

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**

**SÉRGIO LUIS OLINDA BRAGA CORREIA**

**O PROTOCOLO DE ROTEAMENTO BIOINSPIRADO  
ANT-DYMO EM VANETS**

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2010**

**SÉRGIO LUIS OLINDA BRAGA CORREIA**

**O PROTOCOLO DE ROTEAMENTO BIOINSPIRADO ANT-DYMO EM VANETS**

Monografia apresentada no Curso de Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Joaquim Celestino Júnior

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2010**

C824p

Correia, Sérgio Luis Olinda Braga.

O protocolo de roteamento bioinspirado Ant-DYMO em VANETs / Sérgio Luis Olinda Braga Correia. – Fortaleza, 2010.

20 p.;il.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Celestino Júnior

Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. VANET 2. Roteamento 3. ACO 4. NS-2 5. SUMO I. Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

CDD:001.6

**SÉRGIO LUIS OLINDA BRAGA CORREIA**

**O PROTOCOLO DE ROTEAMENTO BIOINSPIRADO ANT-DYMO EM VANETS**

Monografia apresentada no Curso de Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Aprovada em: 15/04/2010

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Joaquim Celestino Júnior – UECE  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Gustavo Augusto de Lima Campos –  
UECE

---

Prof. Dr. Jorge Luiz de Castro e Silva – UECE

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis.

Aos amigos que conheci na UECE ao longo destes anos, pela ajuda e amizade. Em especial, aos colegas Filipe Maciel, Jeandro Mesquita, Rudy Matela, Sérgio Vieira, Pablo Ximenes e demais computeiros.

Ao professor Joaquim Celestino Júnior pela orientação e oportunidades de iniciação à pesquisa.

Aos professores Gustavo Campos e Everardo Maia pelas discussões produtivas que contribuíram para este trabalho.

À maioria dos professores que tive durante este curso de Ciência da Computação da UECE, por sua dedicação, comprometimento e compreensão.

Aos professores que não estão incluídos no grupo anterior, por mostrar como não se deve fazer as coisas, caso um dia eu me torne um professor.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“So many beautiful women and so little time.”*

***John Barrymore***

## RESUMO

VANETs (*Vehicular Ad hoc NETWORKs*) são um tipo especial de rede móvel *ad hoc* (MANET, *Mobile ad hoc NETWORK*) formada por veículos entre si, e entre veículos e dispositivos que fazem parte da infraestrutura de ruas e rodovias. Apesar de compartilharem várias características com as MANETs tradicionais, as VANETs apresentam algumas diferenças significativas, como por exemplo o movimento dos nós, aleatórios nas MANETs, mas relativamente ordenado nas VANETs, já que os veículos têm de obedecer as chamadas regras de trânsito. Neste trabalho, o protocolo de roteamento bioinspirado Ant-DYMO é simulado em um cenário veicular e tem seu desempenho comparado com o do protocolo DYMO. Além disso, é proposta uma modificação simples no mecanismo de criação de formigas do protocolo bioinspirado original, com o objetivo de verificar possíveis melhoras no desempenho geral do algoritmo, quando levando em consideração algumas das características próprias das redes veiculares, como a informação da vizinhança de veículos.

**Palavras-Chave:** VANET. Roteamento. ACO. NS-2. SUMO.

## **ABSTRACT**

VANETs (Vehicular Ad hoc NETWORKs) are a special type of the Mobile Ad hoc NETWORKs (MANETs), made by vehicles communicating between themselves as well as by vehicles communicating with devices located at the margins of roads and highways. Despite sharing many characteristics with the traditional MANETs, VANETs present some significant differences. For instance, the nodes movement, completely random in MANETs, but relatively ordered in the VANETs, since the nodes – the vehicles – are supposed to obey a set of transit rules. In this work, the bio-inspired routing protocol Ant-DYMO is evaluated in a VANET scenario and has its performance compared with the DYMO protocol. Furthermore, a simple modification is proposed in the bio-inspired mechanisms of Ant-DYMO. The objective is to verify a possible improvement in the overall performance of the algorithm when taking into account some characteristics inherent to the vehicular networks, such as neighboring vehicle information.

**Keywords:** VANET. Routing. ACO. NS-2. SUMO.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Comunicação veículo-veículo .....	12
Figura 2	Comunicação veículo-infraestrutura .....	12
Figura 3	Espectro DSRC .....	15

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Comparação entre as tecnologias DSRC .....	15
----------	--	----

## LISTA DE SIGLAS

C2C-CC	<i>Car-to-Car Communication Consortium</i>
IEEE	<i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation System</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc NETwork</i>
OBU	<i>On-board unit</i>
RSU	<i>Road-side unit</i>
V2I	<i>Vehicle-to-infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle-to-vehicle</i>
WAVE	<i>Wireless Access in Vehicular Environments</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLANs	<i>Wireless Local Area Networks</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>AS REDES VEICULARES .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>O que são redes veiculares? .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Padrões e Arquitetura DSRC/WAVE .....</b>	<b>13</b>
1.2.1	Características do DSRC 5,9 GHz .....	14
<b>1.3</b>	<b>Características das redes veiculares .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Aplicações potenciais .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b>Principais desafios .....</b>	<b>17</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>18</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>19</b>
	<b>APÊNDICE A – MODELO DE DESVANECIMENTO DE <i>NAKAGAMI</i> .....</b>	<b>20</b>

# 1 AS REDES VEICULARES

## 1.1 O que são redes veiculares?

As VANETs (*Vehicular Ad hoc NETworks*) são um tipo especial de rede móvel ad-hoc (MANET, *Mobile Ad hoc NETwork*) formada entre veículos (V2V - Figura 1) e entre veículos e dispositivos de infraestrutura (V2I - Figura 2). Os dispositivos instalados nos veículos são conhecidos por *unidades de bordo* (OBU, *On-board unit*) e os que ficam ao longo da estrada são denominados por *unidades de acostamento* (RSU, *Road-side unit*).

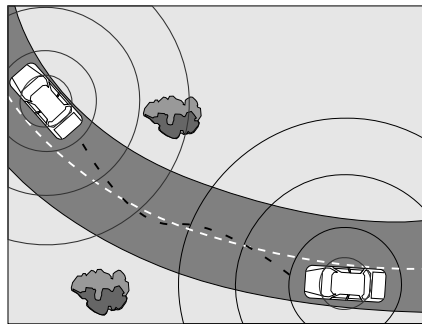


Figura 1: Comunicação veículo-veículo

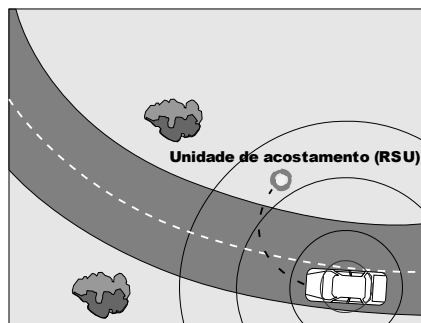


Figura 2: Comunicação veículo-infraestrutura

Na comunicação V2V, cada OBU funciona em modo *ad hoc* podendo encaminhar mensagens através de múltiplos saltos. Porém, neste modo, a conectividade da rede é altamente dependente da densidade de veículos na vizinhança e do padrão de mobilidade.

No modo V2I, a conectividade da VANET pode aumentar através de comunicação com outras redes. Contudo, o custo de implantação aumenta bastante, pois há necessidade de termos RSUs espalhados pelas estradas e rodovias.

Apesar de possuírem várias características semelhantes às das MANETs tradicionais, as VANETs apresentam algumas diferenças significativas, por exemplo, nas MANETs os nós podem movimentar-se aleatoriamente, já nas VANETS, sua movimentação é relativamente ordenada, já que os veículos têm de obedecer regras de trânsito e seguirem um caminho definido.

As redes veiculares têm por objetivo fornecer diversas aplicações aos seus usuários, tanto no que diz respeito à segurança quanto ao entretenimento. Tal sistema de aplicações é conhecido por Sistema de Transporte Inteligente (ITS, *Intelligent Transportation System*). Pode-se citar alguns exemplos de aplicações VANETs, como as aplicações de auxílio à mudança de faixa, aplicações de descoberta de melhor rota a um determinado destino, aplicações de divulgação de avisos de segurança, e acesso à internet, dentre outros (LI; WANG, 2007).

Grandes são os desafios para a efetiva utilização das VANETs em um cenário real. Por conta de suas características únicas como alta velocidade de movimentação e densidade altamente dinâmica, grande parte dos protocolos utilizados nas MANETs não são adequados (TAHA; HASAN, 2007). Além destes desafios, outros de grande importância referem-se ao baixo tempo de conexão entre veículos e a alta possibilidade de perda de conexão durante a transmissão de dados.

As redes veiculares são promissoras, visto que permitem oferecer diversos serviços de comunicação aos motoristas e passageiros, e isso pode ser percebido com o atual envolvimento da comunidade científica e da indústria automotiva. Além destes, órgãos governamentais dos Estados Unidos, União Européia e Japão e organizações de padronização demonstram crescente interesse nessa nova modalidade de redes de comunicação. O governo americano aprovou em 2003 um sistema de comunicação de curta distância, o DSRC (Dedicated Short-Range Communications) voltado principalmente para as redes veiculares; a União Européia, por meio de fabricantes de automóveis e peças, iniciou o consórcio C2C-CC (*Car-to-Car Communication Consortium*) e o IEEE está trabalhando na família de padrões IEEE 1609, voltados à tecnologia WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*).

Este capítulo vai discutir as redes veiculares, passando pela arquitetura, cenários onde as redes veiculares poderiam ser utilizadas, características, aplicações em potencial e desafios técnicos.

## 1.2 Padrões e Arquitetura DSRC/WAVE

Em 1991, o congresso americano aprovou a Lei da Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície (*Intermodal Surface Transportation Efficiency Act*), que resultou na criação da primeira geração dos sistemas de transportes inteligentes (ITS, *Intelligent Transportation System*). O objetivo principal do programa ITS era o aumento da segurança nos transportes, que seria obtido com o uso de tecnologia na infraestrutura dos sistemas de transporte. A primeira geração do DSRC operava em 915 MHz e tinha uma taxa de transmissão de 0,5 Mb/s. Esta tecnologia foi utilizada principalmente por veículos comerciais e nos sistemas de pagamento de pedágios (*toll collection*), e teve sucesso limitado. Um exemplo de aplicação dessa primeira geração do DSRC é o sistema de pedágio eletrônico *EZPass*. A segunda geração do DSRC

iniciou em 1997, quando a sociedade ITS América requisitou ao FCC a alocação de 75 MHz adicionais. Em 1999 o FCC alocou 75 MHz na faixa de banda de 5,9 GHz para esta segunda geração.

Desde a alocação da largura de banda, os organismos de padronização vêm trabalhando nos detalhes de implementação do DSRC 5,9 GHz. O objetivo principal destes esforços é permitir que os motoristas recebam informações atuais do ambiente que os cerca, como tráfego, informações sobre os veículos vizinhos, como suas posições e velocidades, o que possibilitaria reduzir o número de acidentes.

### 1.2.1 Características do DSRC 5,9 GHz

O DSRC é uma espécie de complemento das comunicações celulares, provendo altas taxas de transferência em circunstâncias onde minimizar a latência nos *links* de comunicação e isolar pequenas zonas de comunicação é importante (GUO; BALON, 2006). O DSRC é também conhecido como WAVE, e um grupo de trabalho do IEEE está atualmente trabalhando na padronização das camadas física (PHY) e de acesso ao meio (MAC) sob o padrão IEEE 802.11p, que no momento da escrita deste trabalho encontra-se ainda em estado de *draft* (IEEE, 2010). A razão pela qual as camadas PHY e MAC estão sendo desenvolvidas sob a família de padrões 802.11 é a garantia da sua estabilidade com o passar do tempo. Uma das causas do sucesso limitado que a primeira geração DSRC 915 MHz experimentou foi devido a poucas implementações seguirem o padrão fielmente, optando geralmente por soluções proprietárias. Essa foi a maior motivação de a segunda geração DSRC 5,9 GHz ser um padrão aberto.

O novo DSRC 5,9 GHz é um avanço em relação ao seu predecessor 915 MHz em vários aspectos, como a própria largura de banda, que é maior no novo DSRC. No DSRC 5,9 GHz, o espectro é composto de sete canais de 10 MHz cada, com um canal reservado para controle e os outros seis funcionando como canais de serviço. O antigo DSRC 915 MHz suportava apenas um ou dois canais. A taxa de transmissão, de apenas 0,5 Mb/s na primeira geração, agora varia entre 6 Mb/s e 27 Mb/s. Em algumas circunstâncias, dois canais de serviço podem ser combinados para formar um canal único de 20 MHz, possibilitando atingir uma taxa de transferência de 54 Mb/s. A única interferência na banda de 5,9 GHz vem de radares militares e *uplink* de satélites – ambos esparsamente localizados –, ao passo que, a banda de 902–928 MHz é mais suscetível a interferências, seja devido a telefones 900 MHz, dispositivos de identificação automática instalados nas ferrovias (*AEI readers*) e outros dispositivos de observação meteorológica, como radares que detectam a velocidade e direção dos ventos. A tabela 1, retirada de (GUO; BALON, 2006), mostra as diferenças entre as tecnologias DSRC de primeira e segunda geração.

Como dito anteriormente, o espectro DSRC é dividido em sete canais de 10 MHz

	902–928 MHz	5850–5925 MHz
Espectro	12 MHz	75 MHz
Taxa de dados	0,5 Mb/s	6 Mb/s – 27 Mb/s
Potencial de interferência	alto	baixo
Cobertura	uma zona de comunicação	zonas de comunicação sobrepostas
Alcance máximo	300 pés (91,4 metros)	1000 metros
Separação mínima	1500 pés (457,2 metros)	50 pés (15,2 metros)
Canais	1 a 2 canais	7 canais

Tabela 1: Comparação entre as tecnologias DSRC

(Figura 3) e cada canal é utilizado por um tipo de aplicação.

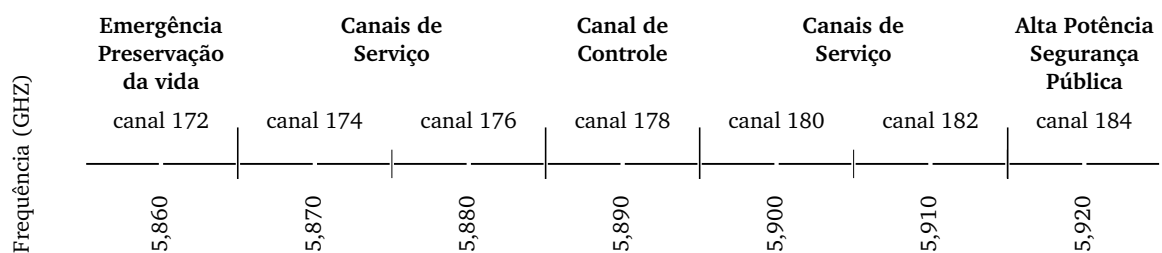


Figura 3: Espectro DSRC

O canal de controle (CCH), 178, é utilizado para comunicação de segurança e os canais 172 e 184 são utilizados para futuras aplicações de emergência e preservação da vida e para alta potência e segurança pública, respectivamente. Já os canais de serviço 174, 176, 180 e 182 são utilizados para aplicações de segurança ou por outros tipos de aplicação.

### 1.3 Características das redes veiculares

As redes veiculares apresentam características únicas que as tornam radicalmente diferentes (BLUM; ESKANDARIAN; HOFFMAN, 2004) de outras MANETs, e tais características influenciam diretamente o desenvolvimento de seus protocolos e serviços. Por conta disto, muitos dos protocolos desenvolvidos para MANETs não funcionam adequadamente quando utilizados em VANETs.

Basicamente, uma VANET possui as seguintes características:

- alta velocidade dos nós da rede;
- fornecimento de energia virtualmente ilimitado;
- alta capacidade computacional;
- mobilidade previsível.



A combinação destas características resulta em uma topologia altamente mutável que é frequentemente fragmentada e possui um pequeno diâmetro efetivo da rede, também possui limitada redundância e diversos problemas de segurança (RAYA; PAPADIMITRATOS; HUBAUX, 2006; DOTZER, 2006; GOLLE; GREENE; STADDON, 2004).

Quanto maior a mobilidade dos veículos maior é a mudança da topologia, e essa mudança frequente resulta em curtos períodos de conectividade entre os nós, que podem mover-se a velocidades superiores a 200 km/h, por exemplo. Uma possível solução para aumentar o tempo de conectividade entre veículos seria aumentar a potência de transmissão, mas isso também diminui o *throughput* da rede (KHORASHADI et al., 2007; CHEN et al., 2007). Por outro lado, como a trajetória dos veículos é restringida pelo traçado da estrada, sua posição futura pode ser considerada previsível, e isto pode ser utilizado como métrica de um protocolo de roteamento fazendo com que sejam escolhidas rotas que possuam maior tempo de vida previsto.

A potência de transmissão dos OBU's geralmente não é uma restrição significativa como ocorre em algumas redes de sensores sem fio. Um veículo consegue fornecer alimentação contínua para os dispositivos de comunicação.

Outra característica interessante é a capacidade das redes veiculares serem formadas por um número potencialmente grande de participantes – podendo se estender por toda uma estrada –, ao contrário da maioria das redes *ad hoc* estudadas na literatura, que normalmente assumem um tamanho limitado da rede.

#### 1.4 Aplicações potenciais

As aplicações imaginadas para as redes veiculares variam desde aplicações que visam à segurança do veículo ou do motorista a aplicações voltadas ao entretenimento dos passageiros, fazendo uso de uma gama de tecnologias diferentes.

As ideias primárias das redes veiculares incluem aplicações de segurança para os motoristas e passageiros, provendo segurança e oferecendo ferramentas para a decisão do melhor caminho em uma estrada. Tais aplicações, portanto, pretendem minimizar os acidentes e melhorar as condições de tráfego, oferecendo informações úteis aos motoristas e passageiros, como avisos de colisões, notificações sobre as condições da estrada e visões *in-place* do tráfego (MOUSTAFA; ZHANG, 2009). Para que as aplicações de segurança possam ser utilizadas, é necessário que os veículos compartilhem informações precisas de posicionamento. As aplicações potenciais desta categoria são as seguintes:

- Aplicações cooperativas de alerta de colisão – auxiliam o motorista a evitar choques com a traseira de outros veículos.
- Aplicações de colisão iminente – geram informações aos mecanismos de segurança (*air*

*bags* ou cintos de segurança, por exemplo) para tentar diminuir os danos causados pelos acidentes.

- Aplicações que alertam sobre locais perigosos – compartilham informações sobre estradas escorregadias, buracos ou outras situações de risco.

A pesquisa atual em redes veiculares foca também nas aplicações de conforto, que oferecem – aos motoristas e passageiros –, serviços tais como a conectividade com a *Internet*, explorando uma infraestrutura disponível sob demanda, sistemas de pedágio automático, e uma variedade de serviços multimídia. Além disso, outras redes de comunicação, tais como 2-3G, WLANs IEEE 802.11a/b/g/p e WiMAX, podem ser exploradas para fornecer as aplicações de conforto e entretenimento. As aplicações potenciais desta categoria são as seguintes:

- Aplicações de acesso à *Internet*.
- Aplicações de notificação de pontos de interesse – permite obter informações sobre as empresas locais, atrações turísticas ou outras.
- Aplicações de diagnóstico – permitem que uma estação de serviço avalie o estado de um veículo sem fazer uma inspeção física.

## 1.5 Principais desafios

As características inerentes às redes veiculares criam alguns desafios para a comunicação veicular, que podem dificultar uma futura utilização dessas redes no mundo real. Para que este tipo de rede esteja realmente pronta para o *deployment* e para oferecer serviços úteis aos passageiros e motoristas, dois problemas importantes precisam ser resolvidos: a escalabilidade e a interoperabilidade. Os protocolos e mecanismos utilizados devem escaláveis a numerosos veículos e interoperáveis com diferentes tecnologias sem fio.

O ambiente de operação de uma VANET é extremamente dinâmico e necessita de configurações extremas. A velocidade relativa entre veículos pode superar os 200 km/h em rodovias e possuir baixa densidade de veículos. Logo em seguida, a diferença de velocidade pode baixar substancialmente ao mesmo tempo em que a densidade aumenta consideravelmente.

A rápida mudança de topologia força o desenvolvimento de padrões e aplicações bastante restritos ao tempo de funcionamento e, por conta de sua fragmentação frequente, setores da rede podem não se comunicar com outros veículos localizados em regiões próximas.

Os cenários VANETs são diferentes dos cenários MANETs clássicos. No cenário urbano, dependendo da situação ou do horário, a densidade da rede pode variar bastante, passando frequentemente de baixa para alta densidade.

## BIBLIOGRAFIA

- BLUM, J.J.; ESKANDARIAN, A.; HOFFMAN, L.J. Challenges of intervehicle ad hoc networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 5, n. 4, p. 347–351, 2004.
- CHEN, A. et al. Impact of transmission power on TCP performance in vehicular ad hoc networks. *Proc. of the 4th IEEE/IFIP Wireless On demand Networks and Services*, Citeseer, p. 65–71, 2007.
- DOTZER, F. Privacy issues in vehicular ad hoc networks. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, v. 3856, p. 197–209, 2006.
- GOLLE, P.; GREENE, D.; STADDON, J. Detecting and correcting malicious data in VANETs. In: ACM NEW YORK, NY, USA. *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*. [S.l.], 2004. p. 29–37.
- GUO, J.; BALON, N. *Vehicular Ad Hoc Networks and Dedicated Short-Range Communication*. 2006.
- IEEE. *P802.11p (D10.03), IEEE Draft Standard – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications - Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments, March 2010*. March 2010.
- KHORASHADI, B. et al. Impact of transmission power on the performance of UDP in vehicular ad hoc networks. In: CITESEER. *IEEE International Conference on Communications, ICC*. [S.l.], 2007.
- LI, F.; WANG, Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, v. 2, n. 2, p. 12–22, 2007.
- MOUSTAFA, H.; ZHANG, Y. *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*. [S.l.]: Auerbach Publications Boston, MA, USA, 2009.
- NAKAGAMI, M.; TANAKA, K.; KANEHISA, M. The m-Distribution As the General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kobe University*, Kobe University, v. 4, p. 78–125, 1957.
- PAPOULIS, A.; PILLAI, S.U. *Probability, random variables and stochastic processes*. [S.l.]: McGraw-Hill Education (India) Pvt Ltd, 2002.
- RAYA, M.; PAPADIMITRATOS, P.; HUBAUX, J.P. Securing vehicular communications. *IEEE Wireless Communications*, Citeseer, v. 13, n. 5, p. 8, 2006.
- TAHA, M.M.I.; HASAN, Y.M.Y. VANET-DSRC Protocol for Reliable Broadcasting of Life Safety Messages. In: *Proc. of the IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*. [S.l.: s.n.], 2007.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – MODELO DE DESVANECIMENTO DE NAKAGAMI

O modelo de propagação de *Nakagami* é usado para modelar um canal de rádio com desvanecimento. Comparado a outros modelos existentes, como o *Shadowing* e o *Two-Ray Ground*, o modelo de *Nakagami* apresenta mais parâmetros de configuração que permitem uma representação mais fiel de um canal de comunicação *wireless*. Ele é capaz de modelar desde canais totalmente livres de desvanecimento a canais com desvanecimento moderado, como uma *highway*, por exemplo.

A distribuição de *Nakagami* (NAKAGAMI; TANAKA; KANEHISA, 1957) é definida pela seguinte função de densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{2m^m x^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left[-\frac{mx^2}{\Omega}\right], \quad x \geq 0, \quad \Omega > 0, \quad m \geq \frac{1}{2}$$

A função de densidade de probabilidade correspondente à potência – quadrado da amplitude do sinal – em uma dada distância pode ser obtida por uma mudança de variáveis e é dada por uma distribuição gama da seguinte forma:

$$p(x) = \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{x^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left[-\frac{mx}{\Omega}\right], \quad x \geq 0$$

$\Omega$  é o valor esperado da distribuição e pode ser interpretado como a potência média recebida.  $m$  é o parâmetro de desvanecimento.

Os valores dos parâmetros  $m$  e  $\Omega$  são funções da distância, e o modelo de *Nakagami* é então definido por duas funções:  $\Omega(d)$  e  $m(d)$ .

- A distribuição de *Rayleigh* (PAPOULIS; PILLAI, 2002) é um caso especial da de *Nakagami*, onde  $m(d) = 1$  para qualquer  $d$ .
- Valores maiores de  $m$  resultam em desvanecimento menos acentuado.