

Oportunidade de Transmissão: Nova Métrica para Otimização de Recursos em Redes Veiculares

Carlos R. Guerber^{1,2}, Eduardo L. Gomes^{1,2}, Mauro Fonseca¹,
Anelise Munaretto¹

¹CPGEI – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Curitiba – PR – Brasil

²Departamento de Informática
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Canoinhas – SC – Brasil

{carlos.guerber}@ifsc.edu.br, {maurofonseca}@utfpr.edu.br

Abstract. *In vehicular ad hoc networks communication between vehicles occurs opportunistically due to frequent node mobility. In this scenario developing routing protocols is challenging given the complexity in defining metrics for choosing the next hop. When analyzing three databases of actual taxis, we have introduced in this article the metric transmission opportunity. We discuss the impact of routing protocols on the appropriate use of this metric and we show that this metric can be used both for evaluation of the performance of routing protocols and for optimization of resources in vehicular networks.*

Resumo. *Nas redes ad hoc veiculares a comunicação entre os veículos ocorre de forma oportunista devido a frequente mobilidade dos nós. Desenvolver protocolos de roteamento neste cenário é desafiador dada a complexidade em definir métricas para escolha do próximo salto. Ao analisar três bases de dados de movimentação real de táxis, introduzimos nesse artigo a métrica oportunidade de transmissão. Discutimos o impacto dos protocolos de roteamento no uso adequado dessa métrica e mostramos que pode ser utilizada tanto para avaliação do desempenho de protocolos de roteamento quanto para otimização de recursos em redes veiculares.*

1. Introdução

Ao longo dos últimos anos foram propostas aplicações de transporte de dados e troca de mensagens *ad hoc*, via rádio, em cenários onde a infraestrutura convencional de comunicação não se aplique ou venha a falhar [Farrell et al. 2006].

Estes cenários incluem as redes veiculares, as quais utilizam como padrão de comunicação sem fio a tecnologia IEEE 802.11p [Jiang and Delgrossi 2008] para comunicação entre os veículos. Tal padronização apresenta especificações que devem ser consideradas nos projetos para o desenvolvimento de protocolos de comunicação nestes ambientes, como o alcance do sinal de rádio e a taxa de transmissão de dados. Assim, os veículos tornam-se um meio de geração e transporte de dados em um contexto de Internet das coisas (IoT) e podem ser utilizados para criação de diferentes aplicações e serviços de cidades inteligentes [He et al. 2014].

Dentre as características importantes para o desenvolvimento de protocolos de roteamento para redes veiculares, está a frequente mobilidade dos veículos

[Cunha et al. 2016, Zeadally et al. 2012]. Por ser um fator de alto impacto, faz com que a formação dos enlaces entre os veículos se torne altamente dinâmica e sua comunicação passe a ser oportunista. Por isso, o alcance do sinal de rádio é um aspecto importante, que influencia variáveis como o tempo em que os veículos mantêm contato e a densidade dos enlaces entre os veículos.

Entendemos que o tempo de contato entre os veículos indica a qualidade dos enlaces. Enlaces que duram mais tempo têm maior possibilidade de troca de mensagens e podem transmitir mais dados. Da mesma forma, a taxa de transmissão de dados junto com o tempo de contato sugere o volume de dados que um veículo pode transportar. De acordo com a taxa de dados que possa ser utilizada, dadas as condições de atenuação e interferência do ambiente, é possível determinar o tipo de aplicação que a rede suporta (*e.g.* aplicações de segurança, aplicações de entretenimento, aplicações de conforto, entre outras). A densidade dos enlaces demonstra também a condição de comunicação da rede, visto que quanto mais densa se apresentar, maior é o número de veículos e maiores são as opções de comunicação entre eles. Para melhor avaliar as opções de comunicação introduzimos o conceito de oportunidades de transmissão que captura estes atributos.

Neste artigo não exploramos as oportunidades de transmissão nas estratégias de roteamento. Nos concentramos em mostrar que há uma capacidade de recursos disponível e que os projetos de protocolos de roteamento considerem esta capacidade, de acordo com a aplicação. Muitas vezes, em suas estratégias, os protocolos de roteamento se concentram em melhorar taxas de entrega de mensagens ou reduzir overhead relativo. Contudo, não avaliam se sua estratégia utiliza os recursos das OT de forma adequada para a aplicação a que se destina. Neste trabalho apresentamos por meio da avaliação de três bases reais de movimentação dos táxis nas cidades de Roma, San Francisco e Shanghai, a análise da métrica proposta para auxiliar o desenvolvimento de protocolos de roteamento em redes veiculares. Consideramos nossas principais contribuições:

1. Uma análise das oportunidades de transmissão existentes, sua quantificação e classificação considerando oportunidades de transmissão em série ou em paralelo. Discutimos como os protocolos de roteamento para disseminação de mensagens devem satisfazer a condição de mudança de densidade causada pela dinamicidade da formação dos enlaces entre os veículos.
2. Uma análise do estoque de recursos de comunicação por meio da avaliação da taxa de transmissão de dados de cada veículo. Analisamos as oportunidades de contato entre os veículos a fim de demonstrar sua importância para o desenvolvimento de protocolos, devido aos cuidados que precisam ser considerados na troca de mensagens de controle entre os veículos e no repasse das mensagens com os dados da aplicação.
3. A utilização da métrica para qualificar recursos disponíveis para utilização pelos protocolos de roteamento em redes veiculares.

Na sequência, este trabalho está organizado da seguinte forma. Primeiro apresentamos os trabalhos correlatos. Em seguida será apresentada a descrição das características das bases de dados reais de movimentação utilizadas, a formação dos grafos temporais para análise dos dados e a metodologia utilizada para extração dos dados analisados. Depois disso, são apresentados os resultados e as discussões das análises realizadas. Por fim, apresentamos as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Correlatos

Nesta seção apresentamos alguns trabalhos relacionados à análise de dados de mobilidade em bases reais de movimentação de veículos.

As bases de dados reais de movimentação que utilizamos neste trabalho também foram estudadas por outros autores. No trabalho [Chen et al. 2013], os autores estudaram a evolução das topologias em redes veiculares ao analisarem a estabilidade e a variação dos componentes conectados no decorrer do tempo para propor direções que auxiliem no projeto de protocolos de roteamento. Já os autores de [Huang et al. 2012, Huang et al. 2010], extraíram um modelo de mobilidade de bases reais de táxis para capturar características microscópicas e macroscópicas e gerar modelos sintéticos para simulações. Em sua investigação os autores de [Cunha et al. 2013], procuraram definir quão efetivo é analisar uma rede veicular por meio da percepção social. Em seu outro trabalho [Cunha et al. 2015], os autores utilizaram diversas técnicas para extrair propriedades e comportamentos dos veículos e descobriram a existência de interesse em comum e regularidade nos encontros entre os veículos. Em mais um estudo, [Cunha et al. 2014], os autores investigaram se é possível encontrar propriedades sociais em redes veiculares e concluíram que tais propriedades podem ser utilizadas na proposição de protocolos de roteamento.

No trabalho [Dias and Costa 2016], os autores analisaram a possibilidade de criação de redes veiculares tolerantes a atraso na cidade do Rio de Janeiro utilizando as posições reportadas pelos ônibus por GPS, para determinar a viabilidade de transmissão de dados entre ônibus durante um dia.

Entretanto, nenhum dos trabalhos analisou as oportunidades de transmissão presentes na movimentação de táxis e qual é a visão individual de um veículo quanto a estas oportunidades. Também não analisaram a importância das oportunidades de transmissão como métrica para cálculo de recursos em redes veiculares. Tais assuntos são abordados neste artigo.

3. Análise dos Dados

Esta seção apresenta os dados de movimentação utilizados, a modelagem para criação dos grafos variantes no tempo, a descrição das características avaliadas e a metodologia aplicada nesta análise de dados.

3.1. Dados Calibrados de Movimentação

Utilizamos as bases de dados disponibilizadas por [Celes et al. 2017] da movimentação real de táxis, contendo 24 horas de movimentação, de três cidades: Roma (Itália), San Francisco (EUA) e Shanghai (China).

As bases originais foram melhoradas a partir do preenchimento das lacunas existentes de acordo com a granularidade das leituras, tornando o conjunto de dados mais uniforme. Esta uniformização foi realizada por meio de um sistema de referência baseado em agrupamentos com um método de calibração proposto por [Celes et al. 2017]. Os autores afirmam que a aplicação do método de calibração aos registros reais de mobilidade veicular melhoram sua qualidade, levando a resultados de análises de movimentação e simulação mais confiáveis. Os autores disponibilizaram 24 horas de dados calibrados.

Para a cidade de Roma os dados do dia 04/02/2014 contém 3.843.043 posições e 187 táxis. Para os dados de San Francisco o dia 20/05/2008 contém 8.327.920 posições e 468 táxis. Para Shanghai as leituras do dia 20/02/2007 contendo 13.410.782 posições e 4252 táxis.

3.2. Grafo Variante no Tempo

Consideramos a formação de um encontro quando dois veículos estão no alcance de comunicação um do outro. Na padronização IEEE 802.11p o alcance de comunicação do sinal de rádio pode variar de 0 a 1000 m [Jiang and Delgrossi 2008]. Por isso em nossa avaliação utilizamos os seguintes raios: 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m e 1000 m. A distância entre os veículos é obtida por meio da equação de Haversine [Robusto 1957]. Os dados de movimentação dos táxis estão em ambiente urbano e a velocidade dos veículos varia entre 0 e 100 km/h, com uma velocidade média para Roma de 20 km/h, para San Francisco de 25 km/h e para Shanghai de 20 km/h.

Nas redes veiculares a definição de grafos estáticos não descreve adequadamente o comportamento desses sistemas. Em redes estáticas, se um vértice u está diretamente conectado ao vértice v e v está diretamente conectado ao vértice w , então u está indiretamente conectado a w por um caminho que passa por v . No entanto, em Grafos Variantes no Tempo (GVT) [Wehmuth et al. 2015, Holme and Saramäki 2012], se a aresta $\{u, v\}$ estiver ativa somente em um instante posterior no tempo que a aresta $\{v, w\}$, então u e w estão desconectados, pois nada pode se propagar de u via v para w . Assim, o tempo é uma dimensão importante para a análise e entendimento das interações entre os vértices em uma rede veicular. [Wehmuth et al. 2015, Holme and Saramäki 2012].

Desta forma, os dados de movimentação foram divididos em janelas de tempo com 3600 segundos de duração formando os GVT. Cada GVT formado é não direcionado e pode ser formalmente definido como um grafo $H = (V, E, T)$, onde V é o conjunto de veículos v_i , T é o tempo para o qual os GVT são definidos. E é o conjunto de arestas durante o intervalo T , $E \subseteq v_i \times T \times v_j \times T$. No grafo H , uma aresta existe entre os veículos $\{v_i, v_j\}$ se estes estiverem dentro do seu alcance de comunicação e se $i \neq j$. Para cada um dos dados reais de movimentação de táxis foram gerados 24 grafos H , os quais nos permitiram analisar as interações dos veículos durante as 24 horas de um dia. Durante este intervalo cada táxi é avaliado individualmente. Os dados obtidos foram calculados segundo a segundo e agregados durante o tempo do GVT conforme a técnica chamada Janela de Tempo Crescente [Hossmann et al. 2010].

Assumimos a duração dos GVT de 60 minutos por evidenciar quatro estados orientados à densidade: 1) GVT esparsos, 2) GVT esparsos para densos, 3) GVT densos e 4) GVT densos para esparsos.

Com o GVT podemos formalizar um intervalo de observação. A formalização do GVT e a escolha do intervalo são práticas adotadas na análise de traços de movimentação. Não pulveriza demais, tão pouco condensa a informação. A divisão em GVT de 1 hora durante 24 horas fornece um tempo suficiente para mostrar os momentos de transição de esparso para denso e denso para esparso que ocorrem no decorrer deste ciclo. É possível caracterizar a disponibilidade de OT conforme o dia avance e também demonstrar a dinamicidade de formação dos enlaces. Este intervalo oferece uma curva com suavidade

suficiente para compreensão destas mudanças de disponibilidade de OT.

Estes GVT representam um modelo natural para sistemas em redes veiculares. As interações entre os vértices são intrinsecamente dinâmicas e variam ao longo do tempo. Suas conexões aparecem e desaparecem em pontos específicos no tempo e são, muitas vezes, recorrentes [Casteigts et al. 2012, Wehmuth et al. 2015].

3.3. Análise de Dados

As análises foram divididas em três partes: 1) descrição da variação da densidade de acordo com a atividade diária dos veículos; 2) conceituação de oportunidades de transmissão, sua análise e também sua classificação; e 3) utilização da taxa de transmissão de dados de acordo com o padrão IEEE 802.11p para calcular quanto as oportunidades de transmissão poderiam representar em recursos de comunicação.

4. Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados da avaliação dos dados de movimentação. Inicialmente descrevemos algumas características gerais da movimentação dos veículos. Em seguida, apresentamos o conceito de oportunidades de transmissão e o uso em série ou paralelo. Por fim, apresentamos o volume de dados máximo teórico disponível de acordo com as oportunidades de transmissão e discutimos sua adequada utilização.

4.1. Características da Movimentação dos Veículos

O movimento de veículos está diretamente relacionado ao ciclo de atividades diárias das pessoas. As pessoas circulam pelas cidades e utilizam seus recursos de infraestrutura de transporte com a finalidade de trabalhar, estudar, lazer ou repousar.

Quando a cidade se torna mais ativa, horário comercial, há um aumento no movimento de pessoas. Quanto maior for o movimento, maior a quantidade de veículos. Conforme o movimento de pessoas diminui, fora do horário comercial, ocorre a redução do número de veículos circulando nas ruas. Há momentos com alta densidade e momentos com baixa densidade de veículos. Há também os momentos de transição, baixa densidade para alta densidade e alta densidade para baixa densidade. Quando utilizamos os termos alta densidade e baixa densidade nos referimos ao momento de ativação de um veículo durante o ciclo de atividades diárias. Nos momentos de maior densidade há mais veículos ativos, enquanto nos períodos de menor densidade, menor é o número de veículos ativos ou de veículos com mais oportunidades de transmissão.

Nos dados de movimentação que analisamos pudemos observar que cada cidade apresenta variações na densidade de veículos¹. Isso se deve às suas próprias características que estão vinculadas às orientações culturais, sociais e econômicas. Por isso, não há um modelo único, definitivo e padronizado para movimentação dos táxis. Contudo, estes dados apresentam as condições evidentes de variação de densidade de tráfego as quais são úteis ao estudo das redes veiculares.

¹Mais adiante na Figura 7, podemos observar o comportamento sazonal de movimento diário. Tanto para Roma (Figura 7a), San Francisco (Figura 7b) ou Shanghai (Figura 7c), durante a madrugada (entre 1 hora e 5 horas) há uma redução no movimento. A medida que o dia desperta (por volta das 6 horas) as atividades aumentam, até atingir seus horários de pico e posterior redução novamente.

O princípio fundamental da comunicação exige que existam ao menos dois elementos comunicadores, os *hosts*, e ao menos uma ligação que permita que estes *hosts* troquem informações, um enlace. Inferimos que, quanto maior a densidade, maior é quantidade de *hosts* e maior será a possibilidade de formação de enlaces. Consequentemente, aumenta a capacidade de comunicação entre os *hosts* na rede ². Como os veículos são utilizados como *hosts*, seus encontros no decorrer do tempo podem ser chamados de oportunidades de transmissão (OT).

4.2. Oportunidades de Transmissão

Em redes veiculares são necessárias três condições para definir uma oportunidade de transmissão: 1) transmissão de dados realizada por meio de ondas de rádio; 2) alcance do sinal de rádio; e 3) tempo de contato que os veículos estão no alcance do sinal de rádio. Uma oportunidade de transmissão é uma medida individual de um veículo e estará sempre vinculada ao veículo analisado.

Definimos que as *OT* de um veículo v_i é o conjunto de veículos V , (v_i, v_j) , que estão sob a área de cobertura A do sinal de rádio e que mantém tempo de contato t entre os veículos maior que o tempo necessário para a troca de mensagens de controle ³ t_{MC} . Esta definição é formalizada na Equação 1.

$$OT = (v_i, V) \forall v_i \neq v_j, v_j \supset A_{v_i}, t_{v_i, v_j} > t_{MC} \quad (1)$$

Uma OT não garante a presença de um enlace entre os veículos. Toda OT representa uma opção, uma possibilidade de estabelecer o enlace. Aproveitar uma OT depende diretamente da estratégia de roteamento e da métrica utilizada na escolha do próximo salto para envio das mensagens da aplicação.

Para cada uma das bases calculamos as OT de cada veículo. A Figura 1, mostra a função de distribuição cumulativa complementar (CCDF) do total de OT de cada veículo em todos os GVT para todos os raios de alcance de sinal avaliados. É possível observar nas três bases que a medida que o raio de alcance aumenta, maior é o número de OT. Significa dizer que quanto maior o raio de alcance maiores são as opções de escolha de veículos possíveis de estabelecer comunicação. Consequentemente, a densidade tende a ser maior. Vamos pegar por base o raio de alcance do sinal de 1000 m. Em Roma (Figura 1a), 80% dos veículos possuem menos de 25 OT e menos de 20% dos veículos possuem entre 100 e 300 OT. Em San Francisco (Figura 1b), há uma diferença considerável em relação a Roma. Os mesmos 80% dos veículos possuem mais de 200 OT, *i.e.*, 8 vezes mais. Mesmo com o raio de 50 m, 60% dos veículos tem mais de 100 OT. A figura mostra neste cenário que a densidade entre os veículos é maior. Em San Francisco, 20% dos carros possuem entre 650 e 1400 OT. Shanghai, (Figura 1c), com um número de carros 24 vezes maior que Roma e 9 vezes maior que San Francisco, 80% dos carros têm cerca de 200 OT e 20% dos carros possuem entre 750 e 1750 OT.

Analisar a disponibilidade de OT de um veículo é importante para a compreensão

²Inicialmente não estamos considerando as colisões.

³O tempo necessário para troca de mensagens de controle varia de acordo com a taxa de transmissão que está sendo aplicada. Nas especificações do padrão IEEE 802.11p estas mensagens consomem, a 3 Mbps, \pm 3 ms [Jiang and Delgrossi 2008].

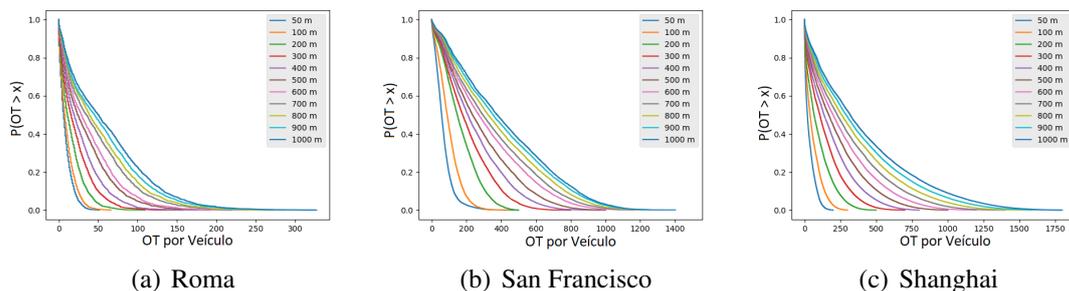


Figura 1. Total de OT. A linha mais a esquerda representa o raio de alcance 50 m, sucessivamente até a linha mais a direita que representa o raio de alcance de 1000 m.

do comportamento da interação entre os veículos. Isso impacta nos projetos de protocolos de roteamento.

Para exemplificar vamos utilizar a medida de centralidade de grau [West et al. 2001] de um veículo. Suponhamos que o protocolo de roteamento sempre selecione como próximo salto o veículo com maior grau. Este veículo foi selecionado por possuir várias ligações com outros veículos em uma janela de tempo qualquer. É um veículo que possui várias OT. Isso não significa que este veículo selecionado tem as melhores OT. Podem se tratar de OT de curta duração e insuficiente para transmitir os dados, ou então OT que não se conectam a outros veículos e o tempo de vida da mensagem expira. Dependendo da estratégia de disseminação e da métrica para escolha do próximo salto, as OT podem ser mal utilizadas ou ainda, desperdiçadas.

4.3. Oportunidades de Transmissão em Série e em Paralelo

Os tipos de OT estão diretamente relacionados à forma que o veículo emissor interage com os demais veículos. O objetivo é escolher dentre as opções que se apresentam, aquela que representa a melhor oportunidade de comunicação.

Na Figura 2 ilustramos um veículo com as suas OT. Selecionamos para visualização ⁴ um veículo de cada uma das bases, conhecido como emissor. Realizamos a análise da interação deste veículo emissor por 900 segundos. A linha pontilhada representa o tempo decorrido do carro emissor. As linhas contínuas representam as OT e o número posicionado sobre esta linha é o identificador do carro com o qual existe a OT. O comprimento da linha contínua representa o tempo de contato entre o emissor e a OT.

Na Figura 2(a) o emissor é o Táxi 0 o qual tem 11 OT. O tempo de contato tem duração entre 20 e 75 segundos aproximadamente. Nota-se que duas OT são recorrentes (OT 15 e OT 21) e que as demais são únicas. Há momentos em que o emissor tem apenas uma opção de OT como por exemplo, entre 25 e 75 segundos. Porém, há momentos em que o emissor tem mais de uma opção de OT ao mesmo tempo como por exemplo, entre 425 e 500 segundos ou entre 600 e 675 segundos. Na Figura 2(b), o emissor é o Táxi 406, o qual possui 29 OT. O tempo de contato tem duração entre 20 e 250 segundos

⁴Realizamos esta análise com 30 veículos de cada base. Identificamos estas três situações como as mais frequentes e selecionamos os carros que melhor representam cada uma das situações. O raio de alcance utilizado foi de 200 m.

aproximadamente. Também há OT recorrentes, assim como OT que acontecem apenas uma vez. Vale ressaltar que a maior parte das OT acontecem em paralelo, o que aumenta o número de opções que o emissor possui para enviar uma mensagem. Na Figura 2(c), o emissor é o Táxi 4, o qual tem 5 OT. O tempo de contato está entre 40 e 60 segundos. Este caso se diferencia dos outros dois por não apresentar OT recorrentes e também por que em todos os momentos há somente uma OT.

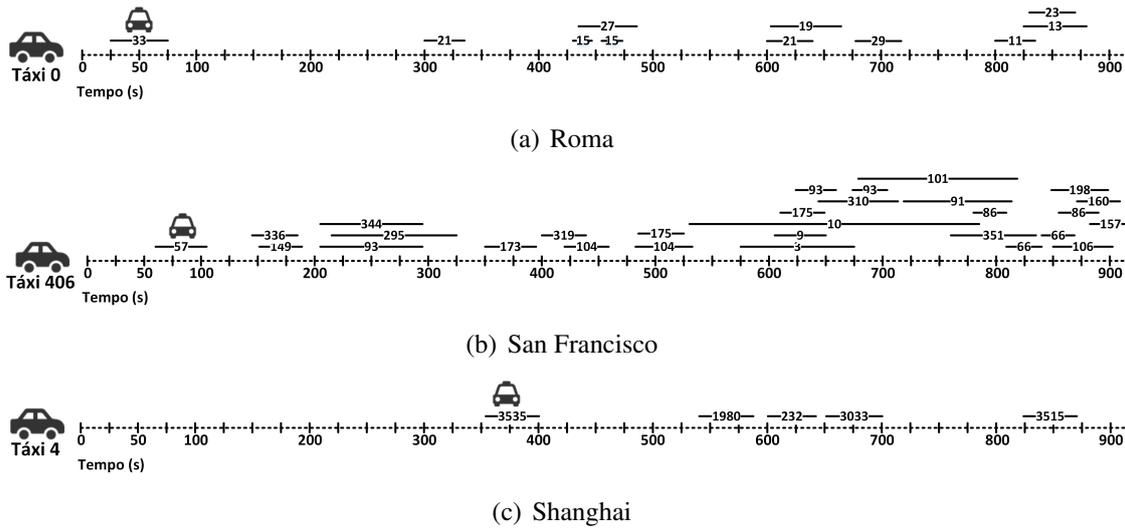


Figura 2. Interação de um veículo com suas OT.

Este comportamento nos permite classificar as OT em dois tipos: 1) em série, quando o emissor possui apenas uma opção de oportunidade de transmissão em um determinado tempo; e 2) em paralelo, quando o emissor possui mais de uma opção de oportunidade de transmissão ao mesmo tempo. Quantificamos as OT, para analisarmos seu comportamento conforme o raio de alcance do sinal de rádio aumente.

Na Figura 3 mostramos a CCDF para as OT em série e para as OT em paralelo de um veículo. Nas três cidades, de forma geral, a medida que o raio de alcance do sinal de rádio aumenta, a quantidade de OT em paralelo se torna mais presente. Podemos observar quando o raio de alcance é de 50 m ou 100 m, que as quantidades de OT em série e em paralelo se equivalem. Já para os raios de alcance maiores como 800 m, 900 m e 1000 m a diferença é mais visual e as OT em paralelo são maiores.

Vamos pegar por base o raio de alcance de 1000 m. Em Roma, Figura 3(a), as OT em série são ≥ 1 e ≤ 100 , sendo que 80% dos veículos apresentam menos que 15 OT. Na Figura 3(d), o número de OT aumenta, são ≥ 1 e ≤ 300 . Mas apenas 20% dos veículos têm 60 OT em paralelo. Em San Francisco, Figura 3(b), as OT em série são ≥ 1 e ≤ 350 , e 20% dos veículos possuem mais de 120 OT. Na Figura 3(e), o número de OT em paralelo é maior, ≥ 1 e ≤ 1200 . Para os mesmos 20% dos veículos, chega a mais de 600 OT em paralelo, um valor 5 vezes maior que em série. Em Shanghai, Figura 3(c), as OT em série são ≥ 1 e ≤ 600 , há uma grande quantidade de táxis nas ruas e 80% dos carros têm próximo de 100 OT em série. Na Figura 3(f), a quantidade de OT em paralelo são ≥ 1 e ≤ 1400 . Porém, os mesmos 80% dos veículos possuem menos de 100 OT e 20% dos táxis encontram mais de 500 OT.

Cada uma das bases mostra diferentes comportamentos no que se refere às OT em série e às OT em paralelo. Esses comportamentos têm relação com quantidade de veículos em cada cidade e com o ciclo de atividades diário. Ainda implicam na variação da densidade no decorrer do dia. Isso nos mostra que quanto menor o alcance, menor o número de veículos que interagem entre si. Com isso a rede se torna menos densa oferecendo menos opções de comunicação. Utilizar raios de alcance maiores permite que o número de OT seja maior, contudo exige mais complexidade por parte dos protocolos para estabelecer as estratégias de roteamento. A maior quantidade de opções faz com que a decisão de encaminhar para o próximo salto tenha que ser mais elaborada.

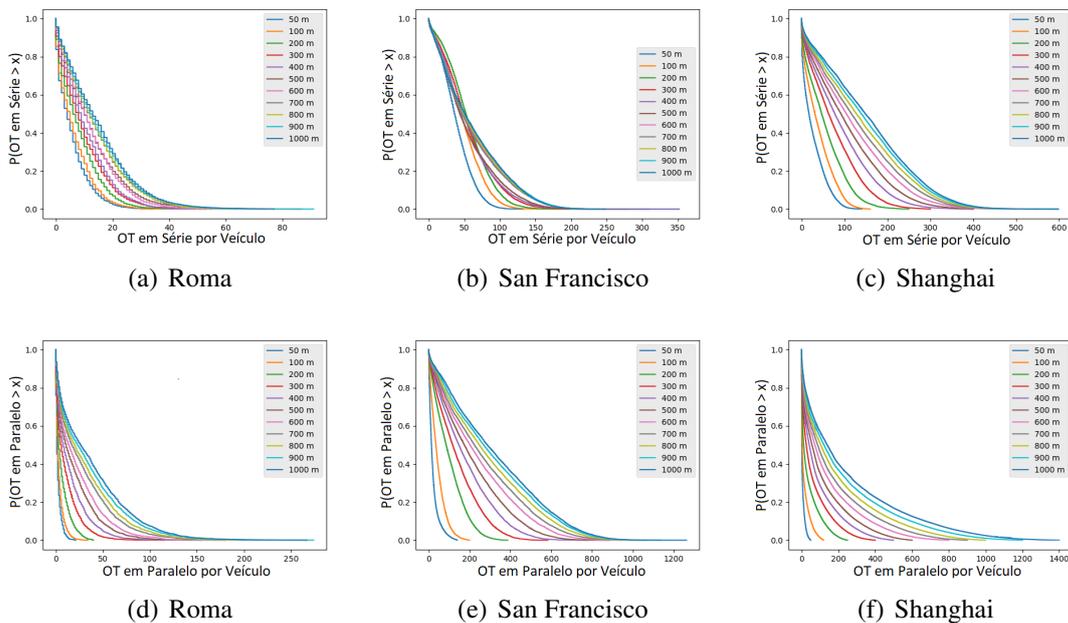


Figura 3. OT em série Figuras a-b-c. OT em paralelo Figuras d-e-f.

As três situações apresentadas na Figura 2, mostram que em uma rede veicular a interação entre os veículos e as OT vão ocorrer de três formas quanto a densidade: 1) *esparsa*: pouco movimento de veículos e maior presença de OT em série; 2) *esparsa para densa/densa para esparsa*: aumento ou decremento no movimento de veículos e presença tanto de OT em série quanto OT em paralelo; e 3) *denso*: alto movimento de veículos e maior presença de OT em paralelo. Qualquer protocolo de roteamento para redes veiculares deveria considerar estas situações em sua modelagem.

A existência de OT em série e OT em paralelo permite que diferentes estratégias de roteamento sejam desenvolvidas em um mesmo protocolo. Se pensarmos no custo de envio de uma mensagem, podemos afirmar que em situações esparsas, em que existam muitas OT em série, quanto mais simples for o processo de transferência da mensagem, menor será o custo de entrega e melhor o aproveitamento das OT. Protocolos epidêmicos ou de primeiro contato são exemplos de protocolos aplicáveis nestes casos. Se não há opções de OT, não há por que desenvolver estratégias complexas que consomem muito tempo para decidir a quem entregar a mensagem. No outro extremo, quando a rede for densa e existirem muitas OT em paralelo é importante analisar a necessidade de criar estratégias para decidir a qual OT entregar a mensagem. Neste caso muitas opções estarão

a disposição do emissor da mensagem. Protocolos baseados em: probabilidades, medidas de centralidade, redes sociais, medidas geográficas podem ser aplicados como forma de identificar a melhor OT a ser aproveitada. Cabe aos protocolos de roteamento descobrir em que situação de densidade se encontra, para então eleger qual a estratégia melhor para escolha das OT.

Contudo, o tempo é uma variável fundamental. Quanto maior for o tempo de contato entre as OT, melhor será a condição para troca de mensagens. O tempo de contato entre as OT torna-se um indicador de qualidade da rede e uma variável atrativa para determinar qual OT utilizar. Cabe ressaltar, que o tempo está diretamente relacionado à velocidade dos veículos.

As OT são provedoras de recursos e sua utilização adequada permite que o estoque de recursos disponível seja melhor aproveitado. Por meio da taxa de transmissão de dados exemplificamos e definimos o estoque de recursos das OT. A próxima seção trata dessa definição.

4.4. Estoque de Recursos

As redes de computadores por definição compartilham recursos. O consumo adequado de qualquer recurso disponível em uma rede é um indicador da qualidade dos serviços da rede. As OT nas redes veiculares são provedoras de recursos, sendo a própria OT um recurso. O aproveitamento destas OT é um indicador de desempenho para protocolos de roteamento nestas redes dinâmicas (móveis).

Para demonstrar o estoque de recursos que uma rede veicular pode oferecer, utilizamos como medida a taxa de transmissão de dados. De acordo com o padrão IEEE 802.11p [Jiang and Delgrossi 2008] são disponibilizadas 8 taxas: 3 Mbps; 4,5 Mbps; 6 Mbps; 9 Mbps; 12 Mbps; 18 Mbps; 24 Mbps e 27 Mbps. A taxa de transmissão de dados é uma variável importante e tem relação direta com o tipo de aplicação pretendida para a rede veicular. Preocupação também pertinente aos projetos de protocolos de roteamento nestes ambientes.

Para obter o estoque de recursos $E_{v_i v_j}$, calculamos em todos os GVT, individualmente para cada veículo v_i , o tempo de contato $t > 0$ s, com cada uma de suas OT v_j . Obedecendo aos critérios de seleção de uma OT de acordo com a Equação 1. Cada tempo de contato é multiplicado pela taxa de transmissão de dados tx . Por representar a situação que disponibilizaria o menor estoque possível, escolhemos $tx = 3Mbps$. O cálculo do estoque de recursos, resulta na visão do volume de dados máximo teórico que as OT são capazes de fornecer. Sua formalização é apresentada na Equação 2.

$$\forall OT, E_{v_i v_j} = (v_i \times t_{v_i v_j} \times tx), t > 0 \text{ s} \quad (2)$$

Como o tempo é uma variável importante para as OT, plotamos na Figura 4, a CCDF para o tempo de contato entre um veículo emissor e suas OT. Os resultados obtidos da análise dos 24 GVT mostram para as três cidades, que o tempo de contato é diretamente proporcional ao raio de alcance do sinal. Em todas as bases, independente do raio de alcance, o tempo de contato é muito pequeno. Vamos utilizar o raio de 1000 metros como referência. No caso de Roma (Figura 4a), menos de 1% dos casos têm tempo de contato maior que 1000 segundos. Apenas 10% está entre 0,1 e 500 segundos. Mais

de 80% das OT está entre 0,1 e 250 segundos. Em San Francisco (Figura 4b), o comportamento é bastante semelhante ao de Roma, mesmo possuindo 2,5 vezes mais veículos. Já em Shanghai (Figura 4c), mesmo com o maior número de veículos (24x Roma, 9x San Francisco), os tempos de contato são ainda menores. Menos de 1% dos casos tende a tempos com mais de 600 segundos. Cerca de 20% está entre 0,1 e 100 segundos. Mais de 75% está entre 0,1 e 25 segundos.

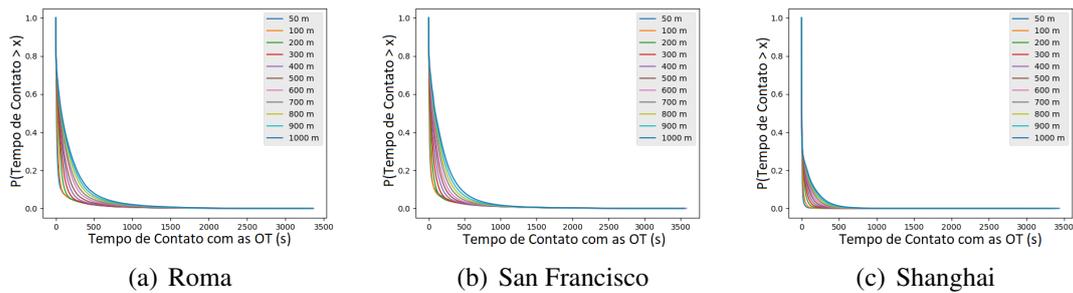


Figura 4. Tempo de Contato de um veículo emissor e suas OT.

Com os resultados do cálculo de estoque quantificamos o volume máximo de dados que um veículo teria capacidade de transferir em cada GVT. A Figura 5, mostra a CCDF para a quantidade de dados possível de ser trocada por um veículo com suas OT. O volume de dados é diretamente proporcional ao raio de alcance. Observamos que o volume de dados que cada veículo poderia transferir tem relação com duas variáveis: a densidade e o tempo de contato. Vamos utilizar o raio de 1000 metros como referência. Roma Figura 5(a), contém o menor número de veículos e menos de 20% dos veículos mostram capacidade acima de 6 GB de dados. Em San Francisco Figura 5(b), um cenário com maior densidade, há mais contatos entre os veículos, por isso 60% dos veículos tem capacidade próxima de 20 GB. Já em Shanghai Figura 5(c), como o tempo de contato é menor, apenas 20% dos veículos conseguem transportar 25 GB de dados.

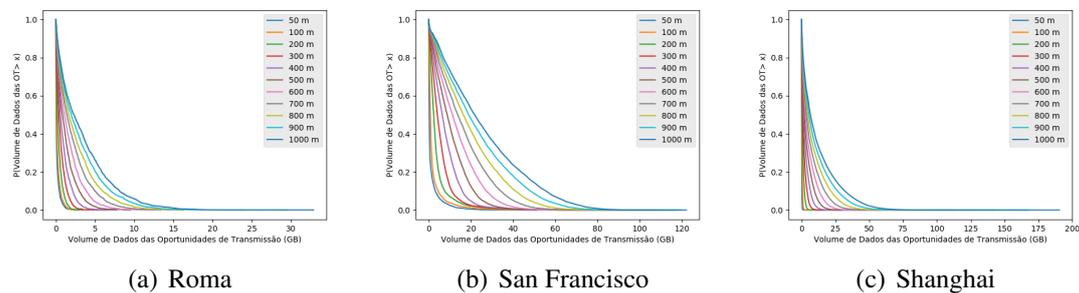


Figura 5. Volume de dados por veículo emissor e suas OT.

Conforme discutimos na seção 4.2, as OT podem ser em série ou em paralelo. Como forma de sumarizar, apresentamos na Figura 6 a comparação do volume de dados total disponível para as OT em série em relação ao volume total de dados para as OT em paralelo em cada uma das bases. Estes valores são obtidos pelo somatório dos estoques individuais de cada veículo. Nas três cidades o volume de dados chega a TB para todos os raios de alcance. Notamos que em Roma (Figura 6a) e em Shanghai (Figura 6c), para

os raios de alcance de 50 m e 100 m, que o estoque total de recursos em série é maior que em paralelo. Em San Francisco (Figura 6b) o volume de dados das OT em paralelo é sempre maior que o volume de dados das OT em série. O maior volume de dados pode ser observado em Shanghai, chegando à quantidade de $> 800TB$, isso por ser a cidade com maior número de táxis contribuindo no estoque de recursos. Contudo, para todas as cidades o estoque total de recursos em série e em paralelo aumenta a medida que o raios de alcance aumentam. Porém, os recursos em série crescem menos em relação aos recursos em paralelo. Este comportamento mostra um maior desafio em aproveitar os recursos mais abundantes, no caso das OT em paralelo.

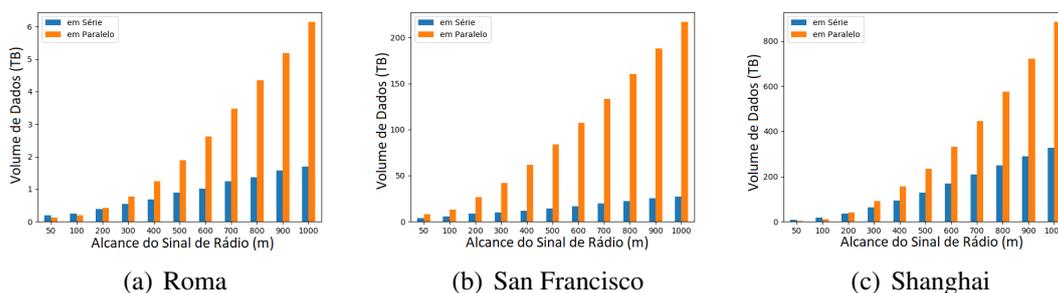


Figura 6. Volume de dados disponível. Calculado com a taxa de 3 Mbps.

A Figura 7 apresenta a distribuição do volume de dados que os veículos poderiam utilizar ao aproveitar todas as OT no decorrer do dia. Mostra como cada cidade tem suas particularidades na movimentação hora a hora. Assim, as alternâncias entre as horas do dia com mais movimento e com menos movimento são evidenciadas. Este resultado mostra que a quantidade de OT e conseqüentemente de recursos não é a mesma durante todo o dia. Mais uma vez mostramos a importância dos protocolos de roteamento em se adaptar as condições de densidade para obter resultados mais eficientes.

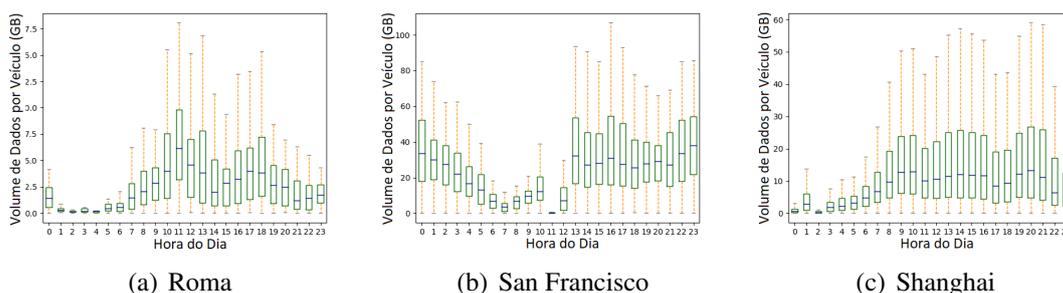


Figura 7. Volume de dados transmitidos pelos veículos com raio de 1000 metros e taxa de 3 Mbps no decorrer das 24 horas do dia.

Todas estas análises mostram que existe uma oferta de oportunidades e também de recursos. Portanto, apresentamos as OT como uma nova métrica para avaliação de desempenho de protocolos de roteamento em redes veiculares, assim como para o cálculo do uso de recursos na rede. Para utilizar esta métrica, todo protocolo de roteamento precisa responder três perguntas: 1) Qual estratégia utilizar para melhor aproveitar as OT? 2) Qual percentual do total das OT é utilizado? e 3) Qual o consumo máximo utilizado do estoque de recursos disponibilizado pelas OT?

5. Conclusão

Neste trabalho apresentamos o conceito de OT em redes veiculares e a importância de seu uso adequado para os projetos de protocolos de disseminação de mensagens.

Em nossa primeira contribuição, realizamos a análise de três bases de dados reais de movimentação de táxis (Roma, San Francisco e Shanghai) para mostrar as OT de cada veículo emissor. Classificamos estas oportunidades em: OT em série e OT em paralelo. Mostramos que a quantidade de oportunidades aumenta de acordo com o raio de alcance do sinal de rádio (IEEE 802.11p). Discutimos como é importante para os protocolos de roteamento identificar em qual situação de densidade (*i.e.* esparsa ou densa) se encontra, para de forma adaptativa, escolher qual a métrica mais adequada de repasse da mensagem.

Em nossa segunda contribuição, mostramos que o uso adequado das OT pode ser utilizado como métrica para avaliação do desempenho de protocolos de roteamento e para cálculo de uso de recursos. Chegamos a esta conclusão após analisarmos o volume de transmissão de dados que os veículos podem transferir. Mostramos que, caso a métrica de roteamento não utilizar as oportunidades adequadamente, a maior parte do recurso é desperdiçada. Portanto, em um cenário como o de transporte de dados, quanto melhor aproveitadas as OT, melhor o desempenho do protocolo de roteamento e das métricas adaptativas aplicadas para escolha do próximo salto.

Os pesquisadores podem utilizar estes resultados na escolha dos parâmetros de configuração de cenários de simulação. Pode ser útil para decidir qual alcance do sinal utilizar. Também, de acordo com o tipo de aplicação, pode ajudar a definir o tamanho dos pacotes de dados de acordo com a taxa de transferência e o tempo de contato.

Como trabalhos futuros pretendemos desenvolver métricas que se adequem às condições de densidade de veículos. Em seguida, especificar um protocolo de roteamento para disseminação de mensagens que utilize adequadamente as OT para obter o melhor aproveitamento de recursos.

Referências

- Casteigts, A., Flocchini, P., Quattrociocchi, W., and Santoro, N. (2012). Time-varying graphs and dynamic networks. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 27(5):387–408.
- Celes, C., Silva, F., Boukerche, A., Andrade, R., and Loureiro, A. (2017). Improving vanet simulation with calibrated vehicular mobility traces. *IEEE Transactions on Mobile Computing*.
- Chen, Y., Xu, M., Gu, Y., Li, P., and Cheng, X. (2013). Understanding topology evolving of vanets from taxi traces. *Adv. Sci. Technol. Lett*, 42(Mobile and Wireless):13–17.
- Cunha, F., Villas, L., Boukerche, A., Maia, G., Viana, A., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2016). Data communication in vanets: Protocols, applications and challenges. *Ad Hoc Networks*, 44:90–103.
- Cunha, F. D., Alvarenga, D. A., Viana, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2015). Understanding interactions in vehicular networks through taxi mobility. In *Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, pages 17–24. ACM.

- Cunha, F. D., Vianna, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2013). How effective is to look at a vehicular network under a social perception? In *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013 IEEE 9th International Conference on*, pages 154–159. IEEE.
- Cunha, F. D., Vianna, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2014). Is it possible to find social properties in vehicular networks? In *Computers and Communication (ISCC), 2014 IEEE Symposium on*, pages 1–6. IEEE.
- Dias, D. S. and Costa, L. H. M. (2016). Análise da capacidade de dados de uma rede de ônibus urbanos. In *XXXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBRT2016, 30 DE AGOSTO A 02 DE SETEMBRO, SANTARÉM, PA*.
- Farrell, S., Cahill, V., Geraghty, D., Humphreys, I., and McDonald, P. (2006). When tcp breaks: Delay-and disruption-tolerant networking. *IEEE Internet Computing*, 10(4):72–78.
- 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.
- Holme, P. and Saramäki, J. (2012). Temporal networks. *Physics reports*, 519(3):97–125.
- Hossmann, T., Spyropoulos, T., and Legendre, F. (2010). Know thy neighbor: Towards optimal mapping of contacts to social graphs for dtn routing. In *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, pages 1–9. IEEE.
- Huang, H., Zhang, D., Zhu, Y., Li, M., and Wu, M.-Y. (2012). A metropolitan taxi mobility model from real gps traces. *J. UCS*, 18(9):1072–1092.
- Huang, H., Zhu, Y., Li, X., Li, M., and Wu, M.-Y. (2010). Meta: A mobility model of metropolitan taxis extracted from gps traces. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE*, pages 1–6. IEEE.
- Jiang, D. and Delgrossi, L. (2008). Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*, pages 2036–2040. IEEE.
- Robusto, C. C. (1957). The Cosine-Haversine Formula. *Source: The American Mathematical Monthly*, 64(1):38–40.
- Wehmuth, K., Ziviani, A., and Fleury, E. (2015). A unifying model for representing time-varying graphs. In *Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2015. 36678 2015. IEEE International Conference on*, pages 1–10. IEEE.
- West, D. B. et al. (2001). *Introduction to graph theory*, volume 2. Prentice hall Upper Saddle River.
- Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y.-S., Irwin, A., and Hassan, A. (2012). Vehicular ad hoc networks (vanets): status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*, 50(4):217–241.