

# Avaliando o Desempenho de Redes Veiculares Heterogêneas

Cristiano M. Silva<sup>1,2</sup>, Andre L. L. Aquino<sup>3</sup>, Wagner Meira Jr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)  
Belo Horizonte – MG – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ)  
Ouro Branco – MG – Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Alagoas (UFAL)  
Maceió – AL – Brasil

cristiano@ufsj.edu.br, alla@ic.ufal.br, meira@dcc.ufmg.br

**Abstract.** *There are several kinds of envisioned vehicular applications. Such applications demand minimal (and possibly distinct) QoS guarantees that must couple the vehicular network. Given that vehicular networks will soon become reality, we demand strategies for planning and managing such networks. In this work we propose the Delta Network metric. By using the Delta Network we may compare the performance of distinct vehicular network setups, independently of the access technology.*

**Resumo.** *Diversos tipos de aplicações veiculares são vislumbradas. Tais aplicações demandam qualidades mínimas (e possivelmente distintas) de serviço que precisam casar com a rede veicular. Dado que as redes veiculares serão uma realidade em breve, existe uma demanda por estratégias que apoiem o planejamento e a gestão dessas redes. Nesse trabalho apresenta-se a métrica Rede Delta. Através da Rede Delta pode-se comparar o desempenho de diferentes configurações de redes veiculares, de forma independente da tecnologia de acesso.*

## 1. Introdução

Uma rede veicular [Hartenstein and Laberteaux 2008] tem o objetivo de conectar veículos e demais entidades componentes do sistema de tráfego. O objetivo final de uma rede veicular é servir como um canal de comunicação para as chamadas aplicações veiculares. Atualmente existem diversas aplicações veiculares já propostas, contemplando desde monitoramento de tráfego até estratégias complexas para a distribuição de vídeos e execução de jogos interativos sobre as redes veiculares. Dado um espectro tão amplo de aplicações veiculares, faz-se natural acreditar que cada aplicação demande um nível de serviço diferente da rede. Como exemplo, aplicações de monitoramento de tráfego não exigem grande largura de banda, nem tendem a apresentar requisitos rígidos em termos do tempo de entrega de mensagens. Por outro lado, aplicações de transmissão de vídeo são muito sensíveis a atrasos (e sua variação).

Similarmente, redes veiculares existentes em localidades distintas apresentam qualidades de serviço também distintas entre si, visto que se trata de um novo arranjo de comunicação. As diferenças se dão em termos de: a) frota de veículos, b) do tipo

de rádio equipando cada veículo, c) da quantidade de veículos habilitados à participar da rede veicular (taxa de penetração), d) da malha viária, e) dos padrões de movimentação urbana, f) do tipo e quantidade de cobertura 3G/4G/5G, g) da quantidade de unidades de comunicação de beira de estrada (também conhecidas como Roadside Units ou RSUs) disponíveis, além de diversos outros fatores.

Por outro lado, dado que as redes veiculares serão realidade em breve, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias que permitam o planejamento, gerenciamento e operação dessas redes, bem como das aplicações veiculares. A comparação entre redes veiculares distintas permite a identificação de projetos de redes bem sucedidos, permitindo que se aprenda através da experiência de outros, reduzindo a possibilidade de fracasso na implantação de uma nova rede veicular.

O desenvolvimento de uma métrica capaz de mensurar a qualidade de serviço de uma rede veicular também possui papel importante no projeto, desenvolvimento e implantação das aplicações veiculares, permitindo que o desenvolvedor de aplicações possa considerar premissas factíveis sobre a qualidade de serviço ofertada pela rede. Por outro lado, o desenvolvimento desse tipo de métrica também serve ao projetista da rede veicular, que passa a contar com uma ferramenta que lhe permite avaliar se sua rede veicular está apta (ou não) para suportar uma nova aplicação veicular.

Sendo assim, **esse trabalho propõe o conceito de Rede Delta para servir como métrica para a avaliação do desempenho das redes veiculares**. As estratégias tradicionais para a medição do desempenho de uma rede são baseadas na latência e largura de banda. No entanto, quando consideramos uma rede primordialmente composta por veículos, a latência e a largura de banda se tornam menos expressivas, pois dependem da localização dos veículos.

De forma similar, métricas tipicamente adotadas no gerenciamento das redes celulares (densidade de estações rádio-base por km<sup>2</sup>, por exemplo) também não parecem suficientes para sumarizar a qualidade de serviço da rede percebida pelos veículos. Além disso, deve-se considerar também que uma rede veicular possui requisitos distintos de uma rede celular. Diferentemente de uma rede celular, veículos não dependem de cobertura durante todo o seu deslocamento. Ao invés disso, os veículos podem se abastecer e descarregar dados conforme cruzam (de forma oportunista) pontos de disseminação de dados [Frenkiel et al. 2000].

Esse trabalho apresenta a Rede Delta ( $\Delta$ ), uma métrica para mensurar o desempenho de uma rede veicular. A Rede Delta é uma métrica projetada para refletir a conectividade percebida pelos veículos. Delta permite que o projetista de rede compare o desempenho de redes veiculares distintas, e que também avalie a aderência entre a rede e as aplicações veiculares. Delta é composta de duas medidas básicas: i) duração percentual da conexão em termos da viagem como um todo, e ii) percentual de veículos apresentando essa duração da conexão. Como exemplo, suponha uma dada aplicação veicular que demande que 20% dos veículos estejam conectados durante 30% da viagem. Essa aplicação veicular demanda, então, uma Rede  $\Delta_{0,2}^{0,3}$ .

Esse trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: A seção 2 formaliza a definição da Rede Delta. A seção 3 aplica Delta para a análise de uma rede composta apenas por comunicação V2V usando o cenário de mobilidade realista da cidade de

Colônia, Alemanha. Já a seção 4 aplica Delta para a caracterização da comunicação em uma rede veicular infraestruturada. A seção 5 apresenta uma seleção de trabalhos relacionados, e a seção 6 conclui o documento.

## 2. Métrica de Avaliação Rede Delta

Essa seção apresenta a Rede Delta ( $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$ ), uma métrica projetada para avaliar a conectividade de redes veiculares, onde  $\rho_1$  e  $\rho_2$  são parâmetros de entrada definindo garantias mínimas de desempenho da rede veicular. O parâmetro  $\rho_1$  é chamado de fator de duração da conexão e indica a porcentagem de tempo que um veículo permanece conectado em relação ao seu tempo total de viagem. Como exemplo, se o projetista de rede deseja que veículos permaneçam conectados durante 10% da viagem,  $\rho_1$  deve ser igual a 0,1. Já o parâmetro  $\rho_2$  indica a proporção de veículos que possuem o fator de duração de conexão  $\rho_1$ . Assim, uma dada rede veicular é  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$  quando  $\rho_2$  dos veículos permanecem conectados por, pelo menos,  $\rho_1$  do tempo de duração da viagem. Formalmente, uma Rede Veicular Delta pode ser definida conforme apresentado a seguir:

**Definição 1 (Rede  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$ )** *Seja  $R$  uma malha viária e  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  um conjunto de veículos pertencentes à essa malha. Seja  $C \subseteq V$  um sub-conjunto de veículos que percebem uma conexão durante  $\rho_1$  por cento de sua viagem. Uma rede é  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$  quando  $|C|/|V| \geq \rho_2$ .*

Delta possui a importante característica de medir o desempenho da rede veicular de uma forma independente de tecnologia, o que simplifica o projeto, avaliação e extensão da rede. Visto que Delta busca refletir a conectividade experimentada pelos veículos, as tecnologias de comunicação usadas para esse fim não são relevantes (4G, Bluetooth, Wi-Fi, ou outra). A figura 1 ilustra a métrica Rede Delta. Diferente de outras abordagens, a métrica não é representada por um único valor. Ao invés disso, Delta é representada como uma semicurva num plano bidimensional onde o eixo  $x$  indica  $\rho_1$  e o eixo  $y$  indica  $\rho_2$ . Em fato, Delta representa a relação entre  $\rho_1$  e  $\rho_2$ .

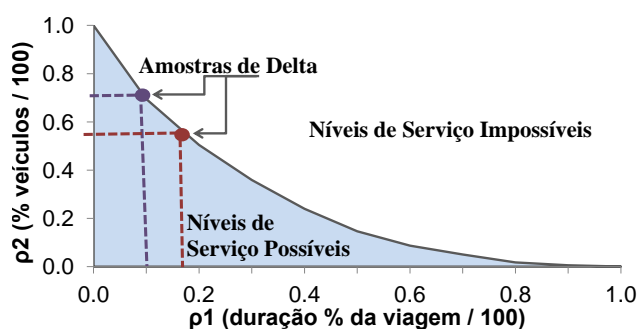


Figura 1. Semicurva indicando a Rede Delta como a relação entre  $\rho_1$  e  $\rho_2$ .

A área sombreada indica níveis de serviço passíveis de serem atingidos pela rede veicular. A semicurva indica o máximo desempenho possível para a rede, enquanto que a área fora da curva indica níveis de serviço impossíveis de serem obtidos pela rede em questão. Finalmente, embora  $\rho_1$  e  $\rho_2$  indiquem porcentagens, esse trabalho adota uma representação baseada em valores entre 0 e 1 (mais condensada). Assim, 80% é representado como 0,8. A representação de Delta como uma relação entre  $\rho_1$  e  $\rho_2$  tem a vantagem de delimitar completamente a região de operação da rede veicular,

permitindo a comparação detalhada de redes veiculares distintas com o objetivo de identificar peculiaridades e estratégias de projeto de sucesso.

### 3. Caracterizando a Comunicação V2V

Essa seção apresenta a aplicação de Delta para a avaliação de desempenho de uma rede veicular baseada apenas em comunicações V2V com o objetivo de caracterizar o desempenho máximo passível de ser obtido. Assume-se um modelo onde a conectividade depende apenas distância física entre os veículos, um modelo adequado aos objetivos de delimitar o máximo desempenho possível para a rede. Assim, os resultados aqui reportados representam limites máximos teóricos, visto que outros fatores (além da proximidade física) afetam o estabelecimento (ou não) de conexões.

A avaliação é realizada com base em registros realísticos de mobilidade da cidade de Colônia, Alemanha<sup>1</sup> no horário de 6:00hs até 6:15hs, ou seja, numa condição de baixo para médio tráfego. A escolha desse intervalo de horário foi intencional para garantir um fluxo com boa fluidez e sem a presença de congestionamentos. A amostra é composta por 2 500 veículos. Os experimentos são realizados com base no Simulador SUMO<sup>2</sup> e num conjunto de programas complementares.

A porcentagem de veículos instrumentados com rádios é indicada como TP (taxa de penetração). Um cenário é avaliado considerando-se até quatro taxas de penetração: 25%, 50%, 75% e 100%. As avaliações também consideram duas potências de rádios transmissores: 50m e 250m. Essas potências foram selecionadas com o intuito de comparar o impacto do alcance dos rádios com a conectividade experimentada pelos veículos. A definição desses valores é suportada por testes de campo apresentados do protocolo IEEE 802.11p no trabalho [Teixeira et al. 2014].

#### 3.1. Análise de Conectividade da Comunicação Ad Hoc

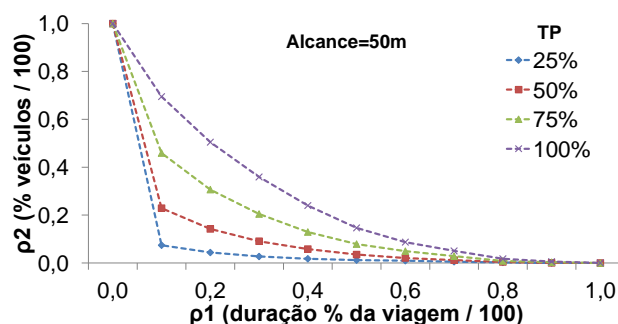
Esse experimento analisa a influência do raio de transmissão dos veículos na comunicação ad hoc. Assim, esse cenário mede o desempenho da rede considerando apenas a comunicação veículo-a-veículo, sem a presença de qualquer infraestrutura de suporte. A figura 2 apresenta o número de oportunidades de contato para proporções distintas de veículos instrumentados com rádios (25%, 50%, 75%, 100%) assumindo-se um raio de transmissão de 50m. O eixo  $x$  indica  $\rho_1$  (percentual da viagem conectado), enquanto que o eixo  $y$  indica  $\rho_2$ , o percentual de veículos apresentando tal fator de duração da conexão.

A figura 2 apresenta os resultados obtidos após a aplicação de Delta na rede simulada (cenário de Colônia com tráfego entre 6:00hs e 6:15hs). O ponto ( $x=0,0$ ;  $y=1,0$ ) indica que 100% dos veículos ( $y$ -axis) estão conectados durante, pelo menos, 0% da duração de sua viagem, independente da quantidade de veículos instrumentados com rádios (TP). Naturalmente, esse é um resultado óbvio, mas ainda assim possui valia para a explicação de Delta. Dado isso, pode-se afirmar que essa rede é  $\Delta_{1,0}^{0,0}$  (na verdade, qualquer rede veicular sempre assumirá esse valor, afinal sempre teremos 100% dos veículos conectados durante 0% ou mais de sua viagem).

A geração desse resultado foi realizada da seguinte forma: a partir do rastro realístico de mobilidade veicular (Colônia, Alemanha), o simulador computa os encontros

<sup>1</sup>Dados disponíveis em: <http://kolntrace.project.citi-lab.fr/>

<sup>2</sup>Simulador Sumo: <http://sumo-sim.org>.



**Figura 2. Oportunidades de contato assumindo apenas comunicação V2V: O eixo  $x$  indica  $\rho_1$  (percentual da viagem conectado), enquanto que o eixo  $y$  indica  $\rho_2$  (% de veículos apresentando o fator de duração da conexão indicado em  $x$ ).**

entre veículos considerando os alcances de transmissão e a quantidade de veículos instrumentados com rádios. Caso a quantidade de veículos instrumentados (TP) seja inferior à 100%, o simulador determina quais veículos terão rádios transmissores agrupando os 2.500 veículos em grupos de 100, e selecionando os  $TP$  primeiros veículos desse grupo. Como exemplo, caso TP seja 25%, o simulador definirá os veículos de 1 a 25 como tendo rádios transmissores. Já os veículos de 26 até 100 não terão rádios transmissores para o primeiro grupo. Note que a simulação completa conta, então, com 25 grupos de 100 veículos.

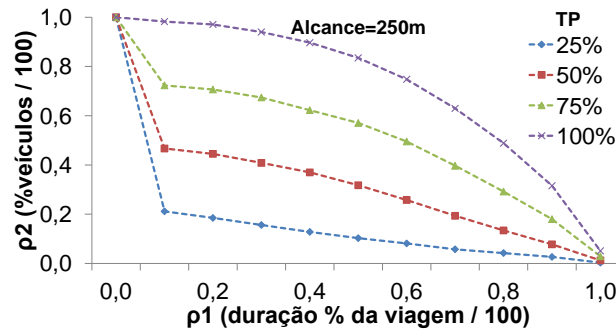
Para compreender essa decisão, é importante considerar que os veículos não entram ao mesmo tempo na simulação, da mesma forma que veículos reais não saem todos da garagem ao mesmo tempo. Os veículos entram em operação seguindo sua numeração, em momentos distintos, com tempos de viagens distintos, origens distintas e rotas distintas. Assim, a estratégia de seleção proposta cumpre o objetivo de distribuir os veículos selecionados de forma uniforme ao longo de toda a simulação.

Conforme já mencionado, uma rede Delta é definida através de uma semicurva que delimita uma região de operação da rede. Essa semicurva pode ser representada através de pares  $(x,y)$  que residem na fronteira da região, e indicam níveis máximos de serviço da rede. Considerando uma  $TP=100\%$ , o segundo ponto existente na figura 2 possui o valor  $(x=0,1; y=0,69)$ , classificando essa rede também como uma  $\Delta_{0,69}^{0,1}$  quando  $TP=100\%$ . Isso implica que 69% dos veículos estão conectados durante (pelo menos) 10% de seu tempo de viagem. Já o ponto  $(x=0,2; y=0,5)$  indica uma rede  $\Delta_{0,5}^{0,2}$  quando a taxa de penetração é 100%, isto é, 20% dos veículos estão conectados durante (pelo menos) 50% do tempo de viagem. Dessa forma, essa mesma rede poderia ser dita como sendo  $\Delta_{1,0}^{0,0}$ ,  $\Delta_{0,69}^{0,1}$ , ou  $\Delta_{0,5}^{0,2}$  (além de outras) quando assume-se  $TP=100\%$ .

Os resultados demonstram que, conforme aumenta-se a taxa de penetração, também aumenta-se a conectividade da rede. Visto que a maior taxa de penetração possível é de 100%, a semicurva  $TP=100\%$  também serve para indicar o máximo desempenho possível para a rede veicular baseada exclusivamente em comunicações V2V. Como consequência direta, tal rede não pode suportar aplicações veiculares que demandem uma conectividade superior ao limite indicado pela semicurva  $TP=100\%$ . Assim sendo, se uma dada aplicação veicular demanda que (por exemplo) 80% dos veículos permaneçam conectados por pelo menos 50% do seu tempo de viagem, essa

aplicação não pode ser implantada nessa rede em questão. Tal aplicação demanda uma rede que atenda à  $\Delta_{0,8}^{0,5}$ , mas a rede em estudo atinge em seu limiar um  $\Delta_{0,15}^{0,5}$ .

Quando se aumenta o raio de transmissão dos veículos para 250m, o desempenho da rede passa a se comportar conforme apresentado na figura 3, claramente uma melhor experiência de conectividade que a apresentada na figura anterior (figura 2).



**Figura 3. Oportunidades de contato assumindo apenas comunicação V2V: O eixo  $x$  indica  $\rho_1$  (percentual da viagem conectado), enquanto que o eixo  $y$  indica  $\rho_2$ , o percentual de veículos apresentando o fator de duração da conexão indicado no eixo  $x$ .**

#### 4. Caracterização da Comunicação V2I

Roteamento e segurança são dois desafios importantes em redes veiculares. Uma possível solução para endereçar esses desafios é através da adoção de uma infraestrutura de comunicação implantada na beira da estrada (roadside units). Diversos estudos científicos demonstram que essa infraestrutura pode aumentar a funcionalidade da rede em diversos aspectos [Silva et al. 2013]. Além disso, essa infraestrutura também possui um papel importante para a garantia de integridade das mensagens e validação de reputação. Assim, a seção seguinte investiga o desempenho de uma rede veicular infraestruturada, também através da aplicação do conceito de uma Rede Delta.

Com o objetivo de aumentar o desempenho da rede veicular pode-se disponibilizar uma infraestrutura de suporte servindo como pontos de coleta e disseminação de dados. Tal infraestrutura pode, dentre outras atividades, registrar a localização dos veículos e melhorar substancialmente o desempenho do roteamento na rede veicular, reduzindo consideravelmente o tempo demandado para a entrega de mensagens através da interligação das unidades de beira de estrada.

A implantação de infraestrutura demanda a solução de um problema básico que se refere à definição do local físico onde cada unidade de beira de estrada deve ser implantada. Essa seção apresenta, então, a heurística Delta-g (Delta-greedy), uma extensão do conceito da Rede Delta para subsidiar uma estratégia para implantação de infraestrutura para redes veiculares. O objetivo de Delta-g é alocar as unidades de beira de estrada de forma a atingir uma Rede  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$  desprezando-se a comunicação V2V. Assim, pretende-se distribuir unidades de beira de estrada até que  $\rho_2$  percento dos veículos experimentem uma duração de conexão referente à  $\rho_1$  percento de tempo de viagem.

Delta-g avalia as trajetórias de todos os veículos de forma a estabelecer os locais para a implantação da infraestrutura. No estado atual, Delta-g assume que os

veículos interessados numa melhor cobertura irão registrar previamente sua rota na rede. No entanto, Delta-g pode ser facilmente adaptada para utilizar estratégias de previsão de trajetórias (conforme apresentado em [Silva et al. 2013]) como forma de mitigar o requisito de prévio conhecimento de trajetórias.

---

### Algorithm 1 Delta-g.

---

**Entrada:**  $M, V, T, \rho_1, \rho_2$ ;

**Saída:**  $\Gamma$

1:  $M' \leftarrow M$

2:  $\varphi \leftarrow \text{MAX}(M')$ ;

3:  $\Gamma \leftarrow \varphi$ ;

4:  $M' \leftarrow M' - \varphi$ ;

5:  $C \leftarrow \text{CONTACTO}(M, V, T, \Gamma, \rho_1)$ ;

6: **while**  $\frac{|C|}{|V|} < \rho_2$  **do**

7:    $\varphi \leftarrow \text{MAXTEMPOC}(M', V-C)$ ;

8:    $\Gamma \leftarrow \varphi$ ;

9:    $M \leftarrow M - \varphi$ ;

10:    $C \leftarrow \text{CONTACTO}(M, V, T, \Gamma, \rho_1)$ ;

11: **end while**

12: **return**  $\Gamma$ ;

---

▷ Células recebendo RSUs  
 ▷ Copia as partições da malha  
 ▷ Seleciona a célula mais densa  
 ▷ Adiciona ao conj. solução  
 ▷ Remove a célula selecionada  
 ▷ Veículos atingindo duração  $\rho_1$   
 ▷ Laço até atingir cobertura desejada  
 ▷ Seleciona célula urbana  
 ▷ Adiciona ao conj. solução  
 ▷ Remove a célula urbana  
 ▷ Veículos atingindo  $\rho_1$

O algoritmo 1 apresenta Delta-g, uma estratégia para a alocação de infraestrutura que garante níveis mínimos de qualidade de serviço da rede veicular. Delta-g recebe como entrada uma matriz  $M$  que descreve a densidade de veículos ao longo da malha viária, um conjunto de veículos  $V$ , uma coleção de trajetórias  $T$ , além dos parâmetros de qualidade de serviço ( $\rho_1, \rho_2$ ). Delta-g considera uma área urbana particionada num gride de células urbanas de tamanho arbitrário. Através do particionamento, Delta-g simplifica a malha viária, abstraindo-se da intrincada topologia geralmente associada à essas malhas. Quanto maior o número de células cobrindo a malha viária, maior a precisão do algoritmo.

A primeira unidade de beira de estrada é alocada na célula urbana mais densa (linhas 2-3). Após isso, essa célula urbana é removida do conjunto de células urbanas disponíveis para receber unidades de beira de estrada ( $M'$ ) (linha 4), e o algoritmo armazena em  $C$  aqueles veículos que atingiram o fator de duração de conexão  $\rho_1$  (linha 5), afinal veículos em deslocamentos curtos podem atingir sua meta de duração percentual de conexão a partir da implantação de uma única unidade de beira de estrada. A identificação desses veículos é realizada através da função *Contato()*, que faz uso da malha viária particionada ( $M$ ), do conjunto de veículos ( $V$ ), das informações de trajetórias ( $T$ ), do conjunto de unidades de beira de estrada já implantadas ( $\Gamma$ ) e o fator de duração  $\rho_1$ .

Enquanto o algoritmo não atingir a meta de  $\rho_2$  por cento dos veículos experimentando o fator de duração da conexão especificado (linha 6), o algoritmo iterativamente seleciona uma nova célula urbana (aquela célula que apresenta a maior contribuição, ou seja, que atenua a maior parcela do tempo de contato de todos os veículos ainda restantes) através da função *MaxTempoC()* (linha 7). Essa função recebe o conjunto de células urbanas que ainda não receberão unidades de beira de estrada ( $M'$ ) e o conjunto de veículos que ainda não atingirão o fator de duração  $\rho_1$  especificado ( $V - C$ ). Após atingir o desempenho definido, a heurística retorna o conjunto solução contendo as células urbanas que devem receber as unidades de beira de estrada (RSUs) na linha 12.

#### 4.1. Área Coberta

O primeiro experimento caracteriza o montante coberto da malha viária com o objetivo de atingir uma Rede  $\Delta_{\rho_2}^{\rho_1}$ , quando a posição das unidades de beira de estrada são escolhidas

conforme Delta-g. Note que essa análise considera apenas a comunicação V2I. A figura 4 indica a porcentagem da malha viária que deve ser coberta para várias combinações de  $\rho_1$  e  $\rho_2$ . Como exemplo, para se atingir uma Rede  $\Delta_{0,1}^{0,1}$  no cenário simulado deve-se cobrir 0,09% de toda a malha viária.

		$\rho_1$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\rho_2$	0,1	0,20%	0,44%	0,78%	1,24%	1,84%	2,76%	4,13%	6,31%	10,56%
	0,2	0,40%	0,84%	1,42%	2,29%	3,27%	4,73%	6,76%	9,89%	14,47%
	0,3	0,71%	1,38%	2,29%	3,33%	4,80%	6,49%	9,07%	12,84%	18,27%
	0,4	1,04%	2,07%	3,36%	4,69%	6,36%	8,51%	11,49%	15,44%	22,60%
	0,5	1,44%	2,98%	4,51%	6,18%	8,13%	10,73%	13,89%	18,73%	27,20%
	0,6	2,04%	4,02%	6,00%	7,98%	10,51%	13,31%	17,11%	22,87%	31,76%
	0,7	2,96%	5,47%	8,04%	10,56%	13,44%	16,87%	21,36%	27,60%	36,31%
	0,8	4,69%	8,38%	11,16%	14,33%	17,98%	21,62%	26,64%	32,76%	41,29%
	0,9	8,02%	12,36%	16,36%	20,20%	24,36%	28,91%	33,91%	40,18%	48,16%

Figura 4. Delta-g: Área coberta para diversas combinações de  $\rho_1$  e  $\rho_2$ .

#### 4.2. Caracterizando uma Rede Infraestruturada com Delta

Essa seção repete o mesmo experimento apresentado na seção 3.1, mas agora considerando tanto a comunicação V2V quanto a comunicação V2I com o objetivo de demonstrar a aplicação da métrica Rede Delta e delimitar o máximo desempenho possível para uma rede veicular infraestruturada, onde a localização de cada unidade de beira de estrada foi definida através da heurística Delta-g. Na figura 5 o eixo  $x$  indica  $\rho_1$  (fator de duração da conexão), enquanto que o eixo  $y$  indica  $\rho_2$  (percentual de veículos experimentando o fator de duração  $\rho_1$ ). Assume-se um raio de transmissão para os veículos de 50m para comunicações V2V, um raio de transmissão das unidades de beira de estrada de 300m e uma taxa de penetração de 100%.

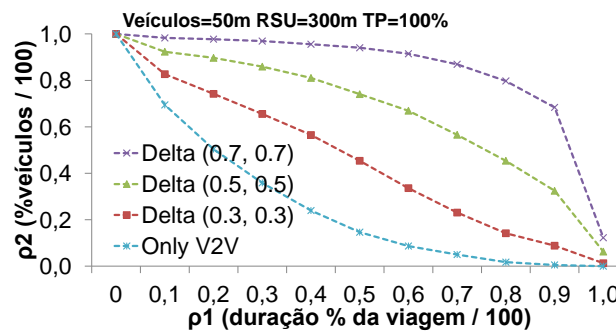


Figura 5. Oportunidades de contato considerando V2V e V2I. O eixo  $x$  indica  $\rho_1$ . O eixo  $y$  indica  $\rho_2$ .

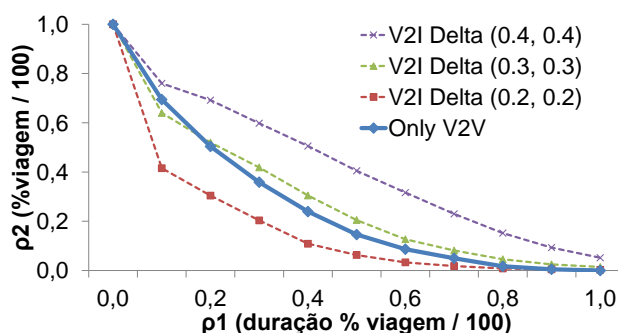
São apresentadas quatro semicurvas. A primeira semicurva (azul) indica o desempenho da rede quando contando apenas com a comunicação V2V com potência suficiente para alcance de 50m. As demais semicurvas indicam o desempenho da rede considerando comunicações V2V e V2I quando as unidades de beira de estradas são implantadas com o objetivo de se atingir as metas  $\Delta_{0,3}^{0,3}$ ,  $\Delta_{0,5}^{0,5}$  e  $\Delta_{0,7}^{0,7}$ . É perceptível que o desempenho da rede aumenta consideravelmente quando aumentamos o nível de qualidade de serviço ofertado pelas unidades de beira de estrada, afinal mais unidades de comunicação são disponibilizadas para cobrir a malha viária. No cenário em estudo, uma Rede  $\Delta_{0,3}^{0,3}$  demanda a disponibilização de unidades de beira de estrada cobrindo 2,29% da



malha viária. Uma Rede  $\Delta_{0,5}^{0,5}$  requer a cobertura de 8,13% da malha viária. Finalmente, uma Rede  $\Delta_{0,7}^{0,7}$  demanda a cobertura de 21,36% (valores apresentados na figura 4).

### 4.3. Comparação de Redes Distintas

Essa seção apresenta como se pode aplicar a métrica Rede Delta para a comparação de redes veiculares distintas, e isso é feito através de um exemplo extremo: a comparação de uma rede veicular baseada exclusivamente em comunicações V2V (chamada de  $V_v$ ) com uma rede veicular baseada exclusivamente em comunicações V2I (chamada de  $V_i$ ). O que se deseja responder com essa comparação é a quantidade de unidades de beira de estrada que são exigidas para que a rede  $V_i$  atinja o mesmo desempenho que a rede  $V_v$ .



**Figura 6. Comparação de uma rede veicular baseada unicamente em V2V com uma rede baseada exclusivamente em V2I.**

A figura 6 compara essas redes: a rede infraestrutura ( $V_i$ ) apresenta um desempenho similar à rede V2V ( $V_v$ ) quando as unidades de beira de estrada são implantadas em  $V_i$  com o objetivo de se atingir uma Rede  $\Delta_{0,3}^{0,3}$ . Para atingir esse nível de serviço usando-se apenas a comunicação V2I deve-se implantar unidades de beira de estrada cobrindo-se 2,29% da malha viária. Dessa forma, percebe-se que a comunicação V2V realmente possui um potencial interessante a ser explorado.

## 5. Trabalhos Relacionados

Pesquisadores vêm estudando as redes veiculares sobre diversos pontos de vista. A literatura apresenta estudos analíticos sobre garantias mínimas de qualidade da rede veicular. Tipicamente, esses trabalhos apresentam limites máximos para a transmissão de dados. Como exemplo, [Zheng et al. 2010] apresenta a avaliação de uma estratégia de implantação de infraestrutura através do conceito de oportunidade de contato. Já o trabalho [Lee and Kim 2010] propõe uma heurística para a implantação de infraestrutura que busca ampliar a conectividade dos veículos e reduzir o intervalo sem conexões. Por sua vez, [Nekoui et al. 2008] propõe a implantação de infraestrutura com base na definição de capacidade de transporte. Também existem trabalhos que focam em estratégias para a implantação de infraestrutura: o trabalho [Jeonghee et al. 2013] propõe uma implantação baseada na conectividade do cruzamento.

Esse trabalho diferencia-se dos anteriores no sentido em que propõe uma métrica para avaliar a conectividade de redes veiculares heterogêneas. Além disso, a estratégia de implantação de infraestrutura Delta-g apresenta garantias mínimas de qualidade de serviço, o que não encontra-se contemplado em nenhuma estratégia existente na literatura que tenhamos conhecimento.

## 6. Conclusão

Esse trabalho propõe uma nova métrica para a medição do desempenho de redes veiculares heterogêneas. A proposta é baseada na conectividade real percebida pelos veículos. O trabalho apresenta um estudo de caso para uma rede composta apenas por comunicação V2V. Na sequência, é apresentada uma estratégia de implantação de infraestrutura baseada no conceito de uma Rede Delta. Finalmente, o trabalho apresenta uma avaliação de desempenho de uma rede veicular que considera a comunicação V2V e V2I, e também compara duas redes distintas baseadas no modelo V2V (exclusivamente) com o modelo V2I (exclusivamente). Como trabalho futuro pretende-se medir o desempenho de aplicações veiculares de forma a compreender os requisitos mínimos de desempenho exigidos por tipos diferentes de aplicações.

## Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente financiado por CNPq, FAPEMIG, FAPEAL, InWeb e a Pro-reitoria de Pesquisa da UFSJ.

## Referências

- Frenkiel, R. H., Badrinath, B., Borres, J., and Yates, R. D. (2000). The infostations challenge: Balancing cost and ubiquity in delivering wireless data. *Personal Communications, IEEE*, 7(2):66–71.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6):164–171.
- Jeonghee, C., Yeongwon, J., Hyunsun, P., Taehyeon, H., and Soyoung, P. (2013). An effective rsu allocation strategy for maximizing vehicular network connectivity. *International Journal of Control & Automation*, 6(4):259 – 270.
- Lee, J. and Kim, C. (2010). A roadside unit placement scheme for vehicular telematics networks. In Kim, T.-h. and Adeli, H., editors, *Advances in Computer Science and Information Technology*, volume 6059 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 196–202. Springer Berlin Heidelberg.
- Nekoui, M., Eslami, A., and Pishro-Nik, H. (2008). The capacity of vehicular ad hoc networks with infrastructure. In *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops, 2008. WiOPT 2008. 6th International Symposium on*, pages 267–272.
- Silva, C., Oliveira, S., Aquino, A., and Teixeira, F. A. (2013). Pmcp: Uma heurística probabilística para otimizar a instalação de pontos de disseminação em redes veiculares. In *SBCUP 2013*.
- Teixeira, F., Silva, V., Leoni, J., Macedo, D., and Nogueira, J. M. S. (2014). Vehicular networks using the ieee 802.11p standard: An experimental analysis. *Vehicular Communications*, 1(2):91 – 96.
- Zheng, Z., Lu, Z., Sinha, P., and Kumar, S. (2010). Maximizing the contact opportunity for vehicular internet access. In *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, pages 1–9.