, C.-F., and Li, H.-H. (2010). A vehicle-density-based forwarding scheme for emergency message broadcasts in vanets. In *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2010 IEEE 7th International Conference on*, pages 703–708. IEEE.
- [Uzcategui and Acosta-Marum 2009] Uzcategui, R. and Acosta-Marum, G. (2009). Wave: A tutorial. *Communications Magazine, IEEE*, 47(5):126–133.

- [Wu et al. 2014] Wu, E. H. K., Sahoo, J., Liu, C. Y., Jin, M. H., and Lin, S. H. (2014). Agile urban parking recommendation service for intelligent vehicular guiding system. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(1):35–49.
- [Yang et al. 2004] Yang, X., Liu, J., Zhao, F., and Vaidya, N. (2004). A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning. In *First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04)*, pages 114–123.
- [Yang et al. 2016] Yang, Z., Hu, J., Shu, Y., Cheng, P., Chen, J., and Moscibroda, T. (2016). Mobility modeling and prediction in bike-sharing systems. In *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, pages 165–178. ACM.
- [Ye and Xu 2017] Ye, Z. and Xu, M. (2017). Decision model for resolving conflicting transit signal priority requests. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(1):59–68.
- [Yousefi et al. 2006] Yousefi, S., Mousavi, M. S., and Fathy, M. (2006). Vehicular ad hoc networks (vanets): Challenges and perspectives. In *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, pages 761–766.
- [Zaldivar et al. 2011] Zaldivar, J., Calafate, C. T., Cano, J. C., and Manzoni, P. (2011). Providing accident detection in vehicular networks through obd-ii devices and android-based smartphones. In *Local Computer Networks (LCN), 2011 IEEE 36th Conference on*, pages 813–819. IEEE.
- [Zhu et al. 2013] Zhu, J., Feng, Y., and Liu, B. (2013). Pass: Parking-lot-assisted carpool over vehicular ad hoc networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013:1–9.
- [Zuchao Wang et al. 2013] Zuchao Wang, Min Lu, Xiaoru Yuan, Junping Zhang, and Van De Wetering, H. (2013). Visual traffic jam analysis based on trajectory data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12):2159–2168.