

# Caracterização da Mobilidade Veicular e o seu Impacto nas Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões\*

Carlos A. V. Campos<sup>2</sup>, Luís F. M. de Moraes<sup>1</sup>, Rodrigo F. Silva<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Redes de Alta Velocidade – RAVEL/COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Informática Aplicada – DIA  
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) - Rio de Janeiro, Brasil

beto@uniriotec.br, {moraes, rodrigofs}@ravel.ufrj.br

**Abstract.** *In this paper, we present an evaluation of vehicular mobility traces acquired from GPS device, in order to characterize the movement of buses in the public transport system. Statistical data were extracted from the following components: velocity, acceleration, angle of direction change and pause time. From the obtained data, we found out Weibull distributions which showed a good fit to both velocity and angle of direction change components. Moreover, Normal and Lognormal distributions were found to represent, respectively, acceleration and pause time components. Lastly, we used the vehicular mobility traces to carry out a performance evaluation of routing protocols proposed for delay tolerant vehicular networks.*

**Resumo.** *Neste artigo será apresentada uma análise dos registros da mobilidade veicular capturada através de um dispositivo GPS, que tem como objetivo investigar as características da movimentação de ônibus públicos urbanos. Desta forma, foram obtidas informações estatísticas dos componentes: velocidade, aceleração, ângulo de mudança de direção e tempo de pausa; extraídos do movimento capturado. A partir dos dados obtidos, verificou-se que a distribuição que melhor se ajustou aos componentes velocidade e ângulo de mudança de direção foi a distribuição Weibull; e para a aceleração e tempo de pausa foram as distribuições Normal e a Lognormal, respectivamente. Por fim, a mobilidade veicular foi utilizada na avaliação do desempenho de protocolos de roteamento das redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões.*

## 1. Introdução

Verifica-se nos últimos anos um aumento do interesse e das pesquisas em relação às comunicações entre veículos. A necessidade da existência de uma variedade de aplicativos que viabilizem a comunicação entre veículos torna cada vez mais relevante o estudo sobre as redes veiculares [11]. Estas redes são formadas por um conjunto de veículos que possuem a capacidade de se comunicarem através de algum dispositivo sem fio.

Uma rede veicular possui notáveis características, como as rápidas mudanças na sua topologia física observadas pela alta velocidade dos veículos, gerando consequentemente a desconectividade da rede. Essas características são influenciadas pela maneira

---

\*Este trabalho foi financiado parcialmente pelo CNPq.

† Autores em ordem alfabética de sobrenomes.

com que os motoristas dirigirem os veículos e pelo formato das linhas viárias (ruas, avenidas, rodovias, etc) nas quais os veículos transitam.

Muitos estudos utilizam modelos de mobilidade para representar a movimentação dos veículos e essa prática tem se tornado comum dada a dificuldade de se obter registros reais da mobilidade dos veículos em uma cidade. Nesse sentido, o estudo de alguns dos componentes do movimento veicular se torna indispensável pois, há cada vez mais a necessidade de modelos de mobilidade reais durante uma investigação mais precisa ao se trabalhar com redes veiculares. No entanto, verifica-se ainda muitos estudos realizados utilizando modelos de mobilidade existentes na literatura nos quais tendem a simplificar as características de um movimento real a fim de facilitar a sua representação, sua modelagem e sua implementação. Tais modelos pouco refletem a realidade da mobilidade dos veículos em uma cidade. Além disso, ignoram importantes fatores que podem obstruir ou favorecer o fluxo dos nós, tais como os formatos das ruas, as interseções, os sinais de trânsito, engarrafamentos etc. Quando modelos de mobilidade não reais são empregados para analisar e avaliar o desempenho de uma rede sem fio, têm-se como consequência a geração de resultados errôneos e inapropriados, podendo não corresponder ao desempenho real da rede [13].

Dentro desse contexto, este artigo tem como principal objetivo a caracterização detalhada da movimentação de veículos urbanos em um cenário real, onde o movimento de ônibus do transporte coletivo foi coletado em uma cidade de porte médio. Além disso, uma investigação do impacto dessa mobilidade veicular no funcionamento das redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões<sup>1</sup> é realizado. Para isso, alguns protocolos de roteamento específicos para essas redes são avaliados.

O restante do texto deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentados e discutidos os trabalhos relacionados à mobilidade veicular. Na Seção 3 é apresentada a caracterização detalhada da mobilidade veicular coletada em uma área urbana através de dispositivo GPS. Nesta seção são descritos a coleta do movimento, os componentes analisados e os resultados obtidos. Na Seção 4 é realizada uma análise do ajuste de algumas distribuições de probabilidade em relação aos dados da mobilidade veicular coletada. Na Seção 5 é investigado o impacto do movimento capturado no desempenho das DTN veiculares. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Diversas pesquisas com base na comunicação entre veículos tem sido exploradas pela comunidade científica. Dentro desse contexto, vários trabalhos estão sendo realizados com movimentações veiculares, entretanto poucos se preocupam ou levam em consideração as obstruções presenciadas pelos veículos ao se movimentarem pelo trânsito.

As pesquisas relacionadas as redes baseadas em mobilidade veicular como as Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) ou uma DTN veicular, utilizam simuladores para representar a mobilidade dos veículos. Em [4], a geração da mobilidade pode ser totalmente configurada pelo usuário, escolhe-se as velocidades máximas dos trechos percor-

---

<sup>1</sup>São redes veiculares, cuja comunicação entre veículos pode ser intermitente e a transmissão dos dados são tolerantes a atrasos. Essas redes são um tipo especial das DTN (Delay/Disruption Tolerant Network) e que neste artigo serão chamadas de DTN veicular.

ridos, os mapas a serem utilizados e o número de veículos se movendo. Em [5], o simulador desenvolvido, o MOVE, gera movimentos baseados em mapas reais, os parâmetros que definem a mobilidade veicular como, as acelerações e desacelerações, velocidades mínimas e máximas e os tempos de pausa de cada veículo são limitados pelos padrões de cada trajeto percorrido e/ou configurados pelos usuários do simulador. Em [2], são apresentados e implementados uma série de modelos de mobilidade para VANETs, no entanto, a realidade do movimento gerado pelos modelos é prejudicado pelas imposições feitas, como taxa de aceleração e desaceleração fixas, tempo de pausa fixo, mapa das ruas em formato de *grids* e todas ruas com duplo sentido de movimentação.

Em [6, 16] são gerados movimentos veiculares sem levar em consideração o formato das ruas e suas obstruções, como os sinais de trânsito e os engarrafamentos. Consequentemente, há um comprometimento do realismo do movimento que, além disso, é limitado por parâmetros como velocidade máxima e aceleração/desaceleração para os veículos de acordo com o tipo de rodovia em que transitam.

Encontra-se também trabalhos realizados com base em registros reais e macroscópicos de movimentações veiculares, como em [12], no qual os traces de 4000 táxis circulando pelas ruas de Shanghai-China foram obtidos via GPS em intervalos intercalados de 40 segundos. Para que a análise de uma rede veicular baseada nesses registros reais pudesse ser feita, houve a necessidade da interpolação a cada segundo das posições não informadas. A falta de dados precisos quanto as posições reais dos veículos durante a análise de uma rede veicular, dependendo do que se for avaliado, pode implicar de forma significativa na acurácia dos resultados. Além disso, impossibilita maiores investigações para certos componentes do movimento que só podem ser analisados quando de posse de registros reais e detalhados do movimento.

A análise de redes veiculares baseadas na mobilidade de ônibus urbanos foi realizada em [7, 17], dando ênfase na análise do roteamento, dos tempos de contato e entre contatos dos ônibus, ausentando assim de uma investigação mais apurada sobre as distribuições das outras componentes do movimento.

Nenhum dos trabalhos pesquisados e relacionados às redes veiculares, estudam de forma detalhada o movimento veicular. Isso seria importante para a obtenção de informações sobre o comportamento dos componentes do movimento como, a velocidade, a aceleração/desaceleração, o ângulo de mudança de direção e o tempo de pausa.

### **3. Caracterização da Mobilidade Veicular**

Existem várias aplicações para o uso de uma rede veicular e, uma delas, seria a capacidade do deslocamento rápido e longínquo da informação carregada pelos veículos. Esse tipo de rede se adequaria muito bem a função de interligar pessoas (usuários) afastadas geograficamente e isoladas tecnologicamente. Nas cidades que possuem muitos bairros afastados do centro, deixando a população ali presente excluídas da informação, se torna um cenário ideal para a presença de uma rede veicular.

Neste tipo de cenário, uma rede veicular poderia se formar através do transporte público urbano, já que os ônibus são uma forma de ligação constante entre as várias áreas de uma cidade em alguns intervalos de tempo. Nesse caso, seria atribuído aos ônibus a tarefa de transportar além dos passageiros, a informação e as mensagens pertencentes aos habitantes das regiões mais afastadas da cidade.

A caracterização do movimento dos ônibus dentro de uma cidade se torna importante para a obtenção do conhecimento sobre esse movimento e assim, propor modificações nos protocolos existentes ou criar novos protocolos que se adaptem melhor a esse tipo de rede. Além disso, a obtenção de informações sobre esse movimento pode permitir o desenvolvimento de modelos de mobilidade veicular mais realistas.

### 3.1. Definição dos Componentes do Movimento

Para haver uma caracterização mais apurada do movimento veicular, os componentes do movimento (velocidade, aceleração/desaceleração, ângulo de mudança de direção) e a medida tempo de pausa devem ser mensurados, sendo definidos da seguinte maneira:

- **Velocidade:** É a velocidade instantânea de um veículo em um determinado intervalo de tempo e pode ser calculada pela razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo observado. A unidade dessa medida é dada em quilômetros por hora ( $Km/h$ ).
- **Aceleração/Desaceleração:** Compreende a taxa de variação da velocidade do veículo em um determinado intervalo de tempo. Neste trabalho a desaceleração é considerada como uma aceleração negativa.
- **Ângulo de mudança de direção:** É a definição dada para a mudança de direção do veículo que estava na posição  $p_1$  e se deslocou para a posição  $p_2$  em um intervalo de tempo.
- **Tempo de Pausa:** É o período de tempo consecutivo no qual o veículo permanece parado, ou seja, sua velocidade é igual a zero. No trânsito o tempo de pausa pode ser atingido pelos frequentes engarrafamentos, carga e descarga de mercadorias ou ainda, pelo embarque e desembarque de passageiros.

Após a definição dos componentes do movimento que iremos investigar, serão apresentados os detalhes dos experimentos de coleta do movimento veicular a ser analisado.

### 3.2. Descrição dos Experimentos

A coleta do movimento foi realizada na cidade de Muriaé, que faz parte da Zona da Mata Mineira e possui aproximadamente 100 mil habitantes segundo o IBGE/2009. Esta cidade foi escolhida para a realização dos experimentos por possuir um transporte público para cada uma das regiões afastadas do seu centro, podendo representar uma rede veicular que interliga os usuários distantes geograficamente. Isto pode ser visto na Figura 1.

Através de um dispositivo GPS, foram coletados todos os trajetos feitos pelas 15 linhas de ônibus públicos urbanos da Coletivo Muriaeense ao longo do dia. Os registros adquiridos (*traces*) foram capturados entre agosto e outubro de 2009 nos horários entre 5:40 da manhã até 23:30 da noite. Neste trabalho, um trajeto é considerado o percurso feito por um ônibus no qual se inicia no ponto de partida da linha ao qual o ônibus pertence e termina no ponto final daquela linha. O percurso de volta, feito pelo mesmo ônibus, do ponto final ao ponto inicial da linha, é considerado um novo trajeto feito pelo mesmo ônibus. Um ônibus ao longo do dia, ao seguir o itinerário de viagem da linha ao qual pertence, pode passar por diferentes trajetos. Dessa forma, foram capturados ao todo 32 registros de mobilidade referentes a todos os diferentes trajetos percorridos.

O dispositivo de GPS utilizado foi um Apontador G8, fabricado pelo Grupo Unicoba<sup>2</sup>. Durante a coleta dos dados, não foi identificada perda de sinal entre o GPS e os satélites e após a análise dos *traces* no laboratório RAVEL na UFRJ, nenhum movimento atípico foi observado evitando que os mesmos fossem corrigidos.

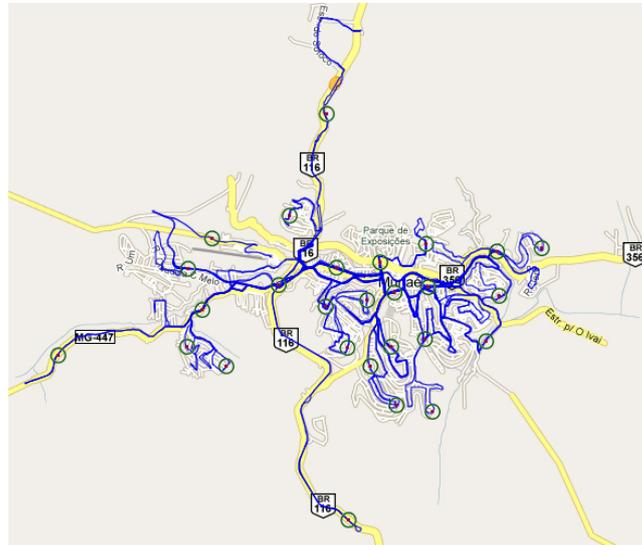


Figura 1. Comportamento da mobilidade veicular no cenário investigado

### 3.3. Resultados Obtidos

São apresentados os resultados estatísticos para cada componente extraído do movimento real. Para isso, as medidas: média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo e a quantidade de amostras de cada componente do movimento real foram obtidas e são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Medidas para cada componente do movimento veicular

Medida	Vel (Km/h)	Acel (m/s <sup>2</sup> )	Ângulo (°)	Pausa (s)
Média	22,6473	0,0278	7,2843	7,2598
Máximo	83,4434	3,3182	177,9863	168
Mínimo	2,001	-2,7715	0	1
Variância	144,8316	0,2904	124,1474	125,541
Desvio Padrão	12,0346	0,5389	11,1421	11,2045
Coeficiente de Variação	0,5314	19,3664	1,5296	1,5434
Número de Amostras	23058	23058	23058	839

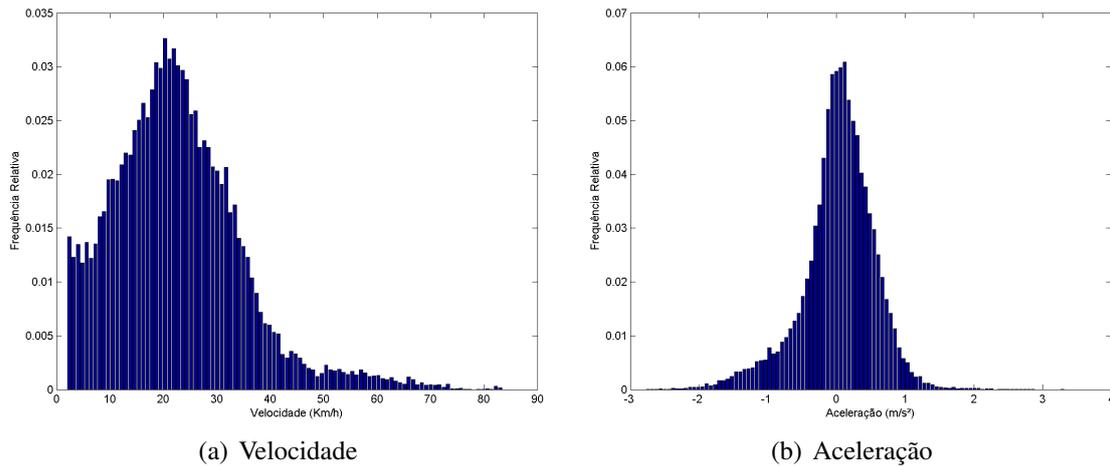
Neste trabalho é realizado também uma análise das características da distribuição de cada componente do movimento, no qual é muito importante tanto para a consolidação dos resultados obtidos, quanto para a observação dos dados capturados de maneira mais completa. Assim, a função de distribuição de probabilidade empírica para cada componente dos dados reais foram computadas e serão mostradas a seguir.

#### 3.3.1. Velocidade

Na Figura 2(a), é apresentada a distribuição da velocidade em relação aos dados reais obtidos. Pode-se perceber pela figura, a não ocorrência de velocidades com valor zero ou próximo de zero. Isso se deve ao fato de termos considerado um ônibus parado quando a sua velocidade, em um intervalo de tempo de captura, seja inferior a  $2\text{Km/h}$ . Essa

<sup>2</sup>Detalhes sobre o dispositivo de GPS podem ser encontrados em [http://www.apontadorgps.com.br/apt\\_g8.html](http://www.apontadorgps.com.br/apt_g8.html)

consideração foi feita baseando-se na possibilidade de ocorrer pequenas variações no sinal do receptor GPS durante um intervalo de tempo, do qual foi verificado que o ônibus estava realmente parado. Apesar das diferenças de posições serem na casa dos centímetros, o dispositivo poderia ter sido considerado em movimento e influenciado na distribuição da velocidade caso esta não tenha sido limitada inferiormente como especificado. Além disso, pode-se concluir que em 74% do tempo, os ônibus permanecem entre as velocidades de  $10\text{Km/h}$  e  $35\text{Km/h}$ , e que a velocidade média obtida foi de  $22\text{Km/h}$ .



**Figura 2. Função de distribuição de probabilidade empírica em (a), do componente velocidade e em (b), do componente aceleração**

### 3.3.2. Aceleração

A partir da Figura 2(b), podemos observar que 70% do tempo as acelerações são suaves e estão entre  $-0,5\text{m/s}^2$  e  $0,5\text{m/s}^2$ . A aceleração máxima observada foi de  $3,32\text{m/s}^2$  e a desaceleração máxima foi de  $-2,77\text{m/s}^2$ , mostrando uma maior ocorrência de acelerações bruscas do que desacelerações bruscas durante o movimento. Foi verificado que acelerações de maiores intensidades acontecem normalmente em momentos quando o ônibus está acelerando, logo após ele estar parado. Da mesma forma, as desacelerações bruscas acontecem normalmente quando o ônibus tende à velocidades próximas a zero.

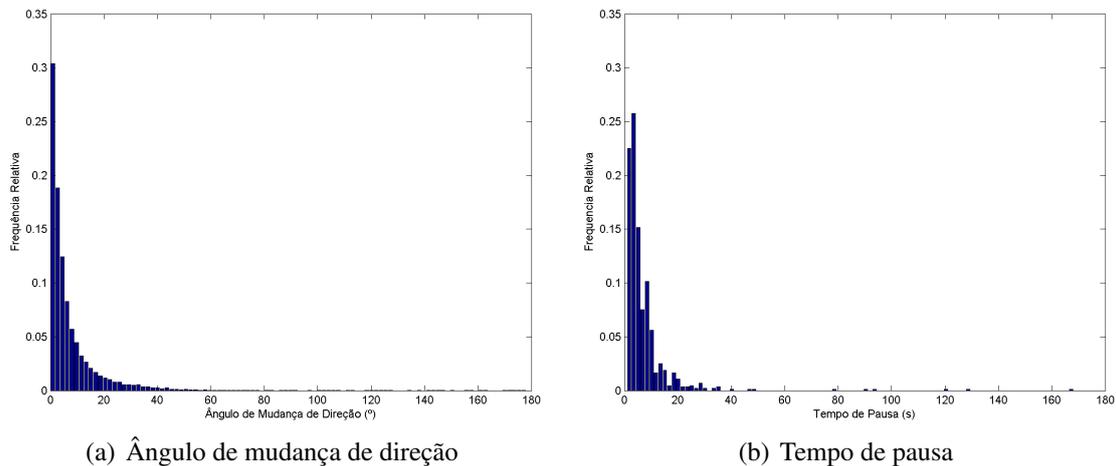
### 3.3.3. Ângulo de Mudança de Direção

A média observada para o ângulo de mudança de direção foi de  $7^\circ$ , explicada pelo fato dos veículos passarem maior parte do tempo trafegando em linha reta ou semi-reta. Ao trafegar em linha reta, tem-se a tendência de obter valores baixos para os ângulos de mudança de direção. Identifica-se assim uma predominância de valores baixos durante a análise desta componente, (figura 3(a)), sendo que 79% das mudanças de direção ocorridas são pequenas e variam de  $0^\circ$  até  $10^\circ$ . Este resultado é bem diferente do observado no movimento de pessoas [3].

### 3.3.4. Tempo de Pausa

O tempo de pausa considerado neste trabalho é aquele cujo o ônibus tenha ficado parado durante um determinado período de tempo e esse tempo não ultrapasse 3 minutos. Caso o ônibus tenha ficado parado por mais que 3 minutos, considera-se esse tempo como um tempo de parada e não será computado na distribuição de probabilidade do tempo de pausa. Embarque e desembarque de passageiros são os motivos mais comuns para que um ônibus faça um tempo de pausa, no entanto, esse tempo se deve também pelo fato da

ocorrência de engarrafamentos, do encontro de sinais vermelhos no trânsito, etc. O tempo de pausa médio foi de 7 segundos e 95% dos tempos de pausa ocorridos foram de até 20 segundos. A ocorrência de alguns valores altos para tempos de pausa são encontrados esporadicamente, e são considerados como uma ocorrência atípica no trânsito, explicada por exemplo, por um alto grau de engarrafamento, pela quantidade significativa de passageiros embarcando/desembarcando ou por algum outro problema que o motorista tenha tido no trânsito impedindo o seu movimento por alguns minutos.



**Figura 3. Função de distribuição de probabilidade empírica em (a), do componente ângulo de mudança de direção e, em (b), da medida tempo de pausa**

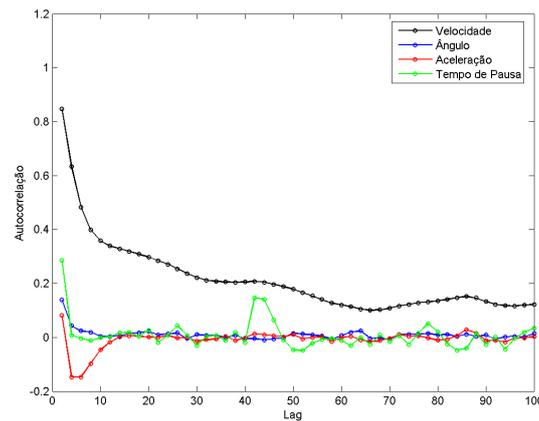
### 3.3.5. Autocorrelação

A observação da autocorrelação referente aos valores obtidos para cada componente do movimento veicular coletado se torna relevante ao analisar a ocorrência de dependências temporais de tais componentes. Autocorrelação é definida pela medida que indica o quanto o valor da instância de uma variável aleatória (componente do movimento) é capaz de influenciar suas instâncias vizinhas no tempo. Supondo que uma variável aleatória  $X(t)$ , dependente do tempo  $t$  e com média  $\mu$ ; sua autocorrelação é descrita da seguinte maneira,  $R(k) = \frac{E[(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)]}{\sigma^2}$ , onde  $E[\ ]$  é o valor médio,  $k$  é o deslocamento no tempo da observação e  $\sigma$  é a variância da variável  $X(t)$ .

Os resultados obtidos da autocorrelação para cada componente do movimento são mostrados na Figura 4. Altos valores observados pela componente velocidade, principalmente nos menores intervalos de observação entre as amostras, qualifica a velocidade por possuir uma alta dependência temporal, ou seja, os valores da velocidade de um ônibus, em intervalos de tempo próximos (até 10 segundos), estão altamente correlacionados. Isto acontece também com os componentes ângulo de mudança de direção e tempo de pausa, visto que apresentaram uma autocorrelação entre (-0,2 e 0,2) e (0 e 0,25), respectivamente, nos menores intervalos de tempo entre as amostras.

## 4. Ajuste de Algumas Funções de Distribuição de Probabilidade em Relação as Componentes do Movimento Capturado

Para que haja uma melhor compreensão a respeito da mobilidade veicular capturada, foram comparados os dados reais à algumas funções de distribuição de probabilidade conhecidas. Dentre tais distribuições, as utilizadas foram: Exponencial, Gama, Lognormal, Normal e Weibull.



**Figura 4. Autocorrelação de cada componente do movimento veicular**

O estimador da máxima verossimilhança (Maximum Likelihood Estimation - MLE) [8], foi usado na escolha dos parâmetros de cada distribuição, ajustando-os aos dados reais. Para verificar qual distribuição mais se aproximou de um componente do movimento veicular capturado, dois métodos foram utilizados: (i) - Erro Quadrático Médio (Mean Square Error - MSE) e (ii) - Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Detalhes sobre estes métodos também podem ser encontrados em [8].

**Tabela 2. MSE e K-S entre os componentes da mobilidade veicular e algumas funções de distribuição de probabilidade**

	Componente	Normal	Lognormal	Exponencial	Weibull	Gama
<b>MSE</b>	Velocidade	0,000867	0,003039	0,019523	0,000368	0,000932
	Aceleração	0,001541				
	Ângulo	0,019226	0,009929	0,005326	0,000765	0,001107
	Tempo de Pausa	0,015786	0,00062	0,002143	0,002211	0,002409
<b>Teste K-S</b>	Velocidade	0,048632	0,096545	0,224002	0,031452	0,056368
	Aceleração	0,076356				
	Ângulo	0,256627	0,156704	0,107617	0,054373	0,062117
	Tempo de Pausa	0,288073	0,083126	0,128678	0,122418	0,107324

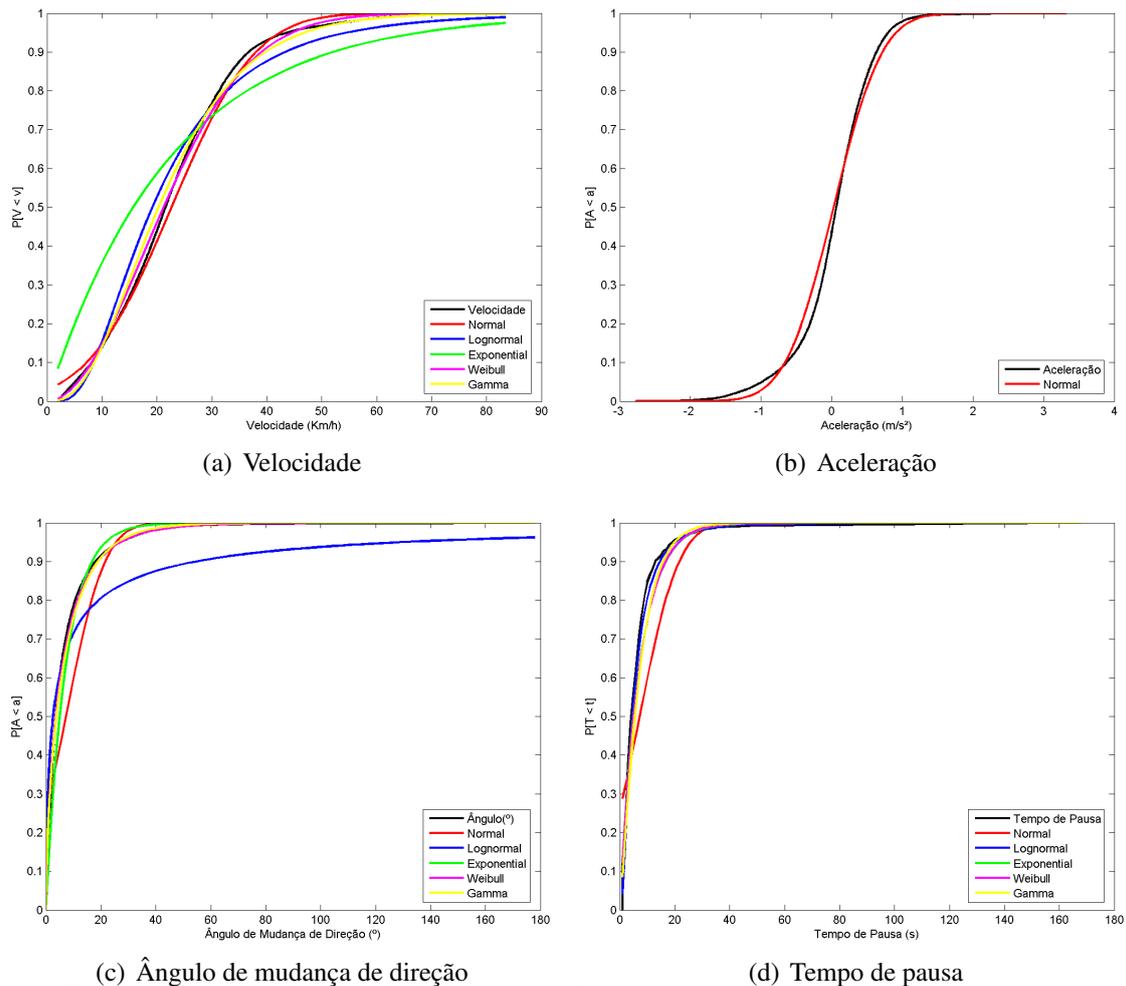
#### 4.1. Velocidade

A Figura 5(a), mostra a função de distribuição cumulativa empírica do componente velocidade da mobilidade veicular capturada, e uma comparação com a distribuição cumulativa das funções Exponencial, Gama, Lognormal, Normal e Weibull ajustadas ao componente velocidade, através do método MLE. Além da análise visual, foi necessária a realização de uma análise numérica para podermos identificar, de maneira mais formal, qual a função de distribuição que mais se aproximou da distribuição dos dados reais. Assim, através dos métodos MSE e K-S, foi computado o erro entre as curvas das funções de distribuição cumulativa e os dados da componente da mobilidade analisada.

Através da Tabela 2, pode-se verificar que a distribuição Weibull foi a que mais se aproximou do componente velocidade, pois apresentou os menores valores para o MSE e K-S. Portanto, a partir dos resultados obtidos, pode-se dizer que a velocidade do movimento veicular, atribuído aos ônibus públicos urbanos da cidade de Muriaé, segue uma função de distribuição Weibull.

#### 4.2. Aceleração

Na Figura 5(b) é apresentado o ajuste da distribuição cumulativa empírica do componente aceleração somente com a distribuição Normal, pois somente esta distribuição assumiu valores negativos semelhantemente aos dados reais. Através de uma análise visual e pela observação dos pequenos valores obtidos para MSE e K-S desta distribuição em relação aos dados reais, pode-se verificar a aproximação da aceleração com a distribuição Normal.



**Figura 5. Função de distribuição cumulativa empírica dos componentes do movimento e uma comparação com as funções de distribuição cumulativa Exponencial, Gama, Lognormal, Normal e Weibull**

### 4.3. Ângulo de Mudança de Direção

O ângulo de mudança de direção da mobilidade veicular também foi comparado com as funções de distribuição. Assim, a Figura 5(c) mostra essas distribuições ajustadas aos valores reais dessa componente. Através da Tabela 2, pode ser afirmado que a distribuição Weibull foi a que teve a melhor aproximação a curva do ângulo de mudança de direção, visto que ela apresentou o menor valor para MSE e K-S.

### 4.4. Tempo de Pausa

Na Figura 5(d) é apresentada a curva da distribuição cumulativa empírica da medida tempo de pausa da mobilidade veicular capturada e as funções de distribuição ajustadas à curva da mobilidade real. Pode-se observar, através da Tabela 2, que o menor MSE e K-S foi da distribuição Lognormal. Assim, o tempo de pausa analisado seguiu a distribuição Lognormal.

## 5. Impacto da Mobilidade Veicular Capturada no Desempenho das Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos e Desconexões

A maneira como os pacotes trafegam por uma rede determina, dentre outras características, a qualidade da rede. Informações como: o número de pacotes perdidos e re-

cebidos, tempo de transmissão de um pacote e o atraso para o recebimento do mesmo, estão diretamente relacionadas com o tráfego de pacotes na rede. Os protocolos de roteamento são utilizados para organizar este tráfego de pacotes e, portanto, a análise do desempenho desses protocolos é um resultado importante no estudo de redes em geral e, particularmente em DTNs veiculares, que possuem um alto grau de desconectividade.

Em uma DTN veicular, da qual as mensagens são roteadas pela rede através de veículos conectados intermitentemente, vários obstáculos dificultam o roteamento dos pacotes, entre eles: tempo limitado de contato entre os veículos e frequentes mudanças na topologia da rede. A mobilidade de uma rede veicular formada por ônibus urbanos, proporciona propriedades características de uma DTN veicular e neste trabalho, é utilizada como parâmetro de entrada para avaliar o desempenho desta rede, já que é importante se mensurar a qualidade da comunicação dos seus usuários.

### 5.1. Avaliação dos Protocolos de Roteamento

Muitos dos protocolos de roteamento para DTN conhecidos na literatura podem ser utilizados para avaliar uma rede veicular [10], dentre eles: o Epidêmico [15], o *Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity* (PROPHET) [1] e o *Spray and Wait* (SW) [14]. Estes protocolos serão avaliados neste trabalho.

Para o protocolo Epidêmico [15], quando um nó entra no alcance de transmissão de outro nó e é estabelecida uma conexão, eles trocam uma lista contendo seus pacotes armazenados e em seguida fazem uma comparação dos pacotes contidos na lista recebida com os pacotes presentes em cada nó, para determinar quais pacotes o nó não possui. Feito isso, o nó solicita o envio de cópias destes pacotes. Quanto mais cópias de um mesmo pacote forem encaminhadas na rede, maior será a probabilidade deste pacote ser entregue e menor será o atraso.

O PROPHET [1] é semelhante ao Epidêmico em relação a troca das listas de pacotes entre os nós, a diferença é que nesta lista existe um parâmetro para cada pacote, corresponde à probabilidade de cada nó  $a$  entregar pacotes para outro nó destino  $b$  ( $P_{(a,b)} \in [0, 1]$ ). O valor de  $P_{(a,b)}$  aumenta sempre que  $a$  e  $b$  se encontram e diminui se  $a$  e  $b$  deixam de se encontrar frequentemente. O tempo é controlado por uma constante  $k$ , denominada constante de envelhecimento, que corresponde ao número de unidades de tempo transcorridas desde a última vez que a métrica foi atualizada. Quando um nó recebe a lista do nó vizinho, ele calcula a probabilidade de entrega para cada pacote que ainda não possui e em seguida, para cada pacote, o nó compara a probabilidade indicada na sua lista com a probabilidade indicada na lista recebida do vizinho. Após essa comparação, os pacotes são trocados de forma com que cada nó fique somente com as mensagens cujo destino é mais provável de ser alcançado por ele.

O protocolo SW [14] possui duas fases, na primeira, chamada de *Spray*, para cada pacote gerado no nó origem, são feitas  $L$  cópias deste pacote nos quais serão repassados individualmente para os próximos  $L - 1$  nós encontrados. Se o nó destino não foi alcançado nesta fase, o protocolo entra na fase de espera, chamada *Wait*, onde os  $L$  nós que contem cópias do pacote, irão repassá-los somente para o nó destino. Uma otimização deste protocolo bastante utilizada é chamada de *Binary Spray and Wait*, no qual cada nó caso possua  $n > 1$  cópias do pacote (onde  $n$  é o número de cópias de um pacote contido em um nó), irá repassar  $\lceil n/2 \rceil$  e manterá  $\lfloor n/2 \rfloor$  cópias do pacote consigo, até o nó possuir apenas uma cópia do pacote ( $n = 1$ ), quando entrará na fase *Wait*.

Outro protocolo que é bastante utilizado para roteamento em redes veiculares e que também é avaliado neste trabalho é o MaxProp [7]. O MaxProp assume que cada nó possui *buffer* ilimitado para os pacotes gerados por ele, e um *buffer* finito para os pacotes gerados por outros nós. Através deste protocolo, um nó da rede repassa os pacotes para os outros nós até que o destino seja alcançado, ou o temporizador do pacote expire ou uma confirmação de entrega seja encaminhada por um terceiro nó. Esse protocolo também implementa um mecanismo que define uma estimativa para a probabilidade de entrega de cada pacote na rede por um determinado nó, e utiliza esse mecanismo para priorizar o encaminhamento dos pacotes de cada nó. A estimativa da probabilidade de entrega é calculada com base na frequência de encontro entre os nós, logo um pacote terá mais chances de ser entregue por um nó que tenha encontrado o nó destino mais vezes.

Para a avaliação desses protocolos, utilizou-se duas métricas. **Probabilidade de entrega:** definido como sendo a razão entre os pacotes entregues ao nó destino e o total de pacotes criados na rede. **Atraso médio:** calculado pela razão entre a soma dos atrasos de todos os pacotes trafegados na rede sobre a quantidade desses pacotes, onde atraso é definido como a diferença entre o momento no qual o pacote foi criado e o momento em que foi entregue ao destino.

## 5.2. Descrição dos Experimentos

Para avaliar o desempenho de alguns dos protocolos de roteamento utilizados, os registros da mobilidade veicular capturados, e descritos na Seção 3.2, foram formatados e sincronizados, de acordo com os horários e locais de partida de cada ônibus, afim de serem empregados como dados de entrada no simulador ONE (*Opportunistic Network Environment*) [9] e tornar possível uma simulação de 330 minutos. Os parâmetros usados na simulação são listados na Tabela 3 e foram baseados em [7] e [18].

**Tabela 3. Parâmetros da simulação**

Área de Simulação	9 Km x 8 Km
Tempo de Simulação	22800 segundos
Número de nós	25
Eliminação do tempo transiente	3000 segundos
Buffer em cada nó	5 MB
Velocidade transmissão do nó	11 Mbps
Raio de transmissão do nó	100 metros
Carga na rede por nó	18 pacotes gerados por hora
Tamanho dos pacotes	entre 1 KB e 20 KB

Além dos parâmetros especificados, alguns dos protocolos de roteamento tiveram seus parâmetros característicos ajustados. Para o PROPHET, foi ajustado para 0,75 a probabilidade *a priori* de um nó entregar um pacote para o destino e a constante de envelhecimento foi fixada em 30 segundos. Para o SW, a otimização binária foi utilizada, pois é um protocolo SW ótimo, e o número de cópias de cada pacote foi definido em 6 [14]. Estes valores foram definidos de maneira a obter menos pacotes repassados pela rede concomitantemente para maximizar a probabilidade de entrega. Por fim, foram realizadas 10 rodadas de simulação para cada cenário investigado.

As simulações se procederam em dois conjuntos de experimentos, nos quais foram gerados resultados fundamentados no comportamento dos protocolos de roteamento avaliados, com o intuito de se determinar as ocorrências das transferências oportunísticas e a influência dos parâmetros dos nós sobre os protocolos. Os cenários observados foram:

1. Probabilidade de entrega dos pacotes e atraso médio para a entrega dos pacotes quando o raio de transmissão é variado de 50 à 400 metros em cada nó. O restante dos parâmetros configurados são mostrados na Tabela 3.
2. Probabilidade de entrega dos pacotes e atraso médio para a entrega dos pacotes ao variar o tamanho do *buffer* de 512KB a 5MB em cada nó. Os outros parâmetros configurados também são descritos na Tabela 3.

### 5.3. Resultados

A medida que o raio de transmissão dos nós aumenta, cresce também o tráfego de pacotes na rede e, conseqüentemente, a perda desses pacotes devido ao transbordo de *buffer*. Em cada simulação realizada, foram gerados pelos nós um total de 2.475 pacotes na rede. Como cada pacote possui em média 10KB, pode ter ocorrido o transbordo do *buffer* de alguns nós da rede, configurados em 5MB, para os protocolos avaliados.

Ao observar a Figura 6(a), referente a probabilidade de entrega dos pacotes ao variar o raio de transmissão dos nós, percebe-se um melhor desempenho dos protocolos MaxProp e SW. Isso ocorre porque SW limita o número de cópias dos pacotes gerados, e o MaxProp elimina do *buffer* os pacotes dos quais foram confirmados a sua entrega, evitando assim a perda de muitos pacotes por transbordo de *buffer* nesses protocolos. Verifica-se também que a medida que o raio de transmissão é incrementado, os protocolos PROPHET e Epidêmico diminuem suas taxas de entrega. No PROPHET, os pacotes são perdidos por não ter cópias do mesmo na rede, e no Epidêmico, por haver muitas cópias de pacotes na rede e, conseqüentemente, rápidos transbordos de *buffers*. Na avaliação do atraso médio variando o raio de transmissão dos nós, conforme mostrado na Figura 6(b), verifica-se um melhor desempenho do protocolo MaxProp; resultado de sua produtiva ordenação da transmissão dos pacotes em um nó e do seu mecanismo eficiente de listagem e repasse dos pacotes para os nós que possuem maior probabilidade de entregá-los ao destino.

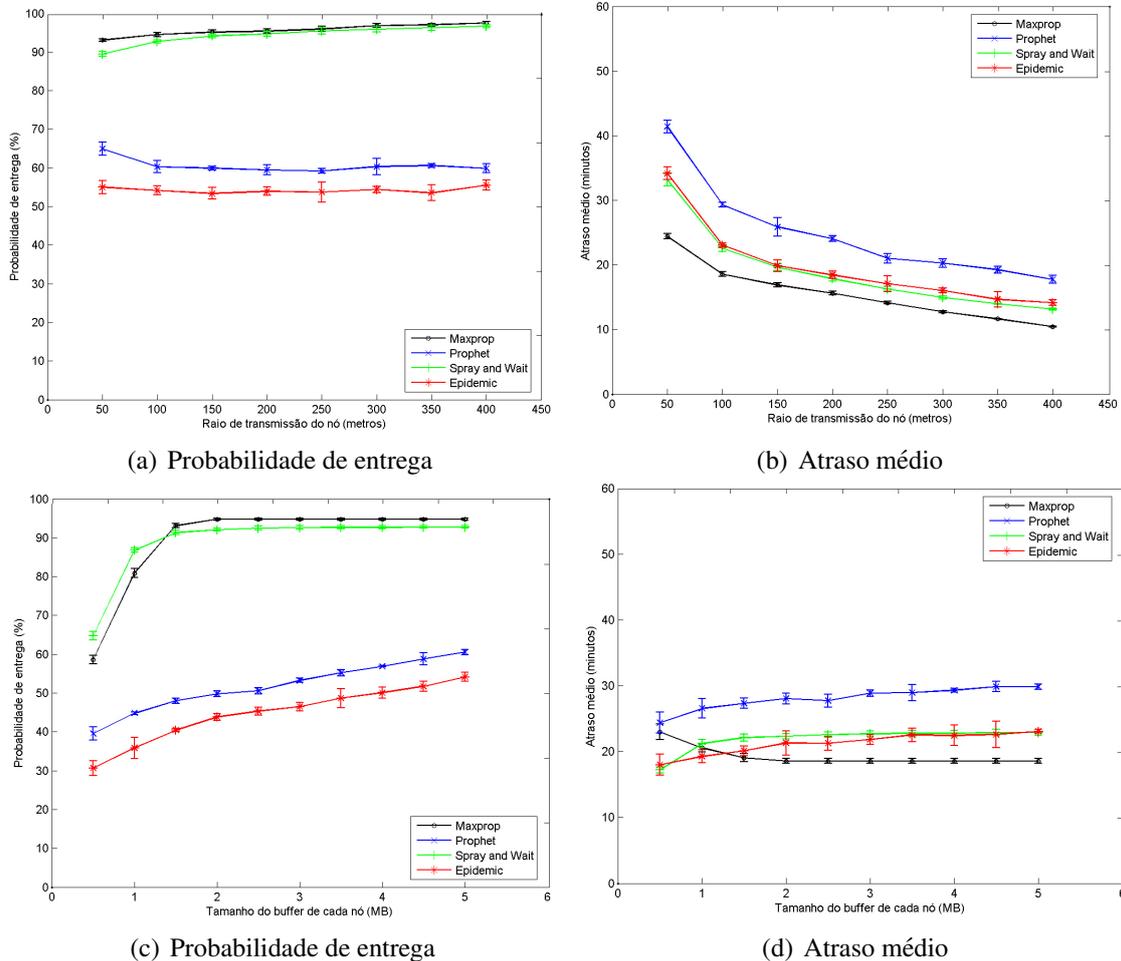
Ao variar o *buffer* em cada nó, Figura 6(c), foi observado um melhor desempenho do MaxProp e em seguida do SW para a taxa de entrega dos pacotes. Limites de cópias para os pacotes, impostos por esses protocolos, influenciaram diretamente na probabilidade do pacote ser entregue ao destino. Verifica-se também uma melhora gradual do desempenho dos protocolos Epidêmico e PROPHET a medida que o *buffer* dos nós aumenta, isso ocorre por causa do menor número de pacotes que são perdidos na rede e conseqüentemente melhores chances deles serem entregues ao destino. O MaxProp obtém novamente o melhor desempenho na métrica atraso médio, Figura 6(d); justificado também pelos mecanismos que o caracterizam.

Dos protocolos avaliados, pode-se concluir que o melhor desempenho foi obtido pelo MaxProp. Além disso, este protocolo teve um comportamento mais estável e apresentou melhores resultados para as métricas taxa de entrega e atraso médio dos pacotes.

### 6. Conclusão

Através da análise do comportamento da mobilidade veicular capturada, podemos identificar os padrões com que os motoristas dos ônibus públicos urbanos transitam pela cidade de Muriaé. A partir daí, pode-se concluir que na maior parte do tempo em que trafegam pelo trânsito, estão com uma velocidade entre 10Km/h e 35Km/h, suas acelerações são na maioria das vezes suaves e estão entre  $-0,5m/s^2$  e  $0,5m/s^2$ . A ocorrência de poucas mudanças bruscas de direção também foram observadas, já que na maior parte do tempo

os veículos mudaram sua direção em até  $10^\circ$ . Em relação ao tempo de pausa, observamos claramente a predominância de tempos de até 20 segundos, característicos para embarque e desembarque de passageiros.



**Figura 6. Desempenho dos protocolos de roteamento em função do raio de transmissão dos nós em (a) e (b), e em função do tamanho do buffer em (c) e (d).**

Ao ajustar algumas funções de distribuições cumulativas conhecidas aos componentes do movimento veicular capturado, observou-se que a distribuição Weibull foi a que mais se aproximou à velocidade e à mudança de ângulo de direção dos dados reais. Já as distribuições Normal e Lognormal foram as que mais se aproximaram das medidas aceleração e tempo de pausa, respectivamente. Assim, a identificação de tais distribuições proporcionou um conhecimento mais detalhado da mobilidade veicular dos ônibus no cenário investigado, podendo vir a auxiliar no desenvolvimento de novos protocolos de roteamento voltados para veículos e de modelos de mobilidade veiculares mais realistas.

Ao analisar o comportamento da mobilidade veicular capturada em uma DTN veicular, verificou-se que para os protocolos de roteamento investigados, aquele que mais se adequou às redes veiculares foi o MaxProp, obtendo as melhores taxas de entrega e os menores atrasos. Além disso, podemos dizer que para a realização de estudos precisos com redes veiculares, há a necessidade de uma investigação e utilização microscópica da mobilidade dos veículos que compõem a rede, podendo dessa forma assegurar a geração de resultados confiáveis.

## Referências

- [1] A. Doria A. Lindgren and O. SchelSn. Probabilistic routing in intermittently connected networks. *Proc. of the MobiHoc*, 2003.
- [2] K. Gopalan A. Mahajan, N. Potnis and A. Wang. Modeling vanet deployment in urban settings. In *Proc. of the ACM MSWiN*. Crete Island, Greece, 2007.
- [3] Carlos A.V. Campos. *Caracterização da Mobilidade Humana e de Modelos de Mobilidade e suas Influências nas Redes Móveis*. PhD thesis, COPPE/UFRJ, 2009.
- [4] W. Soualhi D. Djenouri and E. Nekka. Vanet's mobility models and overtaking: An overview. In *Proc. of the ICTTA*, pages 1–6, 2008.
- [5] Z. H. Mo F. K. Karnadi and K. chan Lan. Rapid generation of realistic mobility models for vanet. In *Proc. of the IEEE WCNC*, 2007.
- [6] E. Giodano Enzo De Sena G. Marfia, G. Pau and M. Gerla. Vanet: On mobility scenarios and urban infrastructure. a case study. In *INFOCOM' 07*. Alaska, USA, 2007.
- [7] D. Jensen J. Burgess, B. Gallagher and B. N. Levine. Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In *Proc. of the IEEE INFOCOM*, 2006.
- [8] R. Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. New York, NY, USA: John Wiley and Sons, 1991.
- [9] A. Keranen and J. Ott. The one: The opportunistic network environment simulator. In <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone>.
- [10] S. Olariu and Michele C. Weigle. *Handbook on Vehicular Networks*, chapter 10. Taylor e Frances, 2009.
- [11] Stephan Olariu and Michele C. Weigle. *Vehicular Networks: From Theory to Practice*. Chapman e Hall/CRC, first edition, 2009.
- [12] H. Y. Huang P. E. Luo and M. L. Li. Performance evaluation of suvnet with real-time traffic data. In *IEEE Vehicular Technology Society*, pages 3381–3396, 2007.
- [13] Amit Kumar Saha and David B. Johnson. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks. In *Proc. of the ACM VANET*, pages 91–92, Philadelphia, PA, USA, 2004.
- [14] K. Psounis T. Spyropoulos and C. S. Raghavendra. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. *Proc. of the ACM SIGCOMM*, 2005.
- [15] A. Vahdat and D. Becker. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks, 2000.
- [16] Rainer Baumann Valery Naumov and Thomas Gross. An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. In *Proc. of the MobiHoc*. Florence, Italy, 2006.
- [17] B. N. Levine D. Towsley X. Zhang, J. Kurose and H. Zhang. Study of a bus-based disruption-tolerant network: Mobility modeling and impact on routing. In *Proc. of the ACM MobiCom*. Montreal, Canada, 2007.
- [18] M. Liõ H. Huangõ Xu Liõ, Wei Shu and M. Wu. Dtn routing in vehicular sensor networks. In *Proc. of the IEEE GLOBECOM*, 2008.