

## Métricas de Confiabilidade para Análise Espaço-Temporal de Transmissões V2I em Ambientes Urbanos

Bruno Y. L. Kimura<sup>1</sup>, Márcio V. Barbosa<sup>2</sup>, Roberto S. Yokoyama<sup>3</sup> Valério Rosset<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT)  
Universidade Federal São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos - SP

{bruno.kimura, vrosset}@unifesp.br

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisas Eldorado, Campinas - SP

marcio.barbosa@eldorado.org.br

<sup>3</sup>Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)  
Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Cornélio Procópio - PR

yokoyama@utfpr.edu.br

**Abstract.** *In this paper, we evaluate the performance of a TCP client/server application from simulations of Drive-Thru Internet opportunistic access in public WiFi hotspots deployed on an urban environment. We observed that the use of Quality of Service (QoS) metrics for evaluating these distributed applications, when generalizing results, it leads to limited analysis of the quality of Vehicle-to-Infrastructure (V2I) transmissions. To overcome such a limitation, we apply new metrics of evaluation such as connection interval, disconnection interval, connectivity rate, and connectivity intermittency rate, which are mapped into the well-known metrics of Dependable Computing such as MTTF, MTTR, Availability, and MTBF, respectively. When looking at the transmissions under the time and space of the vehicles' displacements, we verified that the metrics of dependability can complement and better justify the evaluation from traditional metrics of QoS and, therefore, provide a wider and deeper performance analysis about the quality of V2I transmissions.*

**Resumo.** *Neste artigo, avaliamos o desempenho de uma aplicação cliente/servidor TCP a partir de simulações de acesso oportunístico de Drive-Thru Internet em Hotspots WiFi públicos implantados em um ambiente urbano. Observamos que apenas o uso de métricas de Qualidade de Serviço (QoS) na avaliação dessas aplicações distribuídas, ao generalizar os resultados, limitam a análise sobre a qualidade das transmissões Veículo-para-Infraestrutura (V2I). Para contornar essa limitação, propomos aplicar novas métricas de avaliação, como intervalo de conexão, intervalo de desconexão, taxa de conectividade e taxa de intermitência de conectividade, as quais são mapeadas nas métricas de confiabilidade bem conhecidas, como MTTF, MTTR, Disponibilidade e MTBF, respectivamente. Ao considerar a transmissão no tempo e espaço de deslocamento dos veículos, verificamos que métricas de confiabilidade permitem complementar e melhor justificar a avaliação por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise de desempenho mais ampla e detalhada quanto à qualidade de transmissões V2I.*

## 1. Introdução

Com o recente aumento na popularidade da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) e rumo à Internet de Tudo (IoE - *Internet of Everything*), a necessidade de novas formas de comunicação entre dispositivos variados têm motivado diversos setores da Indústria e Academia. Mais especificamente, na indústria automotiva, a Internet de Veículos (IoV - *Internet of Vehicles*) [Gerla et al. 2014] prevê a existência uma Rede de Comunicação Veicular que permita aos veículos atuarem como dispositivos de comunicação de alta mobilidade. Nesse sentido, a interconexão de veículos em rede possibilita a implementação de inúmeras aplicações de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*), como por exemplo [Papadimitratos et al. 2009]: serviço de Internet móvel; serviço de segurança a partir da detecção e disseminação de eventos de interesse (e.g. alertas sobre condições de tráfego, condições da pista, acidentes, vias impedidas); serviço de suporte para navegação autônoma a partir da disseminação de dados capturados de sensores de veículos (e.g. distância entre veículos, velocidade, aceleração). Para tanto, os veículos devem ser equipados com unidades de bordo (OBUs - *On-board Units*) capazes de comunicar-se entre si e com a infraestrutura de rede móvel local, sendo esses tipos de comunicação denominados, respectivamente, de comunicação entre veículos (V2v - *Vehicle-to-Vehicle*) e comunicação Veículo-para-Infraestrutura (V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*). A infraestrutura na comunicação V2I geralmente é composta por unidades de acostamento (RSUs - *Road-side Units*), que atuam como pontos de acesso à Internet implantados às margens de rodovias, ruas e avenidas.

Em ambientes urbanos, a infraestrutura de acesso móvel é comumente disponibilizada por operadoras de rede celular. No entanto, as redes celulares atualmente enfrentam um desafio de escalabilidade para atender o crescimento exponencial do tráfego de dados gerado anualmente nessas redes [Lu et al. 2016]. Esse desafio tem sido atacado com pesquisas em Redes 5G, através de estratégias de mitigação de tráfego a partir de HetNets (*Heterogeneous Networks*) - onde o tráfego de dados da rede celular é descarregado (*offloading*) em células pequenas (*small cells*) providas por estações bases de redes de acesso de pequeno alcance [Bangerter et al. 2014]. A tecnologia de comunicação mais viável para implementar as *small-cells* é o WiFi [Cimmino et al. 2014]. Segundo [Lu et al. 2016], ao operar em bandas de frequência não-licenciadas, o Wi-Fi se tornou surpreendentemente popular com milhões de *hotspots* implantados para acesso público à Internet em todo o mundo. Essa alta penetração de *hotspots* Wi-fi deve-se também ao baixo custo de implantação de pontos de acesso IEEE 802.11 e a sua dupla aplicação, servindo tanto usuários estacionários em ambientes internos (*indoor*) quanto a usuários sob mobilidade em ambientes externos (*outdoor*). Por essas razões, segundo [Lu et al. 2016] e [Cheng et al. 2014], o Wi-Fi torna-se uma ferramenta complementar e bastante atraente para realizar o *offloading* veicular, possibilitando o acesso móvel à Internet quando veículos cruzam a área sob cobertura dos *hotspots*. O uso de *hotspot* WiFi como infraestrutura de acesso móvel veicular, contudo, não é recente [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] [Bychkovsky et al. 2006]. Esse tipo de acesso oportunístico é conhecido na literatura como *Drive-Thru Internet* [Ott and Kutscher 2004].

Além de serviços críticos para segurança humana no tráfego rodoviário, uma das principais classes de aplicações veiculares que irá usufruir de acessos do tipo *Drive-Thru*

*Internet é a infortainment*<sup>1</sup>, possibilitando acesso à informação e entretenimento sobre rodas. Nessa classe, destacam-se as aplicações de download de conteúdo que, segundo [Malandrino et al. 2013], deverão ser amplamente populares entre os usuários de uma rede veicular, por exemplo: motoristas interessados em baixar mapas locais contextualizados com as condições de tráfego atual, passageiros que desejam fazer download de arquivos multimídia e/ou de informação turística da Internet. Essas aplicações, do ponto de vista de Redes de Computadores, pertencem à classe de *Bulk Transfer TCP*, pois envolvem transferência em fluxo contínuo geralmente de grandes volumes de dados entre dois sistemas finais na Internet através do protocolo TCP.

Neste artigo, avaliamos o desempenho dessas aplicações em um ambiente urbano-veicular. Para tal, simulamos uma rede veicular para acesso oportunístico de *Drive-Thru Internet* em um centro urbano, onde a infraestrutura é disponibilizada por *hotspots* Wi-Fi a partir de pontos de acesso IEEE 802.11. Então, avaliamos o desempenho de aplicações distribuídas cliente-servidor TCP em três diferentes cenários: 20, 40 e 80 veículos clientes em movimento realizando download de conteúdo de um servidor estacionário. A partir dos resultados das simulações, observamos que as métricas de QoS unicamente aplicadas na avaliação dessas aplicações não permitem chegar a conclusões mais precisas quanto à qualidade da comunicação observada, uma vez que generalizam os resultados e não levam em conta os diferentes percursos e instantes de deslocamentos dos veículos. Para contornar essa limitação, neste artigo propomos aplicar métricas de confiabilidade de sistemas computacionais para avaliar o desempenho de aplicações distribuídas em ambiente urbano-veicular. A partir da definição de estados de conectividade na transmissão, identificamos os intervalos de conexão, os intervalos de desconexão e o nível de intermitência de conectividade durante o tempo total de percurso dos veículos. Com isso, mapeamos essas métricas nas respectivas métricas bem conhecidas de confiabilidade MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTR (*Mean Time To Recovery*) e MTBF (*Mean Time Between Failure*), respectivamente. Verificamos que métricas de confiabilidade, ao relacionar a transmissão ao tempo e espaço de deslocamento do veículo, permitem complementar a avaliação de desempenho por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise mais ampla e detalhada sobre a qualidade das transmissões V2I.

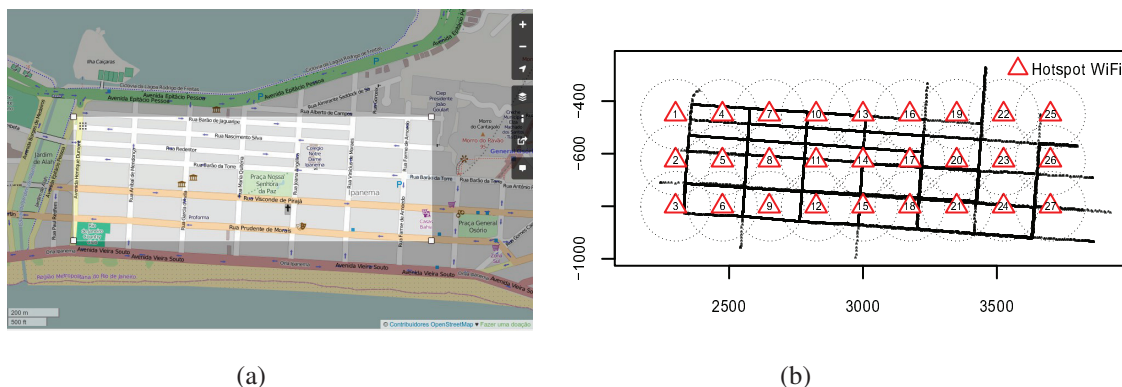
O restante deste artigo está organizado em outras mais 5 seções. A próxima seção apresenta detalhes das simulações realizadas. A Seção 3 discute as limitações de métricas de QoS na avaliação de aplicações distribuídas em ambiente urbano-veicular. A Seção 4 descreve em detalhes as métricas de confiabilidade propostas, bem como a respectiva análise dos resultados das simulações. Por fim, a Seção 6 traz as principais conclusões e um direcionamento para trabalhos futuros.

## 2. Simulação de Ambiente Urbano-Veicular

Nessa seção apresentamos os detalhes do cenário urbano, bem como as suposições sobre o modelo do sistema, configurações de rede e parâmetros utilizados nas simulações. As simulações foram realizadas considerando um número arbitrário de veículos que, durante o período de simulação, realizaram o download de conteúdo (via TCP) a partir de um servidor remoto por meio do modelo comunicação V2I. Para simular a comunicação prevista nesse cenário urbano, foi utilizado o simulador de Omnet++<sup>2</sup>. O tráfego rodoviário

<sup>1</sup>Neologismo que combina as palavras *information* e *entertainment*.

<sup>2</sup><https://omnetpp.org/>



**Figura 1. Seleção da área de simulação: (a) imagem do sistema web do OpenStreetMap na seleção da área usada na simulação; (b) gráfico resultante dos percursos realizados pelos veículos no simulador SUMO e a distribuição dos pontos de acesso dos hotspots WiFi na área.**

e a mobilidade dos veículos foram simulados pelo SUMO<sup>3</sup> (*Simulation of Urban Mobility*). Para integrar os dois simuladores e possibilitar a sincronização de eventos de rede e eventos de tráfego, foi utilizado o *framework* Veins<sup>4</sup> (*Vehicles in Network Simulation*).

## 2.1. Cenário Urbano Simulado

O SUMO permite que as simulações sejam realizadas sobre mapas reais. Para tanto, um mapa no formato adequado, contendo as informações de rotas, semáforos, ruas e obstáculos, pode ser obtido pelo serviço fornecido pelo OpenStreetMap<sup>5</sup>[Haklay and Weber 2008]. A Figura 1(a) ilustra a seleção da área do mapa exportado, que foi utilizada nas simulações. A escolha de uma parte da cidade do Rio de Janeiro, especificamente, alguns quarteirões entre a Praia de Ipanema e a Lagoa Rodrigo de Freitas, como cenário simulado neste trabalho levou em conta a qualidade da representação da cidade na ferramenta. A área do mapa corresponde a 1,388 Km<sup>2</sup>.

## 2.2. Rede Veicular de Acesso Drive-Thru Internet

Nesse cenário, as RSUs foram implantadas através de pontos de acesso em *hotspots* WiFi uniformemente distribuídos, de modo a possibilitar ampla área de cobertura para comunicação dos veículos com um servidor de distribuição de conteúdo. Portanto, o cenário caracteriza uma típica simulação de comunicação móvel infraestruturada, conforme o modelo de comunicação V2I. A Figura 1(b) apresenta a sobreposição dos percursos realizados pelos carros nas simulações. Foram definidos 27 pontos de acesso, espaçados a 175 m uns dos outros. Essa configuração foi escolhida e definida manualmente na simulação de forma a garantir cobertura de acesso móvel para que qualquer veículo tenha sinal de alcance de pelo menos um *hotspot* e possa comunicar com o servidor nos pontos trafegáveis.

<sup>3</sup>[http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation\\_of\\_Urban\\_MObility\\_-\\_Wiki](http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation_of_Urban_MObility_-_Wiki)

<sup>4</sup><http://veins.car2x.org/>

<sup>5</sup>[www.openstreetmap.com.br](http://www.openstreetmap.com.br)

Embora seja previsto o uso do padrão IEEE 802.11p para comunicação veicular, centros urbanos integrados à Internet são caracterizados por alta densidade de *hotspots* WiFi, os quais são tipicamente implantados por tecnologia convencional de redes locais sem fio por meio dos padrões IEEE 802.11b/g/n. Dessa forma, as RSUs na simulação foram implementadas por pontos de acesso 802.11g, cuja taxa de transmissão nominal da tecnologia é de 54 Mbps<sup>6</sup>. É importante ressaltar que neste trabalho o objeto de estudo é a aplicação de métricas de confiabilidade para uma melhor avaliação de desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissão veicular em V2I. Uma vez que as métricas são independentes de tecnologias de transmissão, a rede veicular poderia ser implementada por qualquer outra tecnologia de comunicação sem fio.

A topologia de rede do cenário urbano ilustrado na Figura 1 consiste em uma única rede IP, em que todos os nós (veículos clientes, pontos de acesso e servidor) estão endereçados. O servidor e cada ponto de acesso estão ligados a um *switch fast ethernet* através de enlaces cabeados de 100 Mbps. Além de os nós pertencerem à mesma rede IP, todos os pontos de acesso são configurados com o mesmo SSID (*Service Set Identifier*). Isso possibilitou que a própria camada de enlace dos pontos de acesso e dos nós móveis tratassem, de forma transparente às camadas superiores, os *handovers* durante os deslocamentos dos veículos entre os diversos *hotspots* WiFi no percurso urbano. Portanto, nas simulações não foi habilitado nenhum mecanismo de gerenciamento de mobilidade para prover tolerância a atraso e desconexões nas aplicações, como em [Kimura et al. 2014].

### 2.3. Parâmetros de Simulação

Na simulação, a aplicação distribuída de download de conteúdo prevê  $n(v)$  veículos clientes realizando download de conteúdo de apenas um nó servidor, onde o número de veículos  $n(v)$  foi variado em diferentes experimentos. A tarefa do servidor é: *i*) receber solicitação de estabelecimento de conexão TCP de um veículo cliente; *ii*) receber uma requisição de download de um conteúdo de 5 MB desse cliente; e *iii*) responder, enviando mensagem com o conteúdo solicitado em fluxo contínuo de volta para o cliente. Os veículos foram configurados para, mediante recebimento de um conteúdo, requisitarem um número máximo de 10 conteúdos. Esse volume de dados com transmissão de conteúdos em mensagens 5 MB foi escolhido para caracterizar um cenário de comunicação V2I de download através de aplicações do tipo *Bulk Transfer TCP*.

Para verificar o desempenho da rede veicular na distribuição de conteúdo através de transmissões V2I, foram realizados três experimentos variando  $n(v)$  em 20, 40 e 80 veículos. Essas quantidades de veículos foram arbitrariamente definidas, levando em conta a variabilidade desejada em termos de densidade da rede e o custo de execução da simulação. A Tabela 1 resume os principais parâmetros da simulação.

## 3. Limitações de Métricas de QoS na Avaliação de Transmissões V2I

Frequentemente, a avaliação de desempenho de sistemas distribuídos é realizada sob a perspectiva dos parâmetros de QoS. Particularmente, as aplicações de download de conteúdo, por envolverem transferência de arquivos, são sensíveis à perda de pacotes, enquanto são tolerantes à latência. No contexto de transmissões V2I dessas aplicações, a

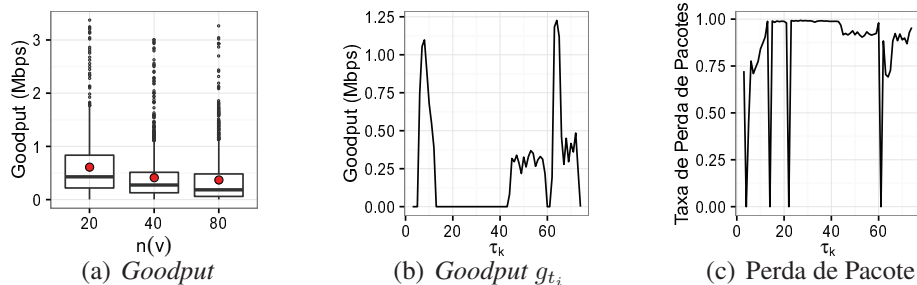
<sup>6</sup>Utopicamente sob cobertura de um sinal perfeito.

**Tabela 1. Parâmetros da Simulação.**

Parâmetros	Descrição
Simuladores:	Omnnet++, Veins, SUMO
Área de Simulação:	780 m × 1780 m
Interface de rede:	IEEE 802.11g
Frequência Tx:	2.4 GHz
Protocolos de Rede:	Pilha TCP/IP
Aplicação veicular:	Download de Conteúdo
Tipo de aplicação:	<i>Bulk Transfer TCP</i>
Arquitetura distribuída:	Cliente-Servidor
Densidades da rede:	20, 40 e 80 veículos
Números de RSUs:	27 WiFi Hotspots 802.11g

vazão torna-se a principal métrica de QoS para avaliação do desempenho das transmissões *downstream* na rede veicular.

A Figura 2(a) apresenta os resultados sumarizados, em gráficos no formato *boxplot*, da vazão (*goodput*) observada nas simulações. Nota-se a evidente proporção inversa entre vazão e densidade da rede. À primeira vista, um dado veículo  $v_k$ , estando conectado com o servidor por uma conexão TCP durante todo o seu percurso, poderia realizar downloads de conteúdo a uma vazão média (ponto vermelho) de 613 Kbps em uma rede com 20 veículos, a 413 Kbps em uma rede com 40 veículos e 368 Kbps em uma rede com 80 veículos.



**Figura 2. (a) Boxplot da vazão (*goodput*) dos veículos observados nas simulações em diferentes densidades de rede. (b) e (c) Taxas de *goodput* e perda de pacotes observadas no percurso de um veículo  $v_k$ .**

Entretanto, em uma análise temporal sobre vazão observada por um veículo  $v_k$  durante todo o seu tempo de deslocamento  $\tau_k$  é possível verificar a ocorrência de intervalos consideráveis de ausência total transmissão, conforme observado nos intervalos de *goodput* zero no gráfico da Figura 2(b). A razão disso é a elevada taxa de perda de pacotes observada nos respectivos intervalos sem transmissão do veículo, como mostra o gráfico da Figura 2(c).

Ressalta-se que dois dos principais fatores que influenciam a perda de pacotes são a densidade da rede e a velocidade dos veículos. Reñé *et al.* [Reñé et al. 2011] observou o aumento da taxa de perda de pacotes com o aumento da velocidade dos carros, dada a ocorrência de um maior número de trocas (*handovers*) entre os pontos de acesso. Ning *et al.* [Ning et al. 2012], por sua vez, relacionou o aumento da densidade de nós em redes sem fio com o aumento da perda de pacotes. Há outros problemas de natureza de

transmissão sem fio (e.g. interferência no espectro de rádio no ambiente denso, caminhos múltiplos e desvanecimento do sinal) que podem gerar taxas de perda de pacotes em momentos específicos, anulando a transmissão naquele momento [Lu et al. 2013]. Identificar e discutir esses problemas da transmissão móvel nos resultados das simulações, contudo, estão fora do escopo e dos objetivos deste trabalho.

Nesse contexto, pode haver uma vazão observada na rede veicular que é aceitável por uma determinada aplicação, mas não se pode assumir que a aplicação estará conectada por todo o tempo e que, portanto, poderá se beneficiar de fato dessa vazão durante o deslocamento do veículo. O ponto em questão neste trabalho é que analisar o desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissões V2I unicamente a partir de parâmetros de QoS, devido à generalização dos resultados, pode levar a conclusões parciais, e até inconsistentes, quanto à qualidade das transmissões em diferentes percursos e instantes de deslocamentos dos veículos.

#### 4. Métricas de Confiabilidade para Análise Espaço-Temporal de Transmissões V2I

Com o objetivo de possibilitar conclusões mais precisas a cerca do desempenho dessas aplicações, propomos utilizar métricas de confiabilidade para associar a transmissão V2I ao tempo e espaço de deslocamento do veículo e, então, complementar a avaliação de desempenho por métricas tradicionais de QoS, possibilitando uma análise mais ampla e detalhada.

##### 4.1. Estados de Conectividade Veicular

Consideramos que o tempo de deslocamento veicular,  $\tau$ , é conhecido e medido em segundos. Neste trabalho, esse tempo se refere ao tempo de simulação do veículo. Durante  $\tau$ , um veículo pode estar em diferentes estados de conectividade, conforme Definição 1.

**Definição 1** (Estados de Conectividade). *Durante a transmissão de fluxo contínuo em um download de conteúdo, um dado veículo  $v_k$  em um instante  $t_i$ ,  $t_i \in \tau_k$ , pode estar em um dos dois estados:  $t_i^+$ , quando conectado, ou  $t_i^-$ , quando desconectado.*

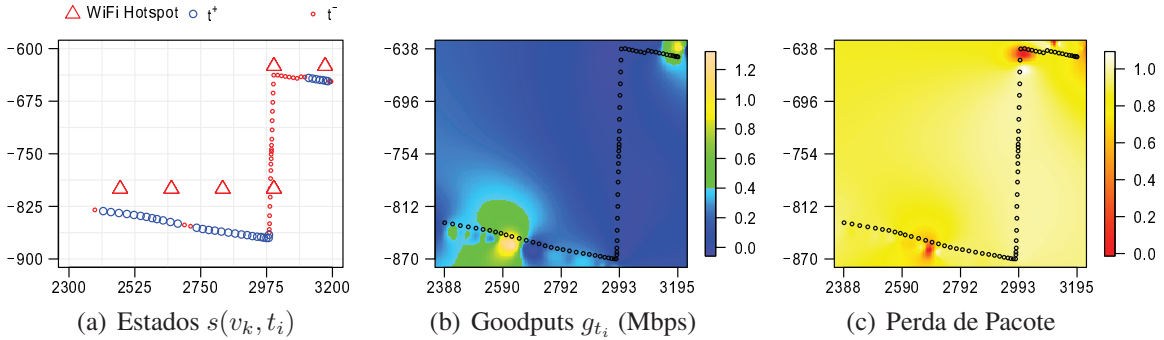
Um estado de conectividade  $s(v_k, t_i)$  é definido da seguinte forma:

$$s(v_k, t_i) = \begin{cases} t_i^+, & \text{se } g_{t_i} > 0, v_k \text{ está conectado,} \\ t_i^-, & \text{se } g_{t_i} = 0, v_k \text{ está desconectado,} \end{cases} \quad (1)$$

em que  $g_{t_i}$  é taxa de *goodput* em Mbps observada no veículo  $v_k$  no segundo  $t_i$ . Essa noção de conectividade na transmissão V2I não se refere tecnicamente à conexão TCP. Uma conexão TCP pode estar permanentemente estabelecida entre o veículo e o servidor durante todo o deslocamento  $\tau_k$ . Entretanto, para uma aplicação de fluxo contínuo, se, por alguma razão, não houver transmissão ou recepção de dados no veículo em um dado instante, i.e.  $g_{t_i} = 0$ , a conectividade é nula nesse instante e o veículo, na prática, está desconectado.

A Figura 3(a) apresenta os estados de conectividade na simulação durante o deslocamento do veículo  $v_k$  (o mesmo discutido na Figura 2 da seção anterior) e o posicionamento dos pontos de acesso de *hotspots* WiFi mais próximos no seu percurso. Embora

havendo cobertura de acesso provido pelos *hotspots*, observa-se espaços contínuos de desconexão, identificados na figura pelos estados  $t_i^-$  (círculos vermelhos). A razão por tal desconexão foi discutida na seção anterior, a partir das taxas de perda de pacotes apresentadas na Figura 2(c). As Figuras 3(a) e 3(b) complementam as observações temporais desse veículo  $v_k$  com observações espaciais das taxas de *goodput* e perdas de pacotes através de mapas de calor, permitindo identificar os trechos de maior e menor intensidade.



**Figura 3. Mapas de calor para vazão e perda de pacotes observadas no deslocamento de um veículo  $v_k$ .**

#### 4.2. Taxa de Conectividade Veicular

Os intervalos de tempo sob os estados de conectividade podem ser quantificados para determinar uma taxa total de conectividade ou desconectividade observada no veículo  $v_k$  durante seu deslocamento  $\tau_k$ , conforme Definição 2.

**Definição 2** (Intervalos de Conectividade). *Seja  $\Delta\tau_k = \{\delta t_1, \dots, \delta t_m\}$  um conjunto de intervalos de tempos  $\delta t_j = t_a - t_b \mid a > b, \forall t \in \tau_k$ . Os conjuntos contendo os intervalos de tempo em que o veículo esteve conectado e desconectado durante  $\tau_k$  são  $\Delta\tau_k^+$  e  $\Delta\tau_k^-$ , respectivamente.*

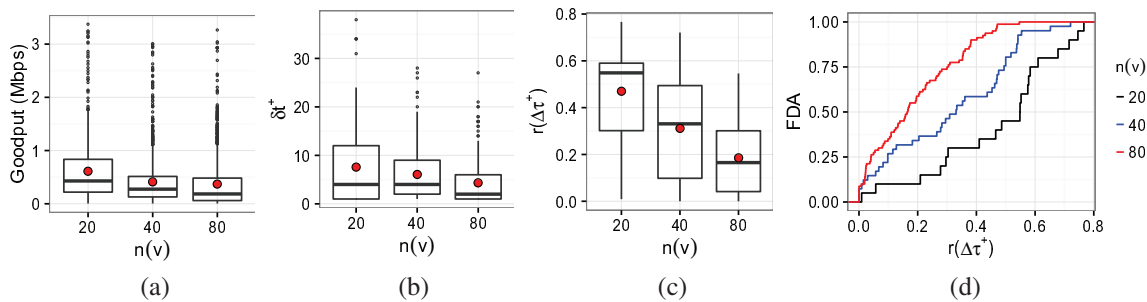
A taxa  $r$  de conectividade ou desconectividade a partir de um conjunto de intervalos observados é

$$r(\Delta\tau) = \frac{\sum_{j=1}^{n(\Delta\tau)} \delta t_j}{\tau}, \quad (2)$$

em que  $n(v) = |v|$ , representa o número de elementos do conjunto  $v$ . Portanto,  $r(\Delta\tau_k^+)$  e  $r(\Delta\tau_k^-)$  representam as taxas de conectividade e desconectividade do veículo  $v_k$ , respectivamente. A Figura 3(a) permite a visualização no espaço e tempo do conjunto  $\Delta\tau_k^+$  observado, onde um círculo representa uma medição por segundo. Nesse exemplo amostral de  $v_k$ , durante o tempo de deslocamento  $\tau_k = 71$  s,  $v_k$  esteve conectado por três intervalos conforme  $\Delta\tau_k^+ = \{7$  s, 16 s, 12 s} (sequências de círculos azuis), bem como o conjunto  $\Delta\tau_k^- = \{2$  s, 31 s, 2 s, 1 s}, com 4 intervalos de desconexão (sequências de círculos vermelhos).

Uma vez definida a taxa de conectividade do veículo, é possível utilizá-la como métrica para avaliar as transmissões veiculares em função do tempo total de deslocamento



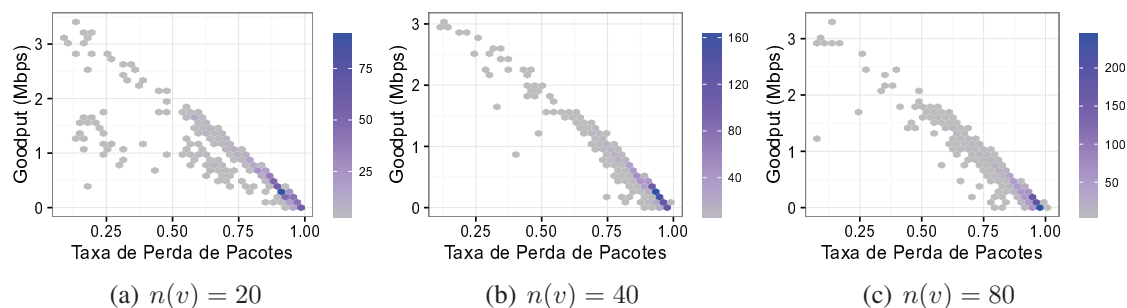


**Figura 4. Análise espaço-temporal de transmissões V2I em diferentes densidades de rede  $n(v)$ : (a) *goodput* observado (b) boxplot dos intervalos de conexão  $\Delta\tau^+$  em segundos, (c) taxa de conectividade  $r(\Delta\tau^+)$ , (d) função de distribuição acumulada das taxas de conectividade .**

dos veículos no ambiente urbano. Assumindo a desconexão como uma falha, do ponto de vista da confiabilidade de sistemas [Reussner et al. 2003], o intervalo de conectividade  $\Delta\tau^+$  é o período em que o sistema permaneceu ativo (*uptime*), portanto, refere-se a métrica MTTF (*mean time to failure*). O tempo de desconexão  $\Delta\tau^-$ , por sua vez, é o tempo de inatividade (*downtime*), sendo equivalente ao MTTR (*mean time to recovery*). Considerando que a disponibilidade (*availability*) de um sistema é a porção de tempo em que o sistema permaneceu ativo em relação ao tempo total de sua execução, i.e.  $\frac{MTTF}{MTTF+MTTR}$ , a taxa de conectividade  $r(\Delta\tau_k^+)$  é, portanto, equivalente à métrica de disponibilidade aplicada ao tempo total de deslocamento de um veículo.

A Figura 4 apresenta uma análise espaço-temporal dos resultados obtidos nas simulações. A Figura 4(a) se refere a mesma vazão apresentada na Figura 2(a), a qual foi trazida para a Figura 4 para facilitar visualização e discussão dos resultados. A Figura 4(b) sumariza os intervalos de conectividade  $\delta t^+ \in \Delta\tau^+$  observados em diferentes densidades de veículos  $n(v)$  nas simulações realizadas. Observam-se intervalos de conectividade predominantemente baixos, com mediana inferior a 5 s, havendo degradação com o aumento da densidade da rede para 40 e 80 veículos. Pelos gráficos das Figuras 4(b) e 4(c), pode-se verificar a considerável influência da densidade da rede na taxa de conectividade dos veículos. Considerando as medianas observadas, na simulação com densidade de rede  $n(v) = 20$  veículos, os veículos permaneceram conectados por 58 % do tempo total  $\tau$  de deslocamentos. Aumentando a densidade para 40 e 80 veículos, a mediana cai drasticamente, levando aos percentuais de apenas 32 % e 18 % de conectividade durante os percursos dos veículos, respectivamente. Do ponto de vista da confiabilidade, esses resultados apresentam um sistema de transmissão veicular de baixa disponibilidade, onde a atividade dos nós é inferior a 50 % do tempo em dois dos três cenários observados.

Complementando a análise a partir das métricas de QoS, pode-se, agora, verificar que a vazão observada na Figura 4(a) se refere apenas aos intervalos de conexão  $\delta t^+$  da Figura 4(b) e, portanto, está associada a taxa de conectividade  $r(\Delta\tau^+)$  da Figura 4(c). A partir das métricas de confiabilidade, uma releitura mais conclusiva dos resultados das simulações é possível: *i*) na rede veicular de densidade 20, pelo menos metade dos veículos permaneceu conectada por 58 % do tempo e, em intervalos médios de conexão de 7.6 s, os veículos conectados realizaram download a uma taxa média de 613 Kbps; *ii*) na rede com 40 veículos, pelo menos metade dos veículos obteve vazão média de 413 Kbps



**Figura 5. Relação entre *goodput* e perda de pacotes e as frequências observadas em cada simulação.**

durante intervalos médios de conectividade de 6.1 s em apenas 32 % do tempo; e *iii*) na rede com 80 veículos, em apenas 18 % do tempo, metade dos veículos realizou download em taxa média de 368 Kbps durante intervalos médios de conectividade de 4.4 s.

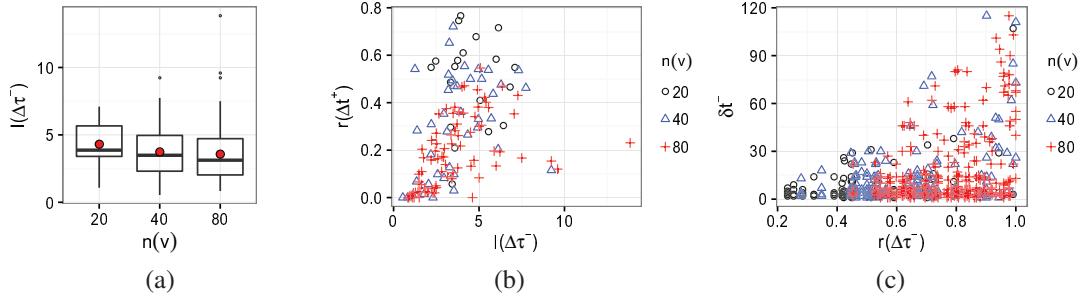
O fato observado nas simulações foi que a desconectividade espaço-temporal foi predominantemente causada pela respectiva taxa elevada de perda de pacotes. Tal fato pôde ser observado com os resultados amostrais de um dado veículo  $v_k$  nas Figuras 2 e 3. Essa correlação entre *goodput* e taxa de perda de pacotes torna-se evidente ao considerar os resultados observados de todos veículos em diferentes densidades de rede nas simulações realizadas, conforme apresentam os gráficos da Figura 5. Portanto, nas simulações realizadas, considerando o cenário urbano, a tecnologia de transmissão, o posicionamento dos pontos de acesso dos *hotspots* WiFi e a aplicação distribuída, observou-se que, quanto mais veículos há na rede, maior é a taxa de perda de pacotes, conseqüentemente, menor é a taxa de conectividade  $r(\Delta\tau^+)$  dos nós.

### 4.3. Nível de Intermitência de Conectividade Veicular

Nas transmissões V2I de aplicações baseadas em TCP, a ausência de transmissão efetiva durante os intervalos  $\Delta\tau^-$  impede a chegada das confirmações ACK no servidor, forçando o mesmo a iniciar o mecanismo *keepalive* com envio *probes* ao veículo cliente para verificar sua disponibilidade. Em estado de perda de pacotes na rede, esses *probes* não chegarão ao veículo cliente e, após um número *probes* não confirmados pelo veículo, o servidor encerra a sessão TCP. Em sistemas Linux, os parâmetros do TCP relacionados ao *keep-alive* são configurados, por padrão, com valores de tempo excessivamente elevados<sup>7</sup>, os quais são reconfigurados pelas aplicações, conforme valor de temporização de interesse. Para rápida detecção da indisponibilidade de aplicações em dispositivos móveis, parâmetros do *keepalive* do TCP precisam ser reduzidos ao mínimo possível [Kimura et al. 2010].

Nesse contexto, os intervalos de desconexões  $\Delta\tau^-$ , pela ausência de transmissão entre os sistemas finais, podem levar ao estouro de temporizadores de *keepalive* do TCP que são configurados por essas aplicações, conseqüentemente, levando à ruptura das sessões TCP entre os veículos clientes e o servidor. Para definição de algoritmos mais eficientes para tolerância a atrasos e desconexões em aplicações móveis [Kimura et al. 2014], é importante conhecer quão frequente ocorrem os intervalos de desconexões  $\Delta\tau^-$  durante

<sup>7</sup>O envio de *probes* é iniciado após ociosidade de 2 horas na conexão TCP; após iniciar, *probes* são enviados em intervalos de 75 s; após 9 *probes* sem resposta do par remoto, a conexão é encerrada pelo par local.



**Figura 6. Análise dos níveis de intermitência de conectividade  $l(\Delta\tau^-)$  observados nas simulações.**

a mobilidade. Para tal, um nível  $l$  de intermitência de conectividade pode ser indicado pelo número de intervalos de desconexões observados por minuto:

$$l(\Delta\tau^-) = \frac{n(\Delta\tau^-)}{\tau/60}, \quad (3)$$

onde  $n(\Delta\tau^-)$  é o número de intervalos de desconexão  $\delta t^-$ .

Do ponto de vista da confiabilidade de sistemas [Reussner et al. 2003], assumindo a desconexão como falha, o nível de intermitência de conectividade, embora aqui medido em desconexões por minuto, é uma métrica equivalente ao MTBF (*mean time between failure*), que indica o tempo médio de ocorrência de falhas. Considerando que uma das razões da desconexão é *handover* entre pontos de acesso, o nível de intermitência pode indicar a frequência de saltos do veículo durante os acessos oportunistas a partir dos diversos *hotspots* WiFi no percurso.

Nos resultados obtidos das simulações, o nível de intermitência de conectividade não teve variação significativa, apresentando mediana entre 3 e 4 intervalos de desconexões por minuto, conforme mostra a Figura 6(a). A Figura 6(b) indica uma tendência de o aumento da taxa de conectividade do veículo ocorrer conforme o aumento do nível de intermitência de conexão. Embora, à primeira vista pareça contraditória, essa relação foi observada nas simulações devido ao intervalo de desconexão  $\delta t^- \in \Delta\tau^-$  também aumentar conforme a taxa de desconexão  $r(\Delta\tau^-)$ , como mostra o gráfico da Figura 6(c). Isso significa que as taxas elevadas de desconexão foram decorrentes de intervalos maiores de desconexão  $\delta t^-$  e não por níveis elevados de intermitência de conexão  $l(\Delta\tau^-)$ .

## 5. Trabalhos Relacionados

Silva e Meira [Silva and Meira 2015] propuseram a métrica *Delta Network*  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$  para auxiliar no projeto de novas redes veiculares, possibilitando a identificação de melhores estratégias de implantação de infraestrutura de rede. Para tanto, os autores definem  $\Delta$  como uma relação entre um fator  $\rho_1$  de duração de conectividade experimentada por veículos e um percentual  $\rho_2$  de veículos que apresentam essa duração de conectividade na rede. De modo similar ao parâmetro  $\rho_1$ , propomos a taxa  $r(\Delta\tau^+)$  para identificar um fator  $0 \leq r \leq 1$  de conectividade obtida a partir dos intervalos de conexões  $\Delta\tau^+$  experimentados pelos veículos durante suas trajetórias. Enquanto  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$  é uma métrica para

avaliar a abrangência da operação de rede a partir de uma infraestrutura implantada, e vice-versa, utilizamos  $r(\Delta\tau^+)$  como taxa de disponibilidade do nó veicular a partir de parâmetros de confiabilidade MTTF e MTTR, juntamente com MTBF mapeado em nível de intermitência de conectividade  $l(\Delta\tau^-)$ , para complementar a avaliação de desempenho de aplicações distribuídas em rede veicular apoiada às métricas tradicionais de QoS.

Recentemente Lu *et al.* [Lu et al. 2016] propuseram um *framework* para analisar o custo efetivo do acesso *drive-thru* WiFi por veículos em cidades. Duas métricas são consideradas. A primeira é o custo TCO (*total cost of ownership*) da rede, que inclui os gastos de capital (ocorridos uma única vez em fase de implantação) e gastos de custeio (recorrentes para manter a rede operacional). A segunda métrica é o fator NSD (*normalized service delay*), que reflete a degradação de QoS de uma rede Wi-Fi em relação a correspondente efetividade de custos. O *framework* possibilita quantificar tanto o TCO que pode ser economizado por operadoras de rede móvel celular, quanto a degradação de serviço NSD que os usuários veiculares poderão tolerar com as rede WiFi. No mesmo direcionamento de [Silva and Meira 2015], as métricas TCO e NSD de Lu *et al.* [Lu et al. 2016] são utilizadas para avaliar a rede veicular, especificamente, identificar o custo de implantação da rede acesso *drive-thru* WiFi em relação à satisfação do usuário a partir de uma possível degradação da qualidade do serviço. De forma semelhante, nossas métricas propostas são aplicadas na avaliação de redes veiculares disponibilizadas por *drive-thru* WiFi. Entretanto, nosso trabalho se difere das métricas de TCO e NSD, pois utilizamos métricas de confiabilidade para melhor justificar métricas de QoS na avaliação de desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissão V2I nessas redes.

Ott e Kutscher [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] reportaram os primeiros resultados de desempenho obtidos em transmissões reais por acesso *drive-thru* Internet a partir de um veículo em uma rodovia. Em [Ott and Kutscher 2004], os autores demonstram que a tecnologia 802.11 pode ser usada para comunicação veicular, obtendo uma taxa média de transferência dados de 6.4Mbps com o veículo a uma velocidade de 120 km/h. Em [Ott and Kutscher 2005], os autores avaliam a tecnologia 802.11b no acesso à Internet de um veículo a partir de um ou dois pontos de acessos. Ao analisar os protocolos de transporte UDP e TCP, os autores observaram que o UDP obteve resultados piores para as transmissões originadas do veículo para o ponto de acesso, se comparadas às taxas da comunicação do ponto de acesso para o veículo; enquanto no protocolo TCP, essa diferença não foi significativa. Os autores observaram a relação inversa entre velocidade e vazão, que é causada pelo maior ou menor tempo de contato com o ponto de acesso de acordo com uma menor ou maior velocidade do nó, respectivamente.

Posteriormente Rubinstein *et al.* [Rubinstein et al. 2009] também investigaram o desempenho de transmissões veiculares em experimentos reais com aplicações TCP e UDP. Dentro de um campus universitário, os experimentos consistiram em dois veículos trafegando em direções opostas se comunicando em modo V2V. Variando a velocidade dos veículos e o tamanho do pacote, os autores avaliaram métricas de QoS, como vazão e taxa de erro, além do tempo de contato entre-veículos e o total de bytes transferidos. Contatos de até 45 s, picos de vazão superiores a 6.0 Mbps de veículos lado-a-lado e taxas médias que variaram de 0 a 25 % de erro possibilitaram condições para transferência V2V de alguns MBytes de dados entre os dois veículos. Diferente de Rubinstein *et al.*, tal desempenho em QoS não foi observado em nossas simulações, pois *i*) consideramos

um cenário urbano denso no número de veículos e sujeito a interferências, *ii*) avaliamos transmissões V2I de downstream veicular.

Nosso trabalho se difere de [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] e [Rubinstein et al. 2009] ao aplicar métricas de QoS e de confiabilidade na avaliação de transmissões V2I resultantes de simulações de  $20 \leq n(v) \leq 80$  veículos em um ambiente urbano, cuja infraestrutura de rede é provida por 27 *hotspots* WiFi 802.11g. Evidentemente, os ambientes analisados se diferem também em escala, tanto na densidade de veículos quanto no número pontos de acesso. Por essa razão, as taxas elevadíssimas de perda de pacotes que foram observadas nas nossas simulações no ambiente urbano-veicular não ocorreram nas transmissões reais de [Ott and Kutscher 2004] [Ott and Kutscher 2005] [Rubinstein et al. 2009] de um único veículo em rodovia, o que justifica a tamanha diferença entre as vazões observadas.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, propomos aplicar métricas de confiabilidade para melhor avaliar o desempenho de aplicações distribuídas que demandam transmissões V2I. Partimos da definição de estados de conectividade na transmissão para identificar outros parâmetros de avaliação, como os intervalos de conexão, os intervalos de desconexão e o nível de intermitência de conectividade durante o tempo total de percurso dos veículos. Com isso, pudemos mapear esses parâmetros nas respectivas métricas bem conhecidas de confiabilidade, como MTTF, MTTR e MTBF, respectivamente. A partir de simulações de aplicações cliente/servidor TCP para download de conteúdo em rede urbano-veicular de acesso *drive-thru* WiFi, verificamos que métricas de confiabilidade, ao ponderar as métricas tradicionais de QoS no espaço e no tempo de deslocamento dos veículos, permitem uma análise de desempenho mais ampla e detalhada.

Embora possibilitando uma melhor avaliação de desempenho, o uso de métricas de QoS complementadas com métricas de confiabilidade ainda não refletem o impacto da qualidade das transmissões V2I em relação à Qualidade de Experiência (QoE) dos usuários. Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a avaliação desempenho de aplicações distribuídas em ambientes urbano-veiculares, mapeando também as métricas de QoE.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo #2015/18808-0.

## Referências

- Bangerter, B., Talwar, S., Arefi, R., and Stewart, K. (2014). Networks and devices for the 5g era. *IEEE Communications Magazine*, 52(2):90–96.
- Bychkovsky, V., Hull, B., Miu, A., Balakrishnan, H., and Madden, S. (2006). A measurement study of vehicular internet access using in situ wi-fi networks. In *Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '06, pages 50–61. ACM.
- Cheng, N., Lu, N., Zhang, N., Shen, X. S., and Mark, J. W. (2014). Vehicular wifi offloading: Challenges and solutions. *Vehicular Communications*, 1(1):13–21.

- Cimmino, A., Pecorella, T., Fantacci, R., Granelli, F., Rahman, T. F., Sacchi, C., Carlini, C., and Harsh, P. (2014). The role of small cell technology in future smart city applications. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1):11–20.
- Gerla, M., Lee, E.-K., Pau, G., and Lee, U. (2014). Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. In *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 241–246.
- Haklay, M. and Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7(4):12–18.
- Kimura, B. Y. L., Guardia, H. C., and d. S. Moreira, E. (2014). A session-based mobile socket layer for disruption tolerance on the internet. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(8):1668–1680.
- Kimura, B. Y. L., Yokoyama, R. S., Lopes, R. R. F., Guardia, H. C., and Moreira, E. S. (2010). Prototyping applications to handle connection disruptions in end-to-end host mobility. In *2010 Seventh International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, pages 1–8.
- Lu, N., Cheng, N., Zhang, N., Shen, X. S., Mark, J. W., and Bai, F. (2016). Wi-fi hot-spot at signalized intersection: Cost-effectiveness for vehicular internet access. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(5):3506–3518.
- Lu, N., Zhang, N., Cheng, N., Shen, X., Mark, J. W., and Bai, F. (2013). Vehicles meet infrastructure: Toward capacity–cost tradeoffs for vehicular access networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3):1266–1277.
- Malandrino, F., Casetti, C., Chiasserini, C. F., and Fiore, M. (2013). Optimal content downloading in vehicular networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12(7):1377–1391.
- Ning, J., Singh, S., Pelechrinis, K., Liu, B., Krishnamurthy, S. V., and Govindan, R. (2012). Forensic analysis of packet losses in wireless networks. In *2012 20th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pages 1–10.
- Ott, J. and Kutscher, D. (2004). Drive-thru internet: Ieee 802.11b for “automobile”users. In *IEEE INFOCOM 2004*, volume 1, page 373.
- Ott, J. and Kutscher, D. (2005). Exploiting regular hot-spots for drive-thru internet. In *Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS)*, pages 218–229. Springer.
- Papadimitratos, P., Fortelle, A. D. L., Evenssen, K., Brignolo, R., and Cosenza, S. (2009). Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):84–95.
- Reñé, S., Ganan, C., Caubet, J., Alins, J., Mata, J., and Munoz, J. L. (2011). Analysis of video streaming performance in vehicular networks. In *The First International Conference on Advanced Communications and Computation, INFOCOMP*, volume 10, page 2011.
- Reussner, R. H., Schmidt, H. W., and Poernomo, I. H. (2003). Reliability prediction for component-based software architectures. *Journal of Systems and Software*, 66(3):241 – 252.
- Rubinstein, M. G., Abdesslem, F. B., Amorim, M. D. D., Cavalcanti, S. R., Alves, R. D. S., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., and Campista, M. E. M. (2009). Measuring the capacity of in-car to in-car vehicular networks. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):128–136.
- Silva, C. M. and Meira, W. (2015). Evaluating the performance of heterogeneous vehicular networks. In *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2015 IEEE 82nd*, pages 1–5.