



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

ANTÔNIO SÉRGIO DE SOUSA VIEIRA

**VDTN-TD: PROTOCOLO DE ROTEAMENTO
VANET/DTN BASEADO EM TENDÊNCIA DE ENTREGA**

FORTALEZA - CEARÁ

2012

ANTÔNIO SÉRGIO DE SOUSA VIEIRA

**VDTN-TD: PROTOCOLO DE ROTEAMENTO VANET/DTN BASEADO EM
TENDÊNCIA DE ENTREGA**

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Joaquim Celestino Júnior

FORTALEZA - CEARÁ

2012

C824p

Vieira, Antônio Sérgio de Sousa.

VDTN-TD: Protocolo de roteamento VANET/DTN baseado em tendência de entrega / Antônio Sérgio de Sousa Vieira. – Fortaleza, 2012.

80 p.;il.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Celestino Júnior

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

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

CDD:001.6

ANTÔNIO SÉRGIO DE SOUSA VIEIRA

**VDTN-TD: PROTOCOLO DE ROTEAMENTO VANET/DTN BASEADO EM
TENDÊNCIA DE ENTREGA**

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Aprovada em: 20/08/2012

BANCA EXAMINADORA

Joaquim Celestino Júnior
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Prof(a). Dr(a). Katia Obraczka
UC Santa Cruz – UCSC

Prof. Dr. Gustavo Augusto L. de Campos
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Prof. Dr. André Luiz Moura dos Santos
Universidade Estadual do Ceará – 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.

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

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

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

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Pessoa

RESUMO

Fornecer acesso à Internet ou outros serviços de rede para regiões remotas com baixa densidade demográfica é bastante complicado, uma vez que empresas de telecomunicação podem não estar dispostas em investir em uma infraestrutura de comunicação nestes locais. Uma possível solução para este problema é o uso de redes veiculares juntamente com DTN para prover acesso à Internet e outros serviços. Prover comunicação entre regiões distintas utilizando VANET/DTN é bastante desafiador, uma vez que não há como prever quando os nós veiculares entrarão em contato e quanto tempo durará a comunicação entre eles. Neste trabalho, é proposta uma nova estratégia de roteamento VANET/DTN baseada em uma nova métrica denominada tendência de entrega e nas recomendações apresentadas no trabalho (CABRERA; ROS; RUIZ,). Foi utilizado o simulador NS3 para desenvolver uma rede veicular unida à arquitetura das redes tolerantes a atrasos, assim, foi possível utilizar a pilha de protocolo do dispositivo sem fio, com suas características e limitações, trazendo assim um nível maior de realidade para o ambiente simulado.

Palavras-Chave: VANET. Roteamento. DTN. NS-3. SUMO.

ABSTRACT

Providing access to the Internet or other network services to remote regions with low population density is quite complicated, since telecommunications companies may be unwilling to invest in a communications infrastructure in these locations. A possible solution to this problem is using vehicular networks with DTN to provide Internet access and other services. It is quite challenging to provide communication among distinct regions using VANET/DTN, because there's not way to predict when vehicular nodes will be in contact and how long it will remain. In this paper, we propose a new VANET/DTN routing strategy based on a new metric called trend of delivery and recommendations presented in (CABRERA; ROS; RUIZ,). We used the simulator NS3 to develop a vehicular/delay tolerant network architecture, thus, we can use the protocol stack of a wireless device, along with their characteristics and limitations, thus bringing us a higher level of reality to the simulated environment.

Keywords: VANET. Routing. DTN. NS-3. SUMO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Espectro DSRC	23
Figura 2	Comunicação veículo-veículo	24
Figura 3	Comunicação veículo-infraestrutura	25
Figura 4	Comunicação veículo-veículo e veículo-infraestrutura (híbrida)	25
Figura 5	Comunicação entre veículos distantes através de RSUs interligadas	25
Figura 6	Arquitetura IEEE 802.11p WAVE	31
Figura 7	Exemplo de uso de <i>gateways</i> DTN para comunicação entre regiões diferentes	36
Figura 8	Exemplo de <i>gateways</i> DTN com pilhas de protocolos específicos para regiões distintas	36
Figura 9	Camada de Agregação	36
Figura 10	Exemplo de transferência de custódia de PDUs entre regiões diferentes	38
Figura 11	Classificação de tipos de roteamento DTN	39
Figura 12	Exemplo de evolução da topologia em um grafo temporal durante 3 segundos	40
Figura 13	Exemplo de funcionamento do roteamento epidêmico	42
Figura 14	Cálculo do custo do caminho no MaxProp	43
Figura 15	Exemplo de funcionamento do protocolo <i>Spray-and-Wait</i> com $L=4$	45
Figura 16	Cálculo do ponto mais próximo entre o destinatário e os caminhos C_1 e C_2 .	46

Figura 17	Opções de encaminhamento de mensagens em um cruzamento	47
Figura 18	Diferença de representação do grau de pertinência utilizando conjuntos “críps” e nebulosos.	50
Figura 19	Arquitetura de um controlador nebuloso	51
Figura 20	Exemplo de uso do método centróide de defuzzificação	52
Figura 21	Exemplo de uso do método da maior pertinência	52
Figura 22	Exemplo de uso do método da média dos máximos	53
Figura 23	Cenário	54
Figura 24	Disposição dos nós em relação ao destinatário	56
Figura 25	Representação do ângulo formado entre o vetor direção do nó e o vetor direção desejado	57
Figura 26	Representação das categorias ótimo, bom, ruim e péssimo da variável linguística sentido	57
Figura 27	Categorias da variável linguística sentido	58
Figura 28	Categorias da variável linguística alcance de transmissão	59
Figura 29	Categorias da variável linguística velocidade	60
Figura 30	Intervalos de tempo de checagem para verificar a necessidade de enviar uma nova mensagem de posicionamento	61
Figura 31	Formato da mensagem de posicionamento.	62
Figura 32	Cenário de simulação utilizado nos experimentos	64

Figura 33	Tamanho do Bundle x Número de Bundle Copiados - 50 e 100 VHP	67
Figura 34	Tamanho do Bundle x Número de Bundle Copiados - 150 e 200 VHP	67
Figura 35	Tamanho do Bundle x Taxa de Entrega - 50 e 100 VHP	68
Figura 36	Tamanho do Bundle x Taxa de Entrega - 150 e 200 VHP	69
Figura 37	Tamanho do Bundle x Taxa de Bundles Expirados - 50 e 100 VHP	70
Figura 38	Tamanho do Bundle x Taxa de Bundles Expirados - 150 e 200 VHP	70
Figura 39	Tamanho do Bundle x Taxa de Eficiência - 50 e 100 VHP	71
Figura 40	Tamanho do Bundle x Taxa de Eficiência - 150 e 200 VHP	71
Figura 41	Tamanho do Bundle x Atraso Médio - 50 e 100 VHP	72
Figura 42	Tamanho do Bundle x Atraso Médio - 150 e 200 VHP	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre DSRC e ISM	24
Tabela 2	Parâmetros chaves do padrão da camada física DSRC	32
Tabela 3	Cálculo dos intervalos da variável linguística sentido	58
Tabela 4	Regras fuzzy para definição da tendência de entrega	60
Tabela 5	Tabela de rotas utilizadas na simulação	65
Tabela 6	Configurações do Experimento	65

LISTA DE SIGLAS

Simulation of Urban Mobility SUMO

ADU	<i>Applications Data Units</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CCH	<i>Control Channel</i>
CSMA/CA	<i>Carrie Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
D-VADD	<i>Direction First Probe</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communications</i>
DTN	<i>Delay Tolerant Networks</i>
DTNRG	<i>Delay Tolerant Network Research Group</i>
EID	<i>Endpoint Identifier</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FTC	<i>Forward Transmission Count</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GeOpps	<i>Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks</i>
GPCR	<i>Greedy Perimeter Stateless Routing</i>
GPSR	<i>Greedy Perimeter Coordinator Routing</i>
GSR	<i>Global State Routing</i>
H-VADD	<i>Hybrid Probe</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IRTF	<i>Internet Research Task Force</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific, Medical</i>
L-VADD	<i>Location First Probe</i>
LLC	<i>Logic Link Control</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc NETWORK</i>

MD-VADD	<i>Multi-Path Direction First Probe</i>
METD	<i>Minimum Estimated Time of Delivery</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
OBU	<i>On Board Unit</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
ONE	<i>Opportunistic Networking Environment</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PROPHET	<i>Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RCP	<i>Resource Command Processor</i>
RM	<i>Resource Manager</i>
RMA	<i>Resource Manager Application</i>
RSU	<i>Road Side Unit</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
SCF	<i>Store-carry and Forward</i>
SCH	<i>Service Channel</i>
STI	<i>Sistema de Transporte Inteligente</i>
TAROT	<i>Trajectory-Assisted Routing</i>
TE	<i>Tendência de Entrega</i>
Transmission Control Protocol	<i>TCP</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
VADD	<i>Vehicle-Assisted Data Delivery</i>
VANET	<i>Vehicular Ad Hoc Network</i>
VDTN-TD	<i>Vehicular Delay Tolerant Network</i>
VNI	<i>Virtual Navegation Interface</i>
WAVE	<i>Wireless Access for Vehicular Environment</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Motivação	18
1.2 Objetivos	18
1.3 Metodologia	18
1.4 Trabalhos Relacionados	19
2 REDES AD HOC VEICULARES	23
2.1 Definição	23
2.2 Características e Desafios	26
2.3 Aplicações	27
2.3.1 Aplicações de Segurança	27
2.3.2 Aplicações de Conforto	29
2.4 Arquitetura	30
3 DELAY-TOLERANT NETWORKS EM VANETS	34
3.1 Introdução	34
3.2 Delay Tolerant Networks	35
3.2.1 Arquitetura	35
3.3 Store-carry and Forward e DTN	38
3.4 Roteamento	39
3.4.1 Principais Protocolos de Roteamento DTN	41
3.4.2 Entrega Direta	41
3.4.2.1 Epidêmico	41
3.4.2.2 MaxProp	42
3.4.2.3 PROPHET	43
3.4.2.4 Spray-and-Wait	44
3.4.3 Principais Protocolos de Roteamento VANET/DTN	45
3.4.3.1 GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks	45
3.4.3.2 VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery	46
3.4.3.3 GeoDTN+Nav	48

4 LÓGICA FUZZY	49
4.1 Introdução	49
4.2 Definições Básicas	49
4.3 Controladores Nebulosos	50
5 A PROPOSTA	54
5.1 Definição do Problema	54
5.2 Solução Proposta	55
5.2.1 Tendência de Entrega	56
5.2.2 Características e Funcionamento do Protocolo	60
6 EXPERIMENTOS, ANÁLISES E RESULTADOS	64
6.1 Métricas DTN	65
6.2 Análise de Resultados	67
7 CONCLUSÃO	73
7.1 Contribuições e Trabalhos Futuros	73
BIBLIOGRAFIA	75

1 INTRODUÇÃO

As *Delay Tolerant Networks* (DTN) são uma classe especial de rede que permitem a comunicação entre regiões com fortes restrições de conectividade, atraso de propagação, alta taxa de erros etc. Nestas regiões não há como utilizar comunicação confiável e nem protocolos de roteamento comuns para redes sem fio convencionais como foi demonstrado em (SADAGOPAN et al., 2003).

Para lidar com estas restrições de conectividade foi proposto que a arquitetura DTN pudesse armazenar persistentemente mensagens em uma nova camada de rede denominada *bundler layer*, com isto, ela tornou-se capaz de utilizar o paradigma armazena-carrega-encaminha, e é através desta camada que a DTN consegue fornecer comunicação entre redes heterogêneas operando em meios de transmissão distintos. Na DTN existe o conceito de região e cada uma determina uma área de atuação de dispositivos semelhantes. Na borda de cada região existe um *gateway* DTN encarregado de delimitar o domínio das aplicações e agrupar informações (*bundles* ou agregados) dos dispositivos que desejam se comunicar com outras regiões.

Para que as informações sejam entregues em regiões geograficamente distantes, cada *bundle* deve ser encaminhado salto a salto entre os nós DTN utilizando o paradigma armazena-carrega-encaminha. As informações podem ser transportadas aproveitando-se da mobilidade dos veículos (“mula de dados”) e da infraestrutura de uma rede VANET (Vehicular Adhoc Network) fazendo com que a área de cobertura de entrega de mensagens seja estendida. Cada *bundle* (agregado) é então encaminhado entre os nós VANETs até que ele seja entregue ao *gateway* de borda de outra região. Os nós DTN/VANET, segundo seu funcionamento padrão, permanecerão com a responsabilidade de armazenar e carregar cada agregado por um tempo máximo pré-definido e enquanto não surgirem oportunidades de transferir o agregado.

Prover comunicação entre regiões distintas utilizando VANET/DTN é bastante desafiador, uma vez que não há como prever quando os nós veiculares entrarão em contato e quanto tempo durará a comunicação entre eles.

Neste trabalho, é proposto um novo protocolo de roteamento VANET/DTN baseada em uma nova métrica chamada tendência de entrega, também proposta neste trabalho, e nas recomendações apresentadas em (CABRERA; ROS; RUIZ,), como a suposição do alcance de transmissão e o não uso de informações de posicionamento desatualizadas), para o desenvolvimento de um protocolo de roteamento capaz de satisfazer algumas restrições de funcionamento em um ambiente veicular real. O protocolo desenvolvido foi nomeado VDTN-TD (VDTN-TD).

1.1 Motivação

Fornecer acesso à Internet ou outros serviços de rede para regiões remotas é bastante complicado, uma vez que empresas de telecomunicação podem não estar dispostas em investir em uma infraestrutura de comunicação nestes locais. Além das restrições econômicas, podem haver restrições políticas, de tempo ou mesmo de cunho militar. Em uma região de conflito, por exemplo, pode ser interessante disponibilizar alguns serviços de rede, porém, é necessário que eles estejam funcionais no menor tempo possível já que qualquer vantagem estratégica militar pode significar muito nestas situações.

Uma forma de superar tais dificuldades para prover serviços de comunicação de rede, como email – transferência de arquivos – entre outros, é através de redes veiculares DTN uma vez que elas são autoorganizáveis e não precisam de uma infraestrutura para funcionarem. No entanto, por conta de suas características singulares, é importante desenvolver protocolos específicos para elas no intuito de aproveitar ao máximo seus recursos.

1.2 Objetivos

Identificar como a mobilidade dos nós pode ser utilizada na tomada de decisão de encaminhamento do protocolo de roteamento proposto, de forma a aumentar a taxa de entrega de mensagens, e diminuir o atraso de entrega fim-a-fim. Além disso, identificar situações nas quais é mais vantajoso encaminhar, copiar ou manter a custódia dos agregados. O protocolo deve levar em conta as características de funcionamento das VANETs, como a mobilidade dos veículos e a rápida mudança de topologia.

1.3 Metodologia

As simulações foram realizadas utilizando o *Network Simulator 3.13* (MCCANNE et al., 2000). O protocolo e as simulações foram desenvolvidos utilizando a linguagem de programação C++. Cada dispositivo sem fio do simulador foi configurado para utilizar o modelo de propagação de Nakagami (SARKAR et al., 2003) e de Friis (CHANG, 2000), com alcance de transmissão de 300 m. Segundo (TALIWAL et al., 2004) e (SCHMIDT-EISENLOHR et al., 2007), é melhor para uma simulação VANET utilizar o modelo de propagação de Nakagami.

O módulo DTN para NS3 utilizado foi desenvolvido tendo por base o código do trabalho realizado em (HERBERTSSON, 2010).

Também foi desenvolvida uma versão modificada do protocolo de divulgação de posicionamento de veículos conhecido por *Adaptive Coverage Detection* (HÄRRI; BONNET; FILALI, 2008), onde o protocolo leva em conta as diferentes situações de densidade veicular para

controlar o envio das mensagens de posicionamento.

Para cada experimento foi criado um arquivo de simulação, onde foram definidas as posições, velocidades e mobilidade dos veículos. Para isto, utilizou-se o gerador de mobilidade SUMO (KRAJZEWICZ et al., 2002b).

O desempenho do protocolo VDTN-TD foi comparado ao dos protocolos Epidêmico, PROPHET (*Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity*) e *Spray-and-Wait* Binário, também codificados neste trabalho, em relação ao número de cópias realizadas de um mesmo agregado, a taxa de entrega, a taxa de expiração, a taxa de eficiência de entrega e o atraso médio de entrega.

1.4 Trabalhos Relacionados

As redes tolerantes a atrasos são um assunto recorrente na literatura (XU et al., 2012)(GRASIC et al., 2011)(HOSSMANN; SPYROPOULOS; LEGENDRE, 2010)(SPYROPOULOS et al., 2010)(OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2009). Já foram propostos diversos protocolos de roteamento para elas e eles podem ser classificados segundo seu funcionamento (LIU; YANG; QIN, 2011).

A primeira forma de classificação do protocolo de roteamento DTN diz respeito a forma pela qual são realizadas as cópias de agregados, quem podem ser baseados em encaminhamento ou em replicação. Nos baseados em encaminhamento, apenas uma cópia de cada agregado pode existir durante o roteamento, e isto lhes concede a capacidade de utilização mínima dos recursos de armazenamento. Porém, esta característica faz com que eles possuam um baixo desempenho pois o protocolo acaba não aproveitando as oportunidades de propagação da informação, o que aumentaria as chances dela ser entregue ao destinatário.

Para lidar com as deficiências dos protocolos baseados em encaminhamento, surgiram os baseados em replicação. Tais protocolos realizam várias cópias dos agregados na rede, e podem ser classificados em baseados em inundação ou em quota. Os protocolos baseados em inundação conseguem ótimos resultados de taxa de entrega e baixo atraso, entretanto, são os que mais consomem recursos da rede. Por conta disto, tais protocolos não são utilizados na prática (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2008).

Já os protocolos baseados em quotas limitam o número de cópias que podem ser realizadas. Porém, segundo (HUI; YONEKI., 2011), tais protocolos podem ser ineficientes quando os nós comunicantes estão em regiões distintas.

Nesta dissertação, o protocolo proposto é baseado em replicação, porém, como será apresentado no Capítulo 5, ele não realiza cópias de forma irrestrita. Com o uso da métrica tendência de entrega, o protocolo proposto realiza tais cópias sem desperdiçar recursos de ar-

mazenamento e de rede.

O trabalho realizado em (FRANCK; GIL-CASTINEIRA, 2007), apresenta os atributos e requisitos de funcionamento de uma VANET e como a DTN pode ajudar a superar os problemas causados pela alta desconectividade de uma rede veicular. Nele, foram realizados testes utilizando nós veiculares com e sem DTN ativado, em diferentes condições de rede, onde os autores concluíram que um nó puramente VANET possui alta taxa de perda de pacotes e que mesmo em um cenário com nós VANET/DTN existem perdas de pacotes por conta de *loops* de roteamento em *clusters* isolados. Portanto, é a partir deste direcionamento que verificou-se, através dos experimentos realizados em (FRANCK; GIL-CASTINEIRA, 2007), a importância de unir as duas tecnologias (VANET/DNT) para melhorar o desempenho na entrega de mensagens.

Em (CABRERA; ROS; RUIZ,), os autores do trabalho identificaram um conjunto de características comuns em grande parte dos protocolos de roteamento desenvolvidos para VANETs. São assinalados os principais problemas que cada protocolo analisado possui e são sugeridas medidas para contorná-los. Por exemplo, em um protocolo de roteamento geográfico como o (*Global State Routing*), o problema se dá na suposição que uma mensagem pode ser entregue com sucesso quando a distância entre dois nós for menor que o alcance de transmissão. Contudo, em uma situação real, quanto maior a distância entre os nós envolvidos na comunicação, menor será a probabilidade da mensagem ser recebida com sucesso. Os autores também apontam quais características são necessárias para o desenvolvimento de um protocolo de roteamento VANET adequado.

Neste trabalho, além de levarmos em conta as características da DTN, também são consideradas as restrições de funcionamento que um protocolo de roteamento VANET deve considerar em seu desenvolvimento (suposição do alcance de transmissão, uso de informações desatualizadas e função objetivo no roteamento baseado em trajetória).

Nesta proposta utiliza-se o combinado VANET/DTN para superar problemas de desconectividade inerentes às redes veiculares. No entanto, é proposto um novo protocolo de roteamento VANET/DTN capaz de identificar padrões de mobilidade que proporcionem uma melhora na taxa de entrega de informações e um menor atraso.

Em (YU; KO, 2008) é proposto um novo esquema de roteamento *unicast* em VANETs para escolher o melhor nó para carregar as mensagens de acordo com uma estratégia baseada na velocidade do nó. No trabalho, as estradas são divididas em quadras virtuais. Cada quadra possui um nó responsável (*ferry*) por carregar as mensagens. As mensagens são encaminhadas para o nó de uma quadra vizinha que possuir maior velocidade. Isto é feito repetidamente quadra a quadra, até que a informação alcance o destinatário.

No VDTN-TD, a velocidade é considerada como métrica na tomada de decisão de

encaminhamento do protocolo, porém, somente ela não é suficiente para garantir boas escolhas. Neste trabalho, além da velocidade, também é considerada a distância do nó à região de destino, assim como o sentido do movimento do nó. Um dos problemas do trabalho realizado em (YU; KO, 2008), é que somente a velocidade é utilizada como parâmetro de escolha, sem considerar se o veículo está se aproximando ou se afastando do destinatário. Além disso, não foram feitas comparações com outros protocolos de roteamento DTN.

Em (CHENG et al., 2008), é proposto um protocolo de roteamento DTN híbrido chamado *GeoDTN+Nav* que funciona explorando as informações de mobilidade veicular e do sistema de navegação *on-board* para carregar mensagens. Segundo os autores, o protocolo supera os protocolos (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) (LOCHERT et al., 2005) e (*Greedy Perimeter Coordinator Routing*) (KARP; KUNG, 2000) em relação à taxa de entrega de mensagens.

Nesta proposta, também foram utilizadas informações de mobilidade, porém, o VDTN-TD utilizou lógica nebulosa (SANDRI; CORREA, 1999) para identificar padrões de mobilidade para decidir quando é vantajoso copiar, encaminhar ou permanecer com a mensagem. Em (CHENG et al., 2008), o desempenho do protocolo não é comparado com outros protocolos de roteamento DTN e não é utilizado um modelo de propagação mais adequado para cenários reais, como o modelo de propagação de Nakagami (NAKAGAMI; TANAKA; KANEHISA, 1957) e de Friis (CHANG, 2000), e isto pode levar a resultados diferentes em experimentos que utilizam tais modelos de propagação (STEPANOV; HERRSCHER; ROTHERMEL, 2005), pois em um ambiente real, quanto maior a distância entre os nós comunicantes maior será a probabilidade da mensagem ser recebida com erros.

Em (BROMAGE; KOSHIMOTO; OBRACZKA, 2009), os autores propuseram um framework de roteamento DTN baseado no comportamento epidêmico e no histórico de mobilidade do nó denominado TAROT (*Trajectory-Assisted Routing*). No trabalho, os nós somente serão "infectados", ou seja, receberão uma cópia da mensagem, caso seu padrão de mobilidade os leve para próximo do destino. O protocolo utiliza dois algoritmos principais, são eles: *Path Detection* (PD) e o *Routing Decision Engine* (RDE). O PD é responsável por extrair e armazenar a mobilidade de um nó em um local conhecido por *Path Library*. Já o RDE é encarregado de realizar a tomada de decisão de encaminhamento e replicação com base nos caminhos armazenados.

Segundo os autores de (BROMAGE; KOSHIMOTO; OBRACZKA, 2009), quando o protocolo consegue combinar de forma inteligente a replicação e o encaminhamento das mensagens, isto leva a uma redução do *overhead*. No VDTN-TD o processo de replicação/encaminhamento também utiliza um método inteligente, como será apresentado no Capítulo 5. Diferente do TAROT, o VDTN-TD não armazena o padrão de mobilidade do veículo, e sim faz a tomada de decisão baseada na tendência de entrega do agregado.

Em (MATHURAPOJ; PORNAVALAI; CHAKRABORTY, 2009), é proposto um pro-

protocolo que utiliza tomada de decisão fuzzy para priorizar os agregados armazenados, e assim tentar conseguir aumentar a probabilidade de entrega dos mesmos. O protocolo utiliza dois parâmetros, *FTC (Forward Transmission Count)* e o tamanho do agregado, para atribuir as prioridades. Apesar de seu nome remeter ao protocolo *Spray-and-wait*, ele não possui qualquer mecanismo que limite o número de cópias de agregados. Na verdade, ele se comporta como o protocolo epidêmico, ou seja, faz cópias dos agregados que carrega sempre que entra em contato com outro nó.

O protocolo desenvolvido nesta dissertação também utiliza lógica fuzzy na tomada de decisão, mas não há qualquer estratégia de priorização dos agregados armazenados. Ele usa o conhecimento de sua mobilidade e de seus vizinhos para realizar cópias de agregados, por conta disto ele realiza menos cópias que outros protocolos que possuem comportamento epidêmico usual como será demonstrado no Capítulo 6.

2 REDES AD HOC VEICULARES

2.1 Definição

Redes ad hoc veiculares (VANETs) são uma subclasse de rede ad hoc móvel (*Mobile Ad hoc NETWORK*) que surgiram graças ao avanço na tecnologia de transmissão de redes sem fio. Um dos principais fatores que alavancaram seu desenvolvimento foi a necessidade de aumentar a segurança e eficiência do tráfego por meio de comunicação entre veículos.

Apesar de semelhante a uma MANET, a rede ad hoc veicular possui características singulares. Por conta destas características, protocolos desenvolvidos para MANET não são adequados para funcionarem em VANETs (TAHA; HASAN, 2007).

Em uma VANET podem ser desenvolvidas duas categorias de aplicação, as voltadas para segurança e as que devem proporcionar conforto aos passageiros. A primeira categoria contribui para melhorar a eficiência do tráfego veicular e diminuir situações de risco, como enviar mensagens de alerta quando ocorrer um acidente, por exemplo. O foco principal da segunda categoria é fazer com que a viagem transcorra agradavelmente para os passageiros. Isto é conseguido por meio de aplicações que fornecem acesso à Internet, bate papo com passageiros de outros veículos, rádios on-line, informações de restaurantes ou outras relevantes ao conforto da viagem (MOUSTAFA; ZHANG, 2009).

No ano de 1999, a Comissão de Comunicação Federal (*Federal Communications Commission*), nos Estados Unidos, demonstrou interesse nesta área ao alocar 75 MHz do espectro de frequência, na faixa de 5,9 GHz, para aplicações DSRC (DSRC).

Uma DSRC nada mais é que um serviço de comunicação para suportar aplicações de segurança pública e operações privadas, além de fornecer altas taxas de transmissão de dados com baixa latência em um alcance de transmissão de até 1000 m. O espectro DSRC é dividido em sete canais de 10 MHz como pode ser observado na Figura 1.

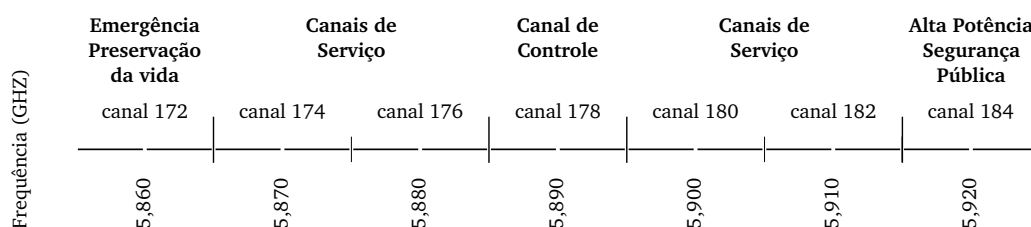


Figura 1: Espectro DSRC

O canal de controle (178) é utilizado exclusivamente para comunicação de segurança. Os canais 172 e 184 são utilizados respectivamente para futuras aplicações de emergência e preservação da vida e para alta potência e segurança pública. Já os canais de serviço 174, 176, 180 e 182 podem ser utilizados tanto para aplicações de segurança como para outras aplicações.

Em comparação com a faixa de frequência utilizada nos rádios por espalhamento espectral, localizada entre 902 – 928 MHz, também conhecida como faixa ISM (ISM) a DSRC proporciona uma taxa de dados e alcance bem superiores como pode ser observado na Tabela 1.

Parâmetros	ISM - 902-928 MHz	DSRC - 5850-5925 MHz
Espectro	12 MHz	10 MHz
Taxa de dados	500 Kbps	6-27 Mbps
Proteção	Nenhuma	Primária
Interferência	telefone 900 MHz; radar espalhamento espectral de rádio	alguns radares; satélites
Alcance máximo	91,44 m	1000 m
Capacidade do canal	1-2	7
Potência (downlink)	< 10 watts	< 2 watts
Potência (uplink)	< 4 mW	< 2 watts

Tabela 1: Comparação entre DSRC e ISM

Em julho de 2003, a (ASTM) e a (IEEE) adotaram o DSRC como padrão de comunicação VANET. O objetivo era fornecer capacidade de comunicação sem fio para aplicações de transporte dentro de um alcance de 1000 m.

Uma VANET é formada espontaneamente entre veículos equipados com dispositivos de interface sem fio (OBU) que podem ou não estar em movimento, tais dispositivos empregam sistemas de comunicação de curto e médio alcance.

Também faz parte da infraestrutura de uma rede veicular o uso de equipamentos instalados ao lado da estrada (RSU) que podem fornecer acesso à Internet além de possibilitar a comunicação entre veículos distantes além de seus alcances de transmissão.

Na formação e utilização de uma rede veicular, a comunicação pode ser realizada entre veículos (V2V, *Vehicle to Vehicle*) (Figura 2), entre veículos e RSUs (V2I) (Figura 3) ou utilizando os dois métodos (Figura 4).

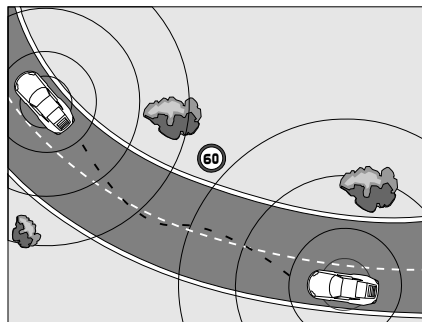


Figura 2: Comunicação veículo-veículo

Na comunicação exclusiva entre veículos (V2V), cada OBU funciona em modo ad hoc, podendo assim encaminhar mensagens através de múltiplos saltos. Neste tipo de configuração,

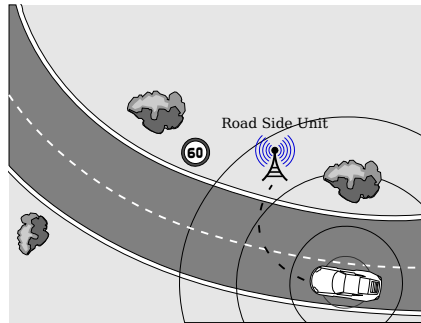


Figura 3: Comunicação veículo-infraestrutura

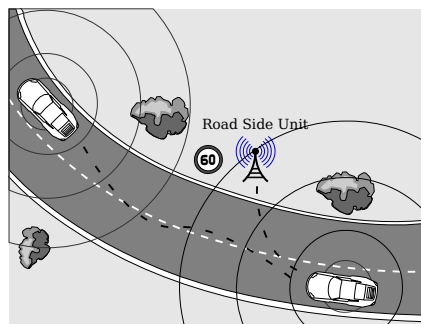


Figura 4: Comunicação veículo-veículo e veículo-infraestrutura (híbrida)

uma vantagem clara é não ser necessária uma infraestrutura para seu funcionamento, porém, neste caso, a conectividade da rede é altamente dependente da densidade veicular (isto é, a quantidade de veículos em um determinado espaço) e do padrão de mobilidade (velocidade, traçado da estrada etc).

Já no modo infra estruturado (V2I), a conectividade da rede veicular aumenta e também pode ser integrada, através de *gateways*, a outras redes. Contudo, o custo de implantação cresce substancialmente.

A comunicação entre veículos distantes é possível quando RSUs diferentes estão conectadas por fios ou outros links de comunicação fixa (Internet) e cada um está conectado a um ou mais veículos (Figura 5). Desta forma, a conexão entre RSUs serve de ponte para a comunicação entre dispositivos de bordo dos veículos.

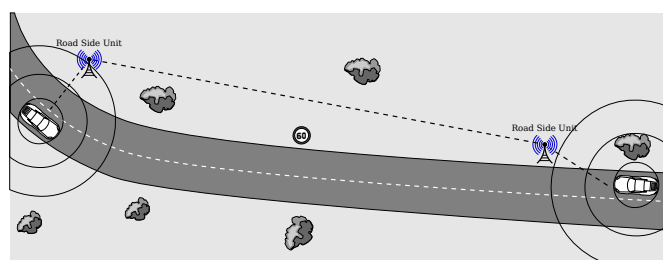


Figura 5: Comunicação entre veículos distantes através de RSUs interligadas

As redes veiculares fazem parte de um projeto guiado pela comunidade científica e

pela indústria automobilística. A principal meta é construir e desenvolver um Sistema de Transporte Inteligente (STI) para fornecer, neste contexto, serviços de assistência aos motoristas e passageiros.

2.2 Características e Desafios

Uma VANET é uma instância de uma MANET, entretanto, tem comportamento particularmente diferente. Sua mobilidade é restringida pela forma de guiar do motorista, pelo traçado das ruas e pelas leis de trânsito, além disso, a alta velocidade alcançada por um veículo cria características únicas na comunicação (YOUSEFI; MOUSAVI; FATHY, 2006). Tais características devem ser consideradas no projeto de desenvolvimento de protocolos e de aplicação.

Dentre suas principais características, segundo (MOUSTAFA; ZHANG, 2009), destacam-se: (1) potência de transmissão virtualmente ilimitada, (2) alta capacidade computacional e (3) predição de mobilidade.

Em VANETs não há uma restrição significativa da potência de transmissão como ocorre em algumas redes de sensores sem fio. O nó (veículo) pode fornecer alimentação contínua para os dispositivos de computação e comunicação.

Por conta da alta capacidade computacional dos dispositivos presentes em uma VANET, podem ser desenvolvidas aplicações mais complexas sem tantas restrições de memória e processamento como ocorrem em redes de sensores sem fio.

Ao contrário das redes ad hoc móveis, onde é difícil prever a mobilidade dos nós, os veículos geralmente possuem movimentos previsíveis por serem limitados por estradas. Além disso, com a popularização e barateamento de dispositivos de posicionamento global, estão facilmente disponíveis informações de posicionamento dos veículos e mapas digitais. Dada a velocidade média, posição atual e o traçado da estrada, a posição futura de um veículo pode ser prevista.

Apesar de uma VANET possuir características bem definidas, existem vários problemas e desafios que precisam ser superados. Segundo os autores em (BLUM; ESKANDARIAN; HOFFMAN, 2004), os principais desafios são: (1) rápida mudança na topologia da rede o que causa dificuldade em sua gerência, (2) fragmentação frequente na comunicação dos veículos, (3) rede potencialmente grande, (4) densidade variável da rede e (5) sua topologia pode ser afetada pelo comportamento do motorista, por conta de sua reação ao receber uma mensagem de segurança, por exemplo.

O ambiente em que uma rede veicular opera é extremamente dinâmico e necessita de configurações extremas. Nas rodovias, por exemplo, a velocidade relativa entre veículos pode alcançar os 200 km/h e a quantidade de vizinhos pode ser baixa. Logo em seguida, ao entrar em

um cenário urbano, a velocidade relativa pode baixar para menos de 60 km/h ao mesmo tempo em que a quantidade de vizinhos aumenta consideravelmente.

A rápida mudança de topologia acaba por forçar o desenvolvimento de padrões e aplicações bastante restritos ao tempo de funcionamento. Também pode ser consideradas mais de uma solução, como computar mais de um caminho quando o roteamento for realizado, por exemplo.

Uma rede ad hoc veicular é sujeita a fragmentação frequente onde setores da rede são incapazes de se comunicar com outros veículos localizados em regiões próximas. Inicialmente, por conta de baixa adoção de OBUs nos veículos e pela natureza dinâmica da rede, podem ser formados intervalos grandes em cenários esparsos gerando assim agrupamentos isolados de veículos.

Os cenários VANET's são muito diferentes dos MANET's clássicos. Os veículos constantemente estão se movendo e mudando a topologia da rede. Por conta da rede potencialmente grande e da densidade variável, o ideal é que os protocolos desenvolvidos para VANET sejam adaptáveis ao contexto, ou seja, eles devem empregar métodos que levem em conta diferentes situações que podem ocorrer em um cenário veicular (KOSCH et al., 2006).

2.3 Aplicações

São muitas as possibilidades de aplicações e serviços em uma rede ad hoc veicular. Basicamente, elas podem ser classificadas em aplicações de segurança e conforto (entretenimento, comerciais etc) (MOUSTAFA; ZHANG, 2009). As aplicações de segurança fornecem meios para tentar diminuir a quantidade de acidentes de trânsito e melhorar condições do tráfego fornecendo aos motoristas e passageiros informações úteis como avisos de colisão, alarmes de sinalização da estrada e visão do tráfego. No caso de aplicações de conforto, são fornecidos serviços voltados para o conforto dos passageiros.

2.3.1 Aplicações de Segurança

Em geral, aplicações de segurança fornecem mensagens e avisos referentes às situações de risco na estrada, como por exemplo, as aplicações cooperativas de alerta de colisão, sensor/alerta de colisão iminente e alerta sobre locais perigosos (BALDESSARI et al., 2007).

As aplicações cooperativas de alerta de colisão auxiliam o motorista evitar choques com a traseira de outros veículos. Em condições normais, os veículos equipados com dispositivos sem fio devem compartilhar informações de posição, velocidade e direção para que seja possível prever colisões. Cada monitor da aplicação atua no veículo e quando é detectada uma aproximação crítica com os vizinhos é emitido um aviso. Os requisitos necessários para o de-

envolvimento de tal aplicação são:

1. Habilidade de compartilhar informações entre veículos;
2. Posicionamento relativo preciso dos veículos vizinhos;
3. Informações confiáveis.

Para aplicações de colisão iminente, além da previsão de colisão, são enviadas informações aos mecanismos de segurança para tentar amenizar os danos causados pelo acidente. Quando a colisão não puder mais ser evitada, esta informação extra permite utilização otimizada dos *air bags*, cintos de segurança pré-tensionado e amortecedores. Semelhante a aplicação anterior, a aplicação de colisão iminente necessita:

1. Habilidade de compartilhar informações entre veículos;
2. Posicionamento relativo preciso dos veículos vizinhos;
3. Informações confiáveis;
4. Troca rápida de informações de colisão entre os veículos envolvidos antes do choque.

As aplicações que alertam sobre locais perigosos utilizam a rede veicular para compartilhar informações sobre estradas escorregadias, buracos ou outras situações de risco que podem ocorrer. O principal objetivo destas aplicações é gerar informação de estado de condução de um local específico.

As informações pertinentes podem ser compartilhadas com qualquer número de veículos em mais de uma área, limitada apenas pela densidade de veículos equipados. Além da informação propagada por um veículo, informações externas podem ser acessadas através dos RSUs e propagadas através da rede ad hoc veiculares. As aplicações de alertas de locais perigosos necessitam dos seguintes requisitos:

1. Habilidade de compartilhar informações sobre uma área específica entre veículos através de múltiplos saltos;
2. Habilidade de avaliar a estrada para validar a informação compartilhada;
3. Confiar nas informações geradas pelos RSUs;
4. Confiar nas informações geradas por outros veículos.

Além das aplicações anteriormente citadas, existem aquelas desenvolvidas para melhorar a eficiência do tráfego. Estas aplicações são encarregadas de fornecer informações sobre navegação, ou mesmo menores rotas, para determinados destinos ou rotas menos congestionadas. Estas aplicações necessitam de uma infraestrutura que colete e mantenha informações sobre congestionamento para que sejam compartilhadas entre os veículos através de RSUs.

Outro exemplo de aplicação que pode ser desenvolvida, é aquela que sugere uma velocidade ao motorista com o intuito de prover uma condução mais tranquila e sem necessidade de parar constantemente em semáforos (*Green Light Optimal Speed Advisory*). Quando um veículo se aproxima de um semáforo, ele recebe informações de localização e tempo restante para que o sinal mude de verde para vermelho. Com estes dados, a aplicação pode calcular a velocidade ótima usando a distância entre o veículo e tempo restante para o semáforo mudar de sinalização. Com isto, espera-se diminuir a quantidade de paradas resultando em um acréscimo do fluxo do tráfego e aumento da economia de combustível.

2.3.2 Aplicações de Conforto

Esta categoria de aplicações se destina ao conforto dos passageiros ou mesmo recepção de anúncios publicitários, como os de lanchonetes ou outros estabelecimentos comerciais (BALDESSARI et al., 2007). Esta interação diária que ocorre quando o passageiro demonstra interesse por determinados anúncios acaba proporcionando informações em uma base regular. Estas informações podem direcionar o tipo de anúncio que o motorista prefere receber.

Nesta categoria, destacam-se as aplicações de acesso a Internet, notificação de pontos de interesse e diagnóstico remoto do veículo.

As aplicações de acesso a Internet necessitam que as unidades de acostamento forneçam esse serviço e que a comunicação com os RSUs possam ocorrer através de múltiplos saltos quando um veículo não puder se conectar diretamente. Além disso, é necessário que exista uma manutenção dinâmica da rota para garantir que a comunicação ocorra com certo nível de qualidade.

A aplicação de notificação de pontos de interesse permite obter informações sobre as empresas locais, atrações turísticas, ou outros para anunciar a sua disponibilidade para veículos nas proximidades. Neste caso, as unidades de acostamento transmitem informações a respeito de um ponto de interesse, tais como a sua localização, horário de funcionamento e preços.

A enorme quantidade de informação pode ser filtrada de forma adaptativa para as necessidades do condutor. Por exemplo, se o medidor de combustível é baixo, o veículo poderia mostrar a localização dos postos de reabastecimento e preços nas áreas próximas. A vantagem neste caso, é que a publicidade torna-se mais eficaz a medida que os veículos se encontram próximos ao estabelecimento. O benefício para o consumidor é a informação atualizada de uma

empresa nas proximidades. Para esta aplicação faz-se necessário:

1. Veículos devem confiar nas informações originadas pelas unidades de acostamento;
2. Capacidade de uma unidade de acostamento transmitir informações aos veículos da vizinhança.

Por último, as aplicações de diagnóstico permitem que uma estação de serviço avalie o estado de um veículo sem fazer uma inspeção física dele. Quando um veículo vai até uma oficina, as informações de diagnóstico de problemas podem ser consultadas diretamente do veículo para auxiliar no diagnóstico do problema relatado pelo cliente. O histórico de manutenção do veículo e informações dos clientes podem ser recuperados de um banco de dados e serem usadas pelo técnico. Se atualizações de software forem necessárias, o sistema pode também instalá-las sem conexão física. O uso desta aplicação pode reduzir o tempo necessário para servir um cliente durante uma visita a uma oficina. Isso também irá resultar em menores custos para o reparo e menos tempo de espera para os clientes.

2.4 Arquitetura

A arquitetura especificada para VANET é conhecida por IEEE 802.11p (WAVE) (Figura 6) e é composta por documentos que definem um conjunto de padrões de interface de comunicação V2V e V2I. Tal arquitetura é importante para que exista interoperabilidade entre dispositivos desenvolvidos por diferentes fabricantes.

Até então foram definidos cinco documentos na arquitetura WAVE (EICHLER, 2007). Cada um descreve o funcionamento de protocolos de segurança, acesso ao meio, gerente de recursos, serviços de rede e operação com múltiplos canais. Os documentos são os seguintes: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4 e 802.11p.

O documento IEEE 1609.1 (Gerente de Recursos) especifica a comunicação entre aplicativos remotos e unidades de bordo (OBU) através de unidades de acostamento (RSU). O Gerente de recursos atua como uma camada de aplicação que multiplexa a comunicação de várias aplicações com várias OBUs. O objetivo é trocar informações necessárias para desenvolver aplicação remotas WAVE.

Em uma RSU existem aplicações que fornecem serviços, estes serviços são requisitados por OBUs através do processador de comandos de recurso (RCP). Fora de uma RSU, existem aplicações que podem se comunicar com OBUs através de RSUs, elas são conhecidas por aplicações de gerenciador de recursos (RMA) e se comunicam com o RCP através do (RM). Este padrão descreve como o gerenciador de recursos multiplexa diversos pedidos dos RMAs

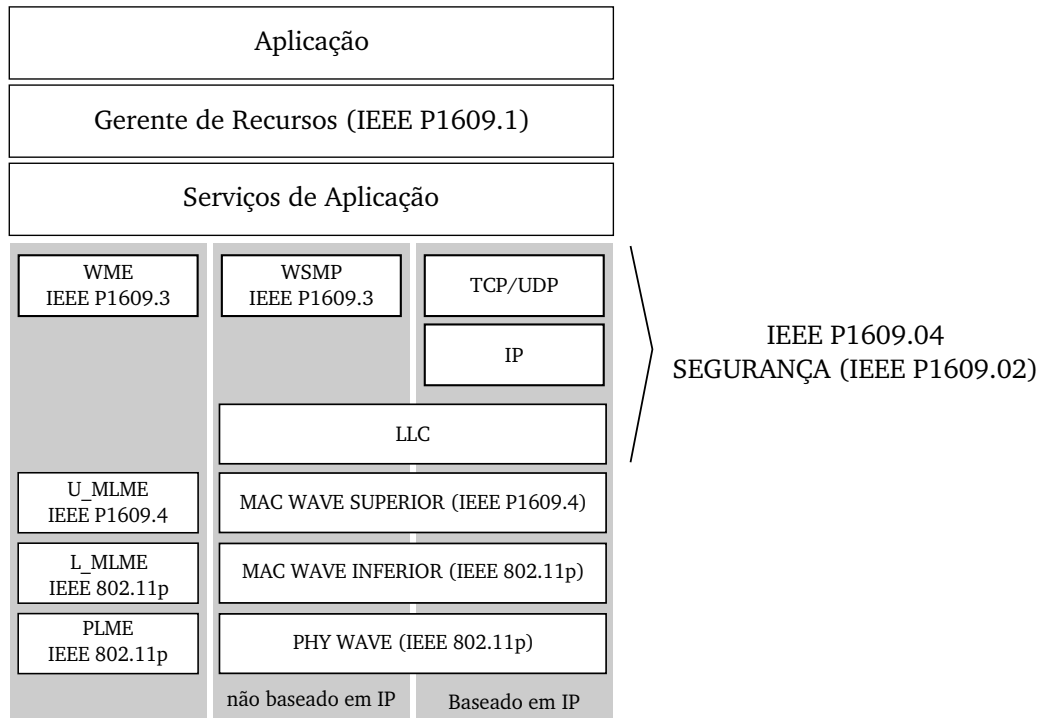


Figura 6: Arquitetura IEEE 802.11p WAVE

aos OBUs para que esses tenham acesso a memória e as interfaces de outros equipamentos controlados pelo RCP.

Toda a comunicação é iniciada a partir de um provedor, que emite os pedidos de um usuário, que responde apenas às solicitações que recebe. Dentro deste padrão, o RM é o prestador de um serviço (como um representante das RMAs) e RCP o usuário dos serviços (que representa os recursos a serem geridos). Tanto o RSU quanto o OBU podem funcionar como provedor, em outras palavras, um ou outro tipo de dispositivo pode hospedar o RM.

O propósito deste padrão é permitir a interoperabilidade completa de aplicações que utilizam WAVE para simplificar os sistemas de bordo do veículo, reduzindo o custo e melhorando o desempenho. O uso efetivo da memória pelos aplicativos também pode minimizar os problemas de gerenciamento de configuração de um sistema.

O documento IEEE P1609.2 (Serviço de Segurança para Aplicações e Mensagens de Gerenciamento) descreve padrões de segurança que utilizam técnicas para proteger os serviços na comunicação. Então, são definidos os formatos de mensagens de segurança e o processamento delas dentro de um sistema WAVE. Tais padrões têm como única restrição o tempo de operação, já que, a maioria das aplicações é restringida pelo tempo. Além disso, a sobrecarga de processamento e banda deve ser mínima, para diminuição do tempo de resposta e da probabilidade de perda de pacote.

Já o escopo do padrão IEEE P1609.3 (Serviços de Rede) é o de definir serviços, ope-

rando nas camadas de transporte, rede e controle de enlace lógico (LLC), para suportarem conectividade sem fio entre dispositivos veiculares e entre dispositivos de unidade de acostamento e veiculares usando o modo DSRC/WAVE 5.9 GHZ. O propósito é fornecer serviços de endereçamento e roteamento, permitindo múltiplas pilhas de camadas superiores acima de serviços de rede WAVE e múltiplas camadas inferiores, abaixo dos serviços de rede WAVE.

A comunicação, dentro da arquitetura WAVE, pode ser realizada utilizando IPv6 ou mensagens curtas WAVE (WAVE Short Messages). Essa última, por não passar pelas camadas de transporte e rede é mais eficiente. Além disso, é neste documento que é definido a (MIB) para a pilha de protocolos WAVE.

O padrão IEEE P1609.4 (Operação de múltiplos canais) descreve operações de múltiplos canais (modo WAVE), onde o dispositivo deve monitorar o canal de controle (CCH) aguardando serviços WAVE, para obter o número do canal de serviços (SCH) que será utilizado. Além disso, ele deve monitorar o CCH em intervalos de tempo à espera de outros serviços.

O padrão IEEE 802.11p (Controle de Acesso ao Meio e Especificações da Camada Física) é uma extensão do protocolo IEEE 802.11 e é baseada principalmente no padrão IEEE 802.11a. Ele define melhorias ao 802.11 necessárias as aplicações ITS. Estas melhorias incluem a capacidade de troca de informações em alta velocidade entre veículos e entre veículos e unidades de acostamento. Os parâmetros chaves do padrão da camada física DSRC são exibidos na Tabela 2

Parâmetros	Valores
Data Rate	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 e 27 Mbps
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM
Coding Rates	1/2, 2/3 e 3/4
Subcarries	52
Pilot Tones	4
OFDM Symbol Duration	8 μ seg
Guard Interval	1.6 μ seg
Subcarrie Spacing	156.25 KHz
Signal Bandwidth	10 MHz

Tabela 2: Parâmetros chaves do padrão da camada física DSRC

Ele Utiliza como esquema de acesso ao meio o (CSMA/CA) para compartilhar o enlace, usa um canal de controle para configurar as transmissões e utiliza o sistema (OFDM) para prover comunicação V2V e V2I em um alcance de 1000 m.

O padrão atual do IEEE 802.11p fornece um conjunto mínimo de especificações necessárias para garantir interoperabilidade entre os dispositivos sem fio na tentativa de fazer uma comunicação rápida em ambientes altamente dinâmicos, onde o tempo de conexão entre dispositivos pode ser muito baixo.

Dentre as modificações propostas, as principais são: (1) largura do canal de 10 MHz, (2) requisitos de desempenho do receptor de rádio mais restritivos que os dos 802.11a e (3) especifica a utilização dos rádios 802.11p nos EUA, definindo quatro máscaras de transmissão dedicadas a quatro classes de operações distintas.

3 DELAY-TOLERANT NETWORKS EM VANETS

3.1 Introdução

O principal objetivo de uma Rede Ad Hoc Veicular é o de fornecer um sistema de segurança nas estradas, além de prover aplicações comerciais para torná-lo economicamente viável. Uma VANET é altamente móvel e isto faz com que a comunicação entre os veículos seja um assunto de grande interesse entre os pesquisadores. Ela, em certos momentos, pode se tornar esparsa e com baixa conectividade, diminuindo as oportunidades de contato com outros nós, e em outros se tornar densa, com muitos nós disputando o acesso ao meio de transmissão contribuindo para diminuir o desempenho global da rede.

Um conceito importante em VANETs é a densidade veicular ρ , ela é definida como o número N de veículos por unidade de comprimento Δx de uma estrada ($\rho = \frac{N}{\Delta x}$) e ela está diretamente relacionada à conectividade da VANET.

Encontrar um caminho fim-a-fim em uma rede com baixa densidade é muito difícil. As oportunidades de conexão são conseguidas através da alta mobilidade dos veículos, porém, tais oportunidades são mais amplas para configuração de rotas com poucos saltos, como demonstrado em (NAMBOODIRI; AGARWAL; GAO, 2004). Esta dificuldade acaba fazendo com que o modelo de serviço baseado em TCP/IP tenha seu desempenho prejudicado.

Com a popularização de dispositivos móveis e comunicação sem fio, surge a necessidade de criar novas aplicações que funcionem em diferentes locais e situações. Geralmente, os projetistas aproveitam a tecnologia existente, como o TCP/IP, como base para desenvolver tais aplicações, porém, o modelo de serviço baseado em TCP/IP, para funcionar adequadamente, pressupõe a existência de um caminho fim-a-fim entre os pares origem/destino, RTT () não excessivo e baixa probabilidade de descarte de pacotes. Contudo, existem cenários onde um ou mais destes pressupostos são violados. Kevin Fall em seu trabalho (FALL, 2003), exhibe uma classe de rede onde isto acontece. Estas redes são conhecidas como redes desafiadoras e seus exemplos incluem:

1. Redes móveis terrestres
2. Redes com meio de transmissão exótico
3. Redes ad hoc militares
4. Redes de sensores

As redes desafiadoras se diferem das redes usuais nos seguintes aspectos: (1) alta latência, (2) limitação de largura de banda, (3) alta probabilidade de erro e (4) baixa estabilidade de

uma rota. Uma VANET se enquadra dentro deste contexto e para que o funcionamento de suas aplicações não seja prejudicado quando ela se torne esparsa, é importante que um nó VANET possa armazenar-carregar-encaminhar mensagens para outros veículos sem a necessidade de uma caminho origem/destino completo. Tal funcionalidade é conseguida através da arquitetura DTN como foi proposto pela primeira vez em (LITTLE; AGARWAL, 2005).

As próximas subseções apresentarão uma visão geral da DTN no que diz respeito as suas funcionalidades, arquitetura e principais protocolos de roteamento.

3.2 Delay Tolerant Networks

A DTN foi arquitetada pelo grupo DTNRG (*Delay Tolerant Network Research Group*), parte da IRTF (*Internet Research Task Force*), para viabilizar o funcionamento de redes que operam em ambientes com conectividade intermitente e atraso elevado.

Os membros da DTNRG definiram uma arquitetura onde propuseram uma comunicação orientada a mensagem para que fosse possível conseguir interoperabilidade entre nós mesmo com expectativa limitada de conectividade fim-a-fim e de recursos.

No projeto da arquitetura DTN foram definidos: entrega confiável, serviços de segurança e esquema flexível de identificação por vinculação tardia. Como a camada de agregação funciona acima da camada de transporte, a DTN suporta intercomunicação entre redes heterogêneas através de *gateways* DTN. No contexto de redes desafiadoras, os *gateways* DTN seriam úteis pois é comum o desenvolvimento de protocolos especializados para tais ambientes, ou seja, nem sempre se utiliza a pilha TCP/IP. Portanto, para conseguir interoperabilidade entre protocolos diferentes é importante que a DTN forneça comunicação entre protocolos proprietários e o protocolo TCP/IP.

3.2.1 Arquitetura

A arquitetura DTN foi definida em 2007 pela RFC 4838 (CERF et al., 2007) juntamente com as especificações do protocolo de agregação através da RFC 5050 (SCOTT; BURLEIGH et al., 2007). Posteriormente, em 2010 e 2011, foram definidas as RFCs 6255 (BLANCHET, 2011) e 6257 (FARRELL et al., 2011). A primeira trata dos registros IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) do protocolo de agregação DTN e a segunda trata de aspectos de segurança do protocolo de agregação.

A arquitetura DTN foi desenvolvida para lidar com uma variedade de problemas que ocorrem em redes não convencionais onde os protocolos usuais não funcionam adequadamente. Em seu projeto original, a comunicação entre os nós em tais redes é conseguida através de técnicas de comutação de mensagens e armazenamento persistente em uma nova sobre camada

(*overlay*) denominada camada de agregação (*Bundle Layer*).

Uma região no contexto de DTN, como ilustrado na Figura 7, representa um rede de comunicação constituída por um ou vários nós interconectados através de protocolos exclusivos as suas necessidades de comunicação. A DTN foi projetada para possibilitar comunicação entre regiões diferentes através de *gateways* DTN. Um *gateway* DTN, por meio da camada de agregação, é capaz de prover tal comunicação utilizando pilhas de protocolos específicos para cada região como ilustrado na Figura 8.

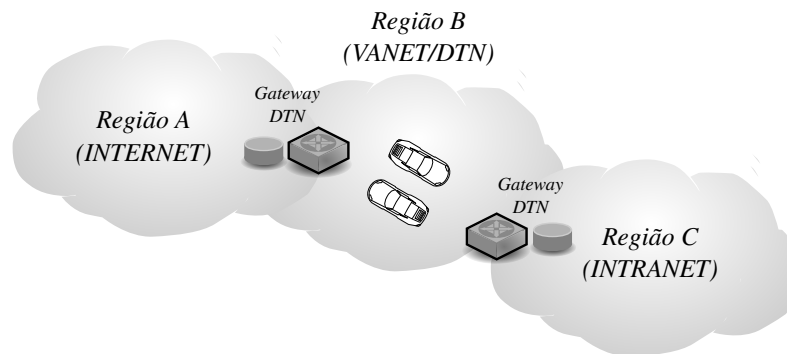


Figura 7: Exemplo de uso de *gateways* DTN para comunicação entre regiões diferentes

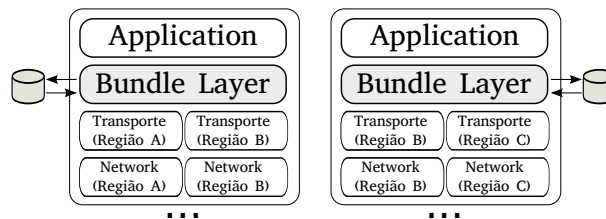


Figura 8: Exemplo de *gateways* DTN com pilhas de protocolos específicos para regiões distintas

A camada de agregação foi projetada para permanecer acima da camada de transporte, como pode ser observado na Figura 9 e isto garante a interoperabilidade de comunicação entre regiões diferentes que podem ou não usar protocolos diferentes. Além disso, a camada de agregação é capaz de armazenar persistentemente mensagens trocadas pelos nós através de cartões de memória *flash* ou outros dispositivos de armazenamento.

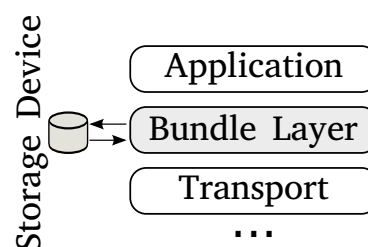


Figura 9: Camada de Agregação

Na comunicação, aplicações DTN criam mensagens de tamanhos diferentes denominadas Unidades de Dados de Aplicação (Applications Data Units - ADU) e as enviam para

a camada de agregação onde elas são unidas em uma única Unidade de Dado de Protocolo (Protocolo Data Unit - PDU ou agregado). As PDU's são armazenadas por um período de tempo determinado (dias, horas etc) enquanto não houver como transferi-los para outros nós. Quando o tempo de validade de uma PDU expirar, os recursos utilizados por ela são liberados. As PDU podem ser fragmentadas durante a transmissão. Dois ou mais fragmentos podem ser remontados em qualquer local da rede formando uma nova PDU.

Dependendo das características da rede atravessada, pode ser necessário reduzir o tamanho do agregado para que ele possa ser encaminhado. As funções de fragmentação e reagrupamento do agregado são executadas pelo protocolo de agregação. Após a fragmentação, cada fragmento continua sendo visto como um agregado que pode ser fragmentado outras vezes. Dois ou mais fragmentos podem ser reagrupados em qualquer lugar da rede, formando um novo agregado.

Em uma rede desafiadora, um caminho fim-a-fim para comunicação de aplicações em regiões distantes pode não estar disponível, portanto, não é viável trocar mensagens de confirmação ou de configuração entre tais aplicações já que não há garantia de entrega do agregado. Na DTN, toda informação relevante para o funcionamento das aplicações deve estar contida em uma única PDU. Por exemplo, a PDU referente ao *upload* de uma aplicação FTP (File Transfer Protocol) seria composta por informações de configuração (nome do usuário, senha etc) além dos dados que serão transferidos.

Na DTN, não há comunicação fim-a-fim através de múltiplos saltos entre regiões distintas. O agregado é encaminhado salto-a-salto, partindo da região origem, até alcançar a região de destino. Em um contato entre nós DTN, *A* e *B* por exemplo, *A* pode transferir seus agregados para *B* e somente liberará os recursos de armazenamento utilizados após receber uma confirmação de recebimento de *B*. Este processo é denominado transferência de custódia e é repetido por meio de nós intermediários até que o agregado seja entregue em uma região de destino especificada. O funcionamento da transferência de custódia é apresentado na Figura 10.

Na arquitetura DTN, um contato é definido como uma oportunidade de comunicação entre nós e ele pode ser classificado como: oportunista, programado e previsível. No contato oportunista, não há qualquer previsão de quando haverá comunicação. É o caso de redes móveis terrestres. No contato programado, o horário e a duração de comunicação entre os nós são conhecidos antecipadamente. Este tipo de contato é bastante comum em redes interplanetárias já que os corpos celestes e os satélites movimentam-se em períodos de tempo conhecidos. Já no contato previsível, é possível fazer previsões de comunicação através de históricos de contatos. Em uma rede terrestre móvel, por exemplo, isto ocorre quando a informação é carregada por veículos que percorrem uma rota pré-estabelecida em períodos de tempo relativamente parecidos como no caso do transporte coletivo.

Cada região DTN é distinguida de outra, na camada de agregação, por meio de um

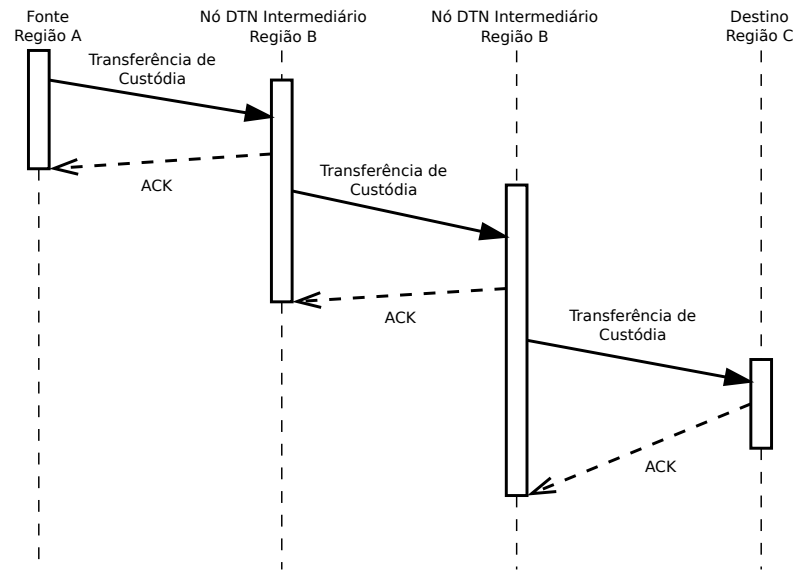


Figura 10: Exemplo de transferência de custódia de PDUs entre regiões diferentes

identificador único (EID - Endpoint Identifiers). Um EID é definido segundo a sintaxe URI () como exibido abaixo:

<nome do esquema>:<parte específica do esquema>

O nome do esquema é padronizado e mantido pela IANA por meio do esquema de nomes gerenciados globalmente. Já a parte específica do esquema identifica uma série de características da região, como sua identificação, aplicação etc. Exemplo: `dtn://uece.dtn/dtn_rec`.

3.3 Store-carry and Forward e DTN

Apesar dos paradigmas de funcionamento de encaminhamento de mensagens do *Store-carry and Forward* (SCF) e da DTN parecerem iguais, existem algumas diferenças que precisam ser mencionadas. A primeira diferença diz respeito a finalidade, a DTN tem como principal objetivo viabilizar a troca de informações entre regiões distintas. Tais diferenças tanto podem ser em relação à posição geográfica, quanto podem ser em relação as tecnologias de comunicação. No SCF, não há qualquer menção a finalidade. Os nós com SCF podem encaminhar mensagens de outros nós assim como ser responsáveis por iniciar o envio da mensagem. Já na DTN, geralmente, as “mensagens” são originadas nos *gateways* DTN na borda de uma região.

Outra característica importante diz respeito às mensagens trocadas. Na DTN, um nó *gateway* de borda pode agregar várias mensagens de uma aplicação em um único *bundle* e enviá-los de uma vez só. Portanto, o SCF está mais relacionado a forma como a mensagem é carregada e encaminhada, já a DTN é mais ampla, engloba características gerais, e utiliza SCF na entrega dos agregados.

3.4 Roteamento

Uma rota (jornada) em DTN é uma sequência de oportunidades de comunicação previstas ou imprevistas sem garantia de estabilidade. Em cada contato, a mensagem pode ser encaminhada ou copiada. Nestas circunstâncias, o principal objetivo de um protocolo de roteamento DTN é aumentar a probabilidade de entrega da mensagem ao mesmo tempo em que procura diminuir o atraso fim-a-fim.

Em ambientes desafiadores como os que o DTN opera, os protocolos de roteamento tradicionais como o OLSR (CLAUSEN; JACQUET, 2003), AODV(PERKINS; ROYER; DAS, 2003) e DSDV(PERKINS; BHAGWAT, 1994) não funcionam adequadamente (SPYROPOULOS et al., 2010). Portanto, vários protocolos específicos para DTN foram propostos. Segundo (SPYROPOULOS et al., 2010), eles podem ser classificados segundo o ambiente no qual operam como determinísticos ou estocásticos.

Um protocolo de roteamento DTN é dito determinístico quando ele conhece o estado atual e futuro da topologia, podendo utilizar técnicas, como grafos temporais, para prever o comportamento da rede e assim realizar um encaminhamento mais efetivo. No roteamento determinístico, o encaminhamento de mensagens pode ser agendado para quando o desempenho da rede é ótimo, ou seja, quando a utilização de recursos é mínima.

Um protocolo de roteamento DTN é dito estocástico quando ele desconhece, ou conhece muito pouco sobre a evolução futura da topologia da rede. Neste caso, o protocolo pode encaminhar aleatoriamente, salto a salto as mensagens, esperando eventualmente que ela seja entregue à região destino, mas sem nenhuma garantia.

Um esboço dos tipos de protocolo de roteamento DTN é ilustrado na Figura 11.

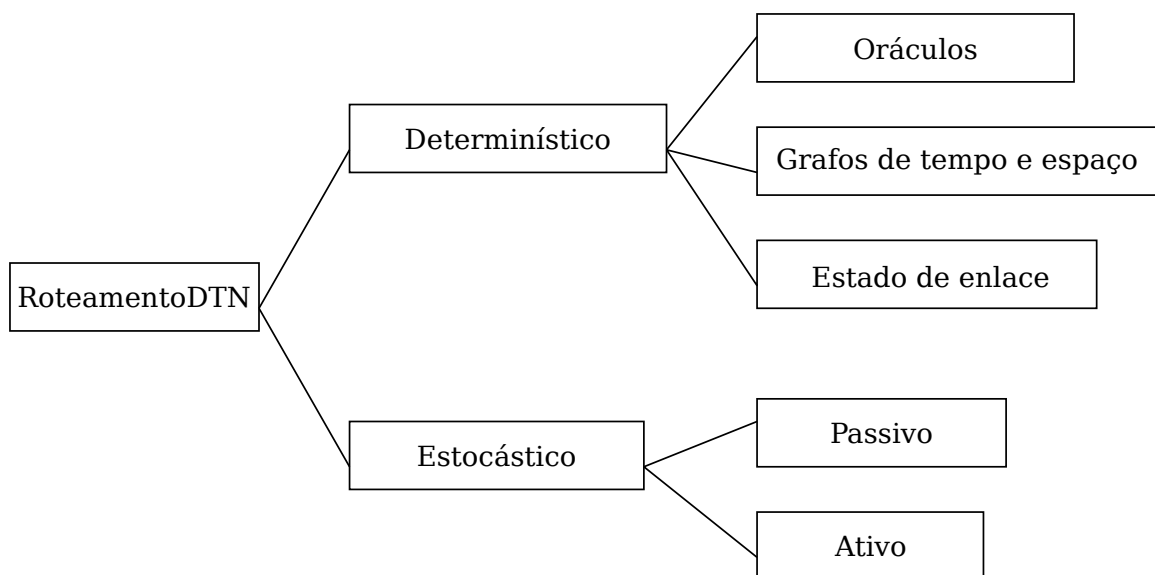


Figura 11: Classificação de tipos de roteamento DTN

Em geral, o roteamento determinístico é baseado na formulação de modelos de grafos temporais e na busca pelo menor caminho, considerando configurações futuras da topologia. Esta técnica assume que a informação local e global da evolução da topologia da rede estão até certo ponto disponíveis. Com isto, a rede pode apresentar um melhor desempenho, se comparado ao seu desempenho utilizando roteamento estocástico, pois utiliza menos recursos da rede ao realizar menos cópias da informação em trânsito. Dentro desta classe existem os roteamentos baseados em Oráculos e Grafos.

Um Oráculo, no contexto de roteamento DTN, é uma aplicação que fornece aos nós da rede informações sobre determinados assuntos como: o tempo médio necessário para que um novo contato aconteça entre determinados nós; o instante no qual dois nós entrarão em contato assim com sua duração, a ocupação dos *buffers* de transmissão e a demanda de tráfego de todos os nós da rede.

Um grafo temporal possui as mesmas características de um grafo normal, como as arestas e vértices, porém, cada aresta possui associado a ela os instantes nos quais ela estará disponível. Um caminho ou uma jornada em um grafo temporal é uma sequência de enlaces por onde a informação transita de um vértice origem para um vértice destino. Uma jornada deve levar em conta restrições de disponibilidade do enlace com o passar do tempo. Isto significa que, no cálculo da jornada, um enlace não pode ser escolhido quando ele existir apenas no início do envio das mensagens. A Figura 12 apresenta o formato de um grafo temporal e sua evolução durante 3 segundos.

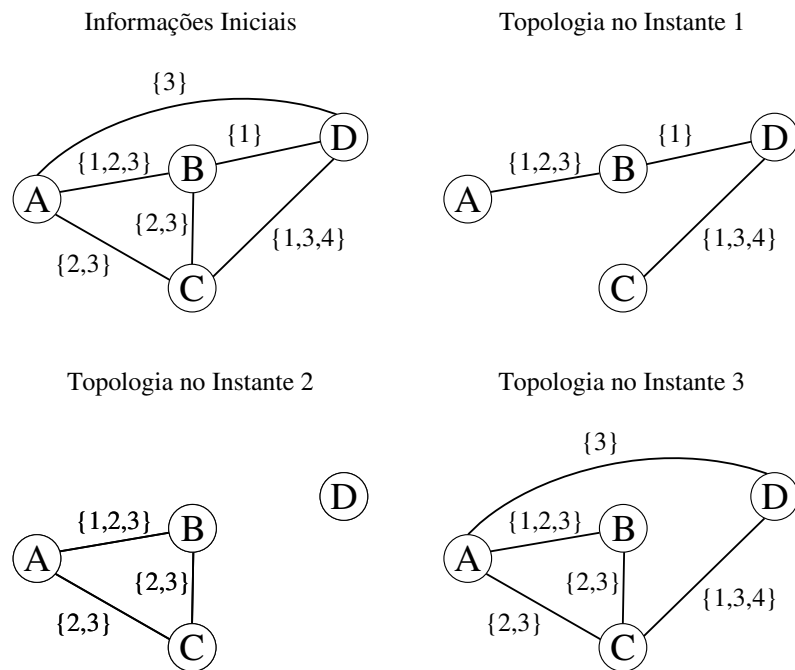


Figura 12: Exemplo de evolução da topologia em um grafo temporal durante 3 segundos

No roteamento estocástico, um nó DTN pode fazer com que a rede seja “inundada”

com múltiplas cópias do agregado com o objetivo de aumentar a probabilidade da informação ser entregue ao destinatário. Um nó pode reagir de duas formas diferentes quando receber um agregado. Em um roteamento ativo a trajetória do nó pode ser modificada para que ele se adapte melhor as demandas de tráfego, o que não ocorre no roteamento passivo. De forma geral, o roteamento estocástico passivo deve levar em conta o custo-benefício entre a probabilidade de entrega da mensagem e o uso de recursos de armazenamento da rede.

3.4.1 Principais Protocolos de Roteamento DTN

Os protocolos tradicionais de roteamento necessitam de um caminho fim-a-fim entre o remetente e o destinatário. Entretanto, em um ambiente desafiador não há garantia que tal caminho exista a qualquer momento. Os protocolos de roteamento DTN devem utilizar estratégias de encaminhamento diferentes dos protocolos de rede sem fio usuais para realizar a entrega de mensagens, uma vez que eles dependem bastante da mobilidade dos nós. Os principais protocolos de roteamento DTN apresentados neste trabalho são: Entrega Direta, Epidêmico (VAHDAT; BECKER et al., 2000), PRoPHET (LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003), MaxProp (BURGESS et al., 2006) e Spray-and-Wait (PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005).

3.4.2 Entrega Direta

O protocolo Entrega Direta é o mais simples dos protocolos de roteamento DTN. Quando um agregado é criado, ele somente será transferido para o nó DTN de destino mesmo que ele entre em contato com outros nós intermediários. Este protocolo é totalmente dependente da mobilidade do nó.

3.4.2.1 Epidêmico

O roteamento epidêmico foi desenvolvido para aumentar a taxa de entrega de pacotes mesmo tendo um conhecimento mínimo da topologia e da conectividade da rede. Ele é baseado na teoria dos algoritmos epidêmicos (DEMERS et al., 1987; VOGELS; RENESSE; BIRMAN, 2003) e funciona fazendo com que dois nós compartilhem seus respectivos pacotes, sempre que estiverem em contato.

Quando um nó entra no alcance de transmissão de outro é estabelecida uma conexão. Eles trocam suas listas de pacotes armazenados para determinar quais pacotes não possuem. Após isso, são feitas réplicas destes pacotes. Quanto maior a quantidade de réplicas de um pacote na rede, maior é a chance dele ser entregue e menor será seu atraso (Figura 13) (VAHDAT; BECKER et al., 2000). Na Figura 13, o nó origem (cor azul) faz duas cópias de um agregado para os nós 1 e 2 no tempo t_1 , em seguida, em t_2 , o nó 1 faz mais uma cópia do agregado para o

nó 3 e este encaminha o agregado para o nó destino (cor verde).

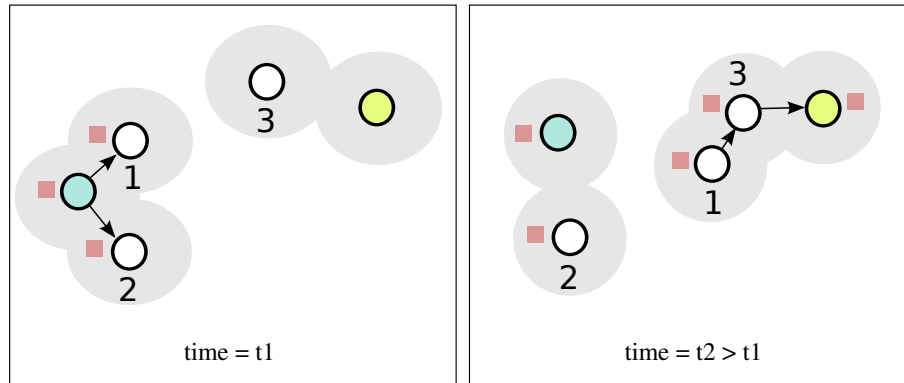


Figura 13: Exemplo de funcionamento do roteamento epidêmico

O maior problema deste protocolo é a alta quantidade de cópias de mensagens na rede e o espaço de armazenamento ocupado nos nós, levando a uma baixa escalabilidade. Quando muitos agregados são replicados, um dado nó pode não ter espaço de armazenamento suficiente. Quando isto ocorre frequentemente, a probabilidade de entrega das mensagens pode se tornar menor, e conseqüentemente aumentar o atraso de entrega da informação.

3.4.2.2 MaxProp

O *MaxProp* utiliza mecanismos para gerenciar a ordem na qual os agregados são apagados ou transmitidos. Cada nó mantém uma lista com as probabilidades de entrega para os outros nós da rede, e para cada agregado armazenado lhe é atribuída uma estimativa de probabilidade de entrega. Aqueles que foram criados recentemente possuem maior prioridade. Agregados com maior prioridade são transmitidos primeiro. Agregados com baixa prioridades são excluídos primeiro. Quando dois agregados possuem destinos com a mesma prioridade, ganha precedência aquele que possuir rota com menor número de saltos.

A probabilidade de encontro de determinados nós é calculada em função da frequência de seus encontros. Um agregado possui maiores chances de ser entregue por um nó que tenha encontrado o destino mais vezes.

Seja N um conjunto de nós da rede e cada nó $i \in N$ possui uma probabilidade p_j^i de encontrar um nó $j \in N$, onde p_j^i é inicializado com o valor $\frac{1}{(|N| - 1)}$. Quando um nó i encontra j , p_j^i é incrementado, e todos os outros valores de p são normalizados. Quando dois nós se encontram, eles trocam seus valores de p . O custo $c(i, i + 1, \dots, d)$ de cada caminho possível para o destino d com n saltos é calculado segundo a equação a seguir:

$$c(i, i + 1, \dots, d) = \sum_{x=1}^{d-1} [1 - (p_{x+1}^x)] \quad (3.1)$$

Considere uma rede com 4 nós – A , B , C e D – se movendo e com probabilidades de encontro já calculadas. O nó A deseja enviar um agregado cujo destino é o nó D . Dada as probabilidades de encontro dos nós segundo as tabelas da Figura 14, a escolha de rota é feita levando em conta o menor custo de envio, partindo do nó A até o D (1,25).

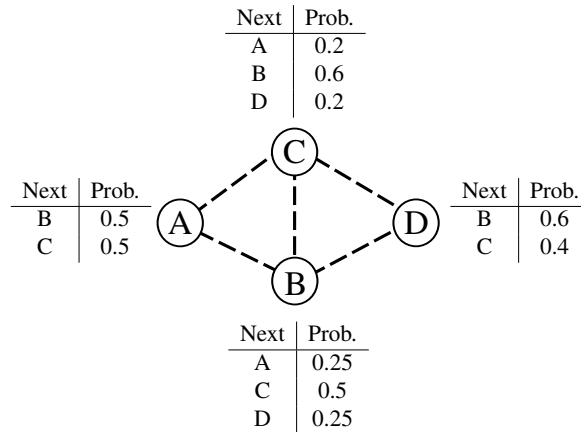


Figura 14: Cálculo do custo do caminho no MaxProp

Cálculo do custo dos caminhos no MaxProp com os valores exibidos na Figura 14.

$$\begin{aligned}
 ABD &= (1,0 - 0,5) + (1,0 - 0,25) &= 1,25 \\
 ACD &= (1,0 - 0,5) + (1,0 - 0,2) &= 1,3 \\
 ABCD &= (1,0 - 0,5) + (1,0 - 0,5) + (1,0 - 0,2) &= 1,8 \\
 ACBD &= (1,0 - 0,5) + (1,0 - 0,6) + (1,0 - 0,25) &= 1,65
 \end{aligned}$$

3.4.2.3 PROPHET

O funcionamento do protocolo de roteamento PROPHET (LINDGREN; DORIA; SCHE-LÉN, 2003) é baseado na suposição de que os movimentos dos nós são previsíveis. Eles podem apresentar padrões de mobilidade repetidos e essas observações são utilizadas para melhorar o desempenho do protocolo. Se um nó visitou várias vezes uma mesma região, é provável que ele volte a visitá-la novamente.

O PROPHET faz uso de uma métrica denominada **Previsibilidade de Entrega** ($P(a, b) \in [0, 1]$), que denota a probabilidade do nó origem a entregar o agregado ao nó destino b . Quando um nó entra em contato com outro, eles trocam suas listas de agregados, semelhante ao protocolo epidêmico. Para cada agregado, a previsibilidade de entrega indica a probabilidade de aquele nó entregar o agregado ao nó destino.

O valor de $P(a, b)$ aumenta sempre que os nós a e b se encontram e diminui quando a e b deixam de se encontrar. O cálculo de $P(a, b)$ é feito em três partes. A primeira diz respeito a atualização de $P(a, b)$, e ocorre quando dois nós se encontram. Isto é feito segundo a Equação 5.1, onde $P_{init} \in [0, 1]$ equivale a uma constante de inicialização.

$$P(a, b) = P(a, b)_{old} + (1 - P(a, b)_{old}) \cdot P_{init} \quad (3.2)$$

Se os nós a e b param de se encontrar por determinados períodos, então a *Previsibilidade de Entrega* deve refletir isto, ou seja, o seu valor deve diminuir. A Equação 3.3 calcula o novo valor de $P(a, b)$, onde $\gamma \in [0, 1)$ é uma constante de envelhecimento, e k é o número de unidades de tempo transcorrido desde a última vez que a métrica foi atualizada.

$$P(a, b) = P(a, b)_{old} \cdot \gamma^k \quad (3.3)$$

A *Previsibilidade de Entrega* também possui uma propriedade transitiva, que é baseada na observação que se o nó a frequentemente encontra o nó b e o nó b frequentemente encontra o nó c , então o nó c provavelmente é uma boa escolha para encaminhar mensagens para o nó a . A Equação 3.4 reflete esse comportamento, onde $\beta \in [0, 1]$ é uma constante que determina quão grande é o impacto da transitividade na *Previsibilidade de Entrega*.

$$P(a, c) = P(a, c)_{old} + (1 - P(a, c)_{old}) \cdot P(a, b) \cdot P(a, c) \cdot P(b, c) \cdot \beta \quad (3.4)$$

O protocolo PROPHET utiliza uma estratégia de encaminhamento simples. Quando dois nós se encontram, a mensagem só é transferida para outro nó caso *Previsibilidade de Entrega* do destinatário seja maior que a de outro nó.

3.4.2.4 Spray-and-Wait

O protocolo de roteamento *Spray-and-Wait* tem por objetivo assegurar que sejam realizadas menos transmissões de mensagens que qualquer outro roteamento baseado em *flooding*, gerar baixa contenção, ser escalável e manter o valor de atraso de entrega próximo do ótimo. Este protocolo combina a velocidade do roteamento epidêmico com a simplicidade de um envio direto para o nó destino.

O *Spray-and-Wait* opera em duas fases distintas: (1) fase *Spray* e (2) fase *Wait*. Seu funcionamento está intimamente ligado a forma com que as L cópias da mensagem serão “espalhadas” pela rede na primeira fase. Uma forma de espalhamento é conhecida por *Binary Spray-and-Wait*. Nela, quando um nó a (origem ou *relay*) possuidor de $n > 1$ permissões de cópias entra em contato com outro nó b (sem cópias), ele passa $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ permissões de cópias para

b e mantém $\lceil \frac{n}{2} \rceil$ permissões para si. Isto é feito até que exista apenas uma permissão de cópia da mensagem. Quando isto ocorre, o protocolo muda para a fase *Wait*. Nesta fase, a mensagem é transferida apenas para o nó destino através de transmissão direta (Figura 15).

O valor de L depende da quantidade de nós da rede e do tempo esperado para uma transmissão direta ao destinatário. Segundo (PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005), valores satisfatórios de L estão em torno 10% do número total de nós da rede.

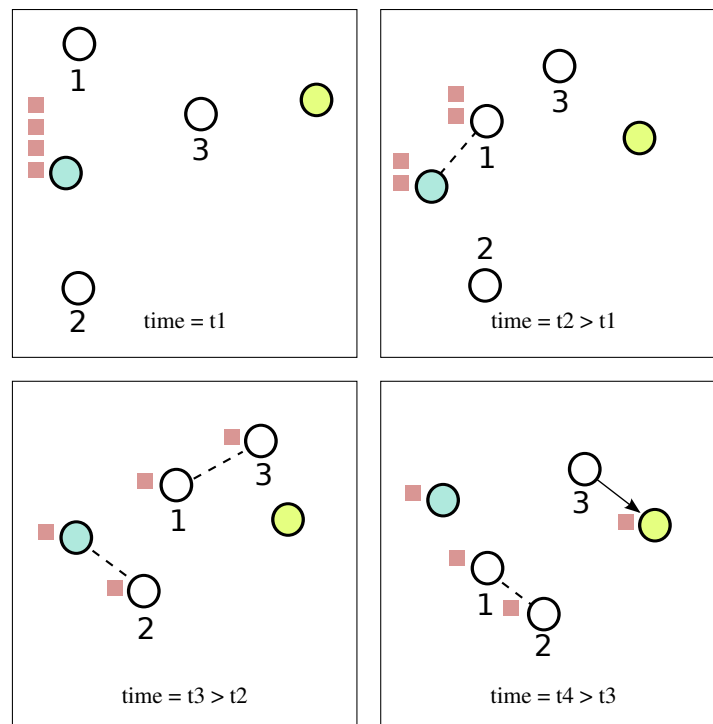


Figura 15: Exemplo de funcionamento do protocolo *Spray-and-Wait* com $L=4$

3.4.3 Principais Protocolos de Roteamento VANET/DTN

3.4.3.1 GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks

O protocolo GeOpps (*Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks*) (LEONTIADIS; MASCOLO,), em seu funcionamento, considera as rotas sugeridas pelo sistema de navegação do veículo para escolher o nó, com maior probabilidade de se mover em direção ao destino, na qual será encaminhada a mensagem. Ele calcula a menor distância entre o destinatário da mensagem e o ponto mais próximo da rota de um veículo vizinho e faz uma estimativa de tempo no qual o pacote chegará ao destinatário.

O valor da estimativa do tempo de chegada do agregado ao destinatário (*Minimum Estimated Time of Delivery*) é utilizado na tomada de decisão do protocolo, comparando-se o valor estimado do nó que carrega a informação com a estimativa de seus nós vizinhos, o protocolo determina para qual veículo o agregado deve ser transferido. Caso o valor de METD

do veículo que carrega o agregado for menor que os valores de seus vizinhos, ele continuará com a custódia do agregado. Caso contrário, ele encaminhará a informação para o nó que possui o menor tempo de entrega estimado. O valor estimado é calculado em função do trajeto que será percorrido pelo veículo. A Equação 3.5 exhibe como o valor de METD é determinado.

$$METD = ETA(CP, NP) + ETA(NP, DP), \quad (3.5)$$

onde o valor de $ETA(a, b)$ denota o tempo estimado que o veículo levará para percorrer a rota entre os pontos a e b , CP denota a posição atual do veículo e NP denota a posição mais próxima do trajeto do veículo ao posicionamento do destinatário do agregado (DP).

O protocolo funciona enviando periodicamente a posição dos agregados que ele mantém a custódia. Quando um nó veicular recebe tal informação, o protocolo estima o valor de METD para cada posição recebida, a fim de calcular o tempo estimado que o veículo levaria para carregar o agregado até o destinatário. Com posse desses valores, o protocolo transmite essas informações de volta aos veículos que lhes enviaram a mensagem de posicionamento, e assim cada veículo pode determinar se continua com a custódia do agregado, ou se deve transferi-la para outro veículo.

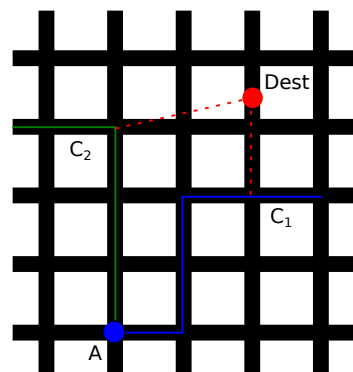


Figura 16: Cálculo do ponto mais próximo entre o destinatário e os caminhos C_1 e C_2

Durante o trajeto dos veículos, caso surja outro nó com melhor tempo estimado de entrega, a mensagem será encaminhada para ele. O Processo continua até que a mensagem seja encaminhada ao destino. O *GeOpps* necessita que informações de navegação estejam disponíveis na rede, portanto, um dos pontos fracos deste protocolo diz respeito à privacidade das rotas dos veículos.

3.4.3.2 VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery

O protocolo VADD (*Vehicle-Assisted Data Delivery*) (ZHAO; CAO, 2006) foi proposto em 2006 e tem como objetivo melhorar o roteamento em redes veiculares desconexas utilizando o paradigma armazena-carrega-encaminha e a previsibilidade da mobilidade dos veí-

culos. Nele, cada nó veicular decide para qual nó encaminhar a mensagem nos cruzamentos levando em conta os caminhos a Norte, Sul, Leste ou Oeste de seu posicionamento (Figura 17).

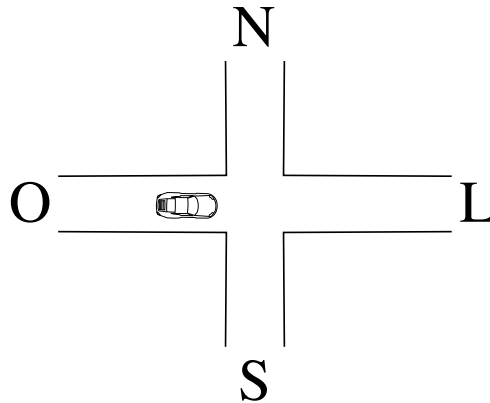


Figura 17: Opções de encaminhamento de mensagens em um cruzamento

O atraso esperado de entrega de mensagens de um caminho é modelado em função da densidade veicular, velocidade média e tamanho da estrada segundo a Equação 3.6.

$$d_{ij} = (1 - e^{-R \cdot \rho_{ij}}) \cdot \frac{l_{ij} \cdot c}{R} + e^{R \cdot \rho_{ij}} \cdot \frac{l_{ij}}{v_{ij}}, \quad (3.6)$$

onde d_{ij} denota o atraso de entrega esperado entre os cruzamentos i e j (r_{ij}), R o alcance de transmissão, ρ_{ij} a densidade veicular em r_{ij} , c uma constante e v_{ij} a velocidade média em r_{ij} . O atraso mínimo é calculado através de sistemas de equações lineares.

Entretanto, não há como utilizar o algoritmo de Dijkstra, por exemplo, para solucionar o problema considerando o atraso de entrega esperado como peso em um grafo com os vértices representados pelos cruzamentos e as arestas pelas ruas, pois não há como garantir que o pacote será encaminhado através de uma determinada aresta.

Desta forma, os autores do protocolos VADD propuseram uma solução baseada em um conjunto de equações lineares do atraso estimado d_{ij} e da probabilidade P_{ij} de um pacote ser encaminhado através de r_{ij} no cruzamento i e limitaram o número de interseções para realização do cálculo. Depois de montado o sistema de equações lineares ela pode ser resolvida por um algoritmo de eliminação Gaussiano, por exemplo.

O principal objetivo do VADD é selecionar um caminho com o menor atraso de entrega. O protocolo pode assumir dois comportamentos distintos, dependendo da posição do nó que carrega o agregado. O primeiro comportamento ocorre quando o nó encontra-se entre dois cruzamentos, e o segundo quando ele encontra-se em um cruzamento. No primeiro caso o protocolo pode encaminhar a informação para os veículos que estiverem em um dos dois cruzamentos. Já no segundo caso, ele pode encaminhar para os veículos que estiverem a Norte, Sul, Leste ou Oeste de sua posição atual, como explicado anteriormente.

No trabalho, os autores também desenvolveram variações do VADD, como o L-VADD (Location First Probe), D-VADD (Direction First Probe), MD-VADD (Multi-Path Direction First Probe) e o H-VADD (Hybrid Probe), sendo o H-VADD a variação que obteve melhores resultados.

3.4.3.3 GeoDTN+Nav

O protocolo GeoDTN+Nav (CHENG et al., 2008) é uma abordagem híbrida, ou seja, horas funciona com DTN e horas não, que inclui um modo de funcionamento guloso e um modo perímetro. Ele comuta seu modo de funcionamento (DTN ou não-DTN) estimando a conectividade da rede baseando-se no número de saltos que um pacote consegue realizar, qualidade de encaminhamento e direção do vizinho em relação ao destinatário.

No modo de funcionamento guloso o protocolo escolhe os nós vizinhos para encaminhar as mensagens que estiverem mais próximas do destino. Entretanto, tal abordagem pode fazer com que a informação seja encaminhada para um nó (máximo local) que não possui vizinhos próximos ao destinatário. Quando isto ocorre, o protocolo muda seu comportamento para o modo perímetro.

No modo perímetro, a mensagem é encaminhada segundo a regra da mão-direita. Inicialmente um nó n define um vetor em direção ao destino (vetor inicial de restrição - \vec{u}) e um vetor original \vec{v} voltado para o nó que lhe enviou a informação. As mensagens serão encaminhadas para o primeiro nó m , no sentido antihorário de \vec{v} , que puder se comunicar com n sem cruzar o vetor inicial de restrição. Quando uma mensagem é encaminhada para um nó mais próximo do destino o protocolo volta a funcionar em modo guloso, caso contrário, a mensagem volta para o nó que a encaminhou e é descartada.

Uma questão importante do modo de funcionamento do protocolo é quando ele deve mudar para o modo DTN e quando ele deve mudar para o modo guloso. O GeoDTN+Nav deve mudar para o modo DTN quando a qualidade do padrão de mobilidade do nó e o particionamento da rede, usando uma função de custo, superarem um determinado patamar. E ele deve mudar para o modo guloso quando um nó intermediário estiver mais próximo do destino que o nó que ativou o modo DTN.

A qualidade de encaminhamento é obtida através de uma interface de navegação virtual (VNI - Virtual Navigation Interface) que abstrai informações das camadas inferiores (Sistemas de navegação, mapas etc). Já o particionamento da rede é conseguido baseando-se na quantidade de saltos que a mensagem realizou quando o protocolo estava em modo perímetro. Desta forma, segundo os autores, quanto maior a quantidade de saltos maior a probabilidade da resta estar desconectada.

4 LÓGICA FUZZY

4.1 Introdução

A teoria da probabilidade pode ser utilizada para representar formalmente informações em ambientes de tomada de decisão estocásticos. Diz-se que ela representa a incerteza associada à aleatoriedade dos eventos. Por sua vez, teoria dos conjuntos nebulosos procura representar a incerteza associada à informação vaga, imprecisa. Ela foi desenvolvida por Lofti Zadeh e publicada inicialmente em 1965 (SANDRI; CORREA, 1999).

A Lógica Fuzzy é uma extensão da Lógica Clássica para lidar com os conceitos ambíguos e nebulosos, que dão origem às proposições nebulosas como, por exemplo, “o tempo de resposta atual é alto”. Neste caso, dependendo do valor do tempo de resposta atual esta proposição nebulosa poderá assumir um dos valores verdade (grau de verdade) presentes no intervalo $[0, 1]$, e não somente os valores 0 ou 1 que são possíveis na Lógica Clássica. Quem decide o valor verdade é a pessoa responsável por declarar o conceito vago. No exemplo citado no início do parágrafo, o conceito vago é o valor de tempo de resposta alto.

Com a incorporação do conceito de “grau de verdade”, a teoria dos Conjuntos Fuzzy estende a teoria dos Conjuntos Tradicionais. Os grupos são rotulados qualitativamente (usando termos linguísticos, tais como: alto, morno, ativo, pequeno, perto etc) e os elementos destes conjuntos são caracterizados variando o grau de pertinência (valor que indica o grau em que um elemento pertence a um conjunto). Dessa forma, por ser menos restritiva, a Lógica Fuzzy pode ser considerada mais adequada para o tratamento de informações imprecisas (SANDRI; CORREA, 1999).

A lógica nebulosa já foi utilizada em diversas tecnologias atuais no desenvolvimento de sistemas que controlam processos sofisticados, partindo de aplicações voltadas a saúde até aplicações de segurança, como pode ser observado através dos trabalhos (GEVA, 2012; YAO et al., 2012; PETRILA et al., 2012; KUMAR et al., 2012; AMRO; CHICLANA; ELIZONDO, 2012).

4.2 Definições Básicas

Um conjunto nebuloso A , pertencente ao universo de discurso Ω , é definido formalmente por uma função de pertinência $\mu_A : \Omega \rightarrow [0, 1]$. Tal função associa a um valor $x \in \Omega$ um grau $\mu_A(x)$ de compatibilidade entre ele e o conceito expresso pelo conjunto A . Este grau de compatibilidade é representado da seguinte forma:

1. $\mu_A(x) = 0$ informa que x é totalmente incompatível com o conjunto A ;

2. $\mu_A(x) = 1$ informa que x é totalmente compatível com o conjunto A;
3. $0 < \mu_A(x) < 1$ informa que x não é totalmente compatível nem incompatível com o conjunto A.

De forma geral, um conjunto A da lógica clássica pode ser representado por um conjunto específico da lógica nebulosa, conhecido como “crisp”. Neste caso, a pertinência do conjunto somente poderá ser ou totalmente incompatível ou totalmente compatível com o conceito expresso por A, $\mu_A : \Omega \rightarrow \{0, 1\}$. A diferença entre um conjunto “crisp” e um conjunto nebuloso será expressa no próximo parágrafo.

Considere a situação onde se pretende classificar pessoas segundo o valor de seu peso conforme os seguintes critérios: (1) Magro ($x < 80$), (2) Gordo ($80 \leq x \leq 120$) e (3) Obeso ($x > 120$). Para valores de peso pertencentes ao intervalo $[80, 120]$, considerando um conjunto “crisp”, a única classificação possível é Gordo. As pessoas com pesos pertencentes a este intervalo possuem grau de pertinência 1, indicando que elas são 100% classificadas como gordas.

Já nos conjuntos nebulosos, o valor do peso pode fazer parte de mais de um conjunto, ou seja, de mais de um intervalo –(1), (2) e (3)–, onde pode ser definido um valor de grau de pertinência entre $[0, 1]$ para cada um dos conjuntos magro, gordo e obeso. Esta diferença pode ser melhor entendida através da Figura 18.

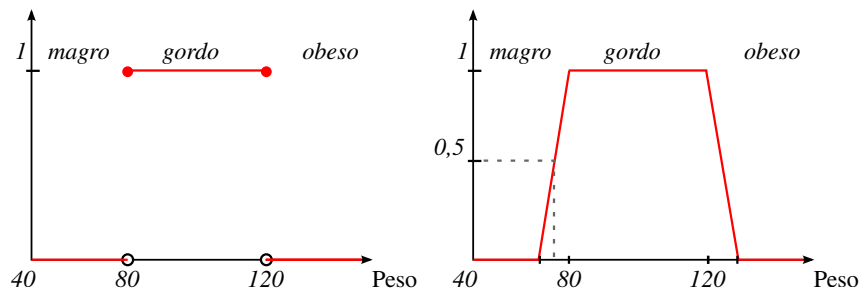


Figura 18: Diferença de representação do grau de pertinência utilizando conjuntos “crisp” e nebulosos.

No conjunto “crisp”, pessoas pesando 75 kg são consideradas 100% magras enquanto que no conjunto nebuloso elas são consideradas aproximadamente 50% magras.

4.3 Controladores Nebulosos

Um controlador nebuloso faz uso de regras lógicas para descrever em um algoritmo algo próximo a experiência humana, intuição ou mesmo uma heurística no controle de um processo (ZADEH, 1965).

Neste contexto, uma variável linguística pode ser representada por uma quádrupla $(X, \Omega, T(X), M)$, onde X representa o nome da variável linguística (peso, por exemplo), Ω

denota o universo de discurso de X (intervalo de valores para o peso, por exemplo), $T(X)$ representa um conjunto de nomes para os valores de X (magro, gordo, obeso, por exemplo) e por fim, M associa uma função de pertinência a cada elemento de $T(X)$. Além disso, o grau de um valor de $x \in \Omega$ que satisfaz um termo linguístico A é dada por $\mu_A(x)$.

De forma geral, os controladores nebulosos possuem alta robustez e adaptabilidade, pois podem incorporar conhecimentos que outros sistemas não conseguem (GUERRA, 1998).

A Figura 19 exibe uma estrutura básica de um controlador nebuloso (LEE, 1990).

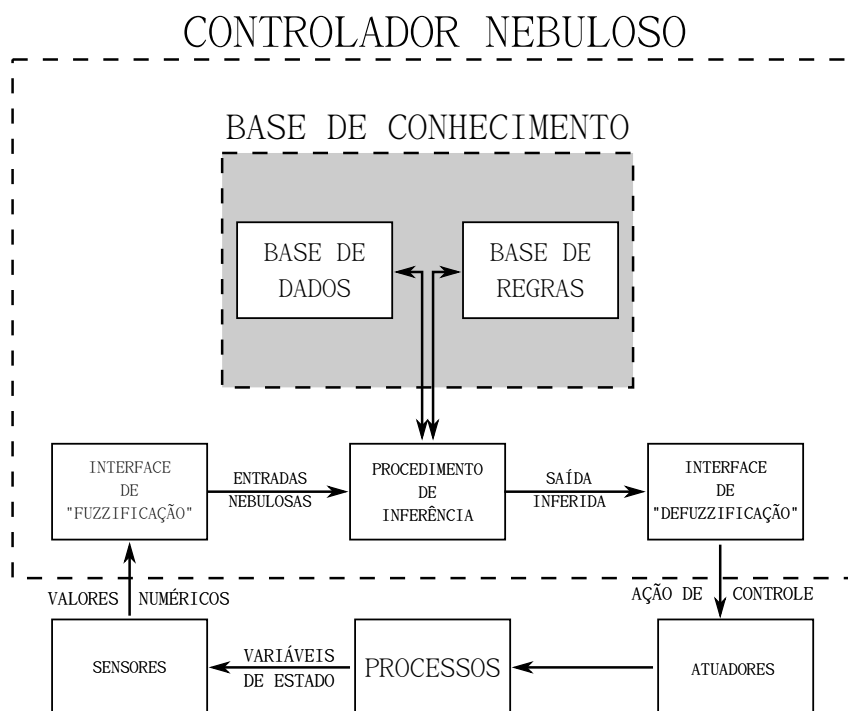


Figura 19: Arquitetura de um controlador nebuloso

A interface de “fuzzificação” recebe os valores da entrada e os transforma em valores normalizados em um universo de discurso padronizado, diz-se que estes valores foram “fuzzificados”.

A base conhecimento é constituída pela base de dados e pela base de regras. Na base de dados são armazenadas a definição de como é realizada a discretização e normalização dos universos de discurso assim como as funções de pertinência dos termos nebulosos. Já na base de regras são armazenadas regras do tipo **Se** <premissa> **Então** <conclusão>.

Dentro do procedimento de inferência, estas regras juntamente com as entradas nebulosas são processadas e retornam um saída inferida. O procedimento de inferência também verifica o grau de compatibilidades entre os fatos e cláusulas na premissas, determina o grau de compatibilidade global da premissa de cada regra, determina o valor da conclusão em função do grau de compatibilidade da regra com os dados e agrega valores obtidos como conclusão nas várias regras (SANDRI; CORREA, 1999).

Por último, a interface de “defuzzificação” retorna um valor que serve para realizar uma única ação precisa, a partir do conjunto nebuloso. De forma geral a defuzzificação transforma dados nebulosos em dado quantitativo. Os três principais métodos de defuzzificação são: (1) Centróide, (2) Maior pertinência e (3) Média dos máximos.

O método centróide, também conhecido por método do centro de gravidade, tem como retorno o ponto que divide a área da função de pertinência em duas partes iguais como pode ser observado na Figura 21.

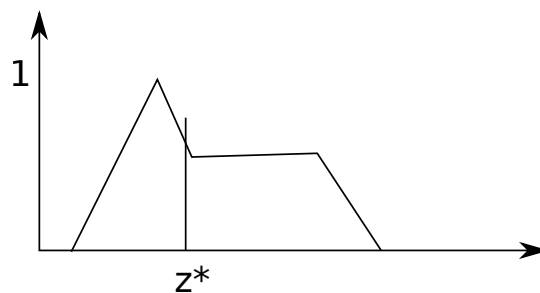


Figura 20: Exemplo de uso do método centróide de defuzzificação

Já o método da maior pertinência ou método da altura retorna o ponto de maior altura da função de pertinência, observe a Figura ??.

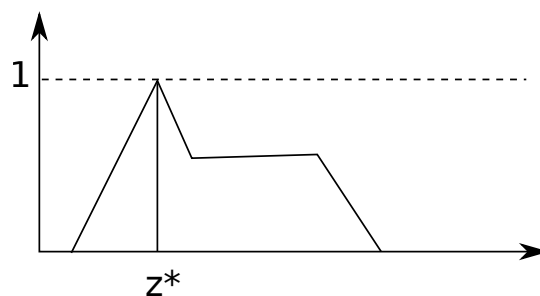


Figura 21: Exemplo de uso do método da maior pertinência

Por último, o método da média dos máximos identifica os pontos de maior altura na função de pertinência e retorna a média deles (Figura 22).

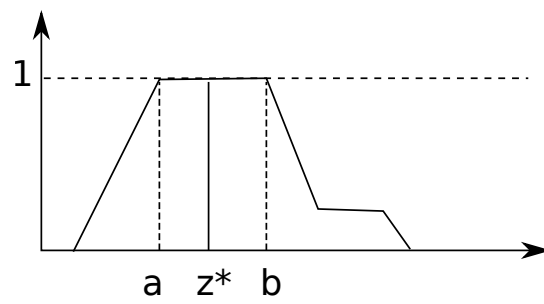


Figura 22: Exemplo de uso do método da média dos máximos

5 A PROPOSTA

5.1 Definição do Problema

As Redes Ad hoc Veiculares podem ter seu desempenho degradado por fatores externos a infraestrutura da rede, como desconectividade e elevado atraso de propagação. Algumas vezes, as características do ambiente físico da rede podem impossibilitar qualquer tipo de garantia de requisitos mínimos de taxa de erro de bit e conectividade para que uma aplicação baseada no protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) funcione corretamente. Existem situações onde é necessário utilizar novos paradigmas de comunicação para viabilizar o funcionamento de aplicações em um cenário sem garantia mínima de qualidade de comunicação.

Neste contexto, um exemplo de cenário desafiador é aquele no qual uma aplicação assimétrica cliente, ou seja, que não necessita imediatamente da resposta do servidor para funcionar corretamente como um serviço de email, deseja utilizar um serviço de Internet localizado em outra região geograficamente distante, porém, não existe qualquer infraestrutura de comunicação direta entre elas.

Uma possível solução para tornar exequível a comunicação apresentada no parágrafo anterior, é através de um combinado das arquiteturas da Rede Ad hoc Veicular e da DTN. Neste caso, os nós VANET/DTN seriam capazes de armazenar, carregar e encaminhar mensagens das aplicações de uma região cliente até que ocasionalmente elas fossem entregues ao nó de borda da região destino, e conseqüentemente as aplicações solicitantes. Esta situação é representada na Figura 23 onde uma aplicação cliente na Região C deseja utilizar um serviço na Região A, porém, A e C não possuem comunicação direta, mas, entre elas existe uma VANET (Região B) que pode viabilizar a comunicação.

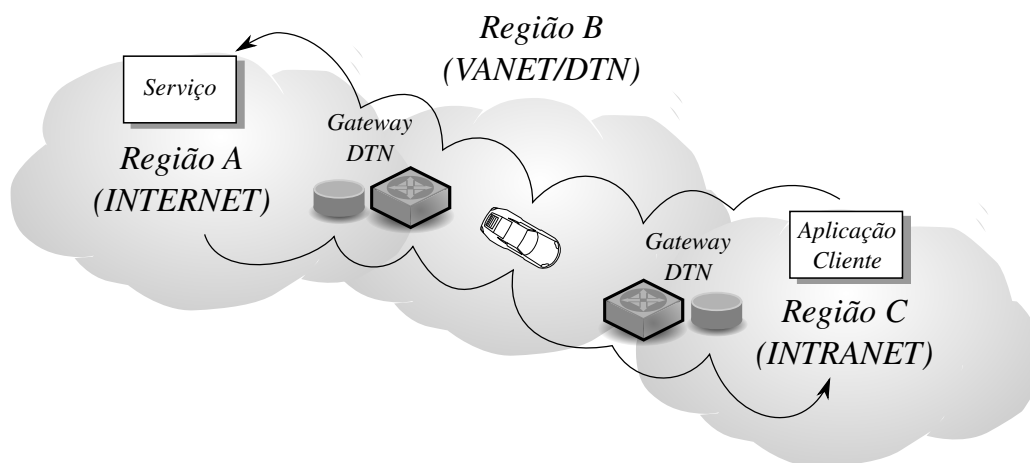


Figura 23: Cenário

No entanto, em uma rede veicular, não há como prever quando ocorrerão contatos

entre os nós veiculares, nem mesmo se a comunicação entre eles será breve ou demorada antes de um contato direto. O desafio da comunicação indireta entre regiões distantes exige novas estratégias de roteamento pois podem existir diversas rotas entre regiões, ou mesmo rotas que se distanciem de uma região destino.

5.2 Solução Proposta

De forma geral, percebe-se duas características de funcionamento da VANET/DTN que compõem o tempo total gasto na entrega de mensagens entre regiões. Enquanto uma está relacionada ao contexto no qual os nós veiculares se encontram (velocidade dos nós, distância até a região destino, entre outros) a outra está relacionada ao modo de transferência das mensagens (i.e encaminhamento salto-a-salto dos agregados). A estratégia do protocolo proposto neste trabalho levará em conta somente a primeira característica apresentada.

Quando um agregado é carregado e não há comunicação com outros nós da rede, o atraso de encaminhamento é exclusivamente definido pela velocidade do nó que o carrega. Para diminuir o atraso de encaminhamento nesta situação, é proposta uma nova métrica, a Tendência de Entrega (TE). A ideia de seu funcionamento surgiu do esforço empregado para criar um método genérico de identificação de configurações favoráveis e desfavoráveis no encaminhamento de mensagens. Deste esforço surgiram os seguintes princípios que regem o seu cálculo:

1. Quanto mais próximo um nó estiver do destinatário, e quanto mais veloz ele se aproximar, melhor será sua tendência de entrega.
2. Se um nó se distancia do destinatário, apesar disto representar uma tendência de entrega ruim, quanto mais próximo ele estiver do destinatário, e quanto mais lento ele se afastar, melhor será sua tendência de entrega em relação aos outros nós com tendências de entrega ruins.

Basicamente, a ideia por trás destes princípios pode ser traduzida pela seguinte frase: “A mensagem deve se aproximar rapidamente do destinatário e se afastar lentamente”.

Considere a Figura 24, ela representa uma abstração do problema de entrega de mensagens em um ambiente com comunicação intermitente. Ao centro, encontra-se o nó destinatário estático e seu alcance de transmissão é representado pelo círculo de cor cinza. Cada “órbita” da Figura está afastada a uma certa distância do centro e nelas podem existir nós que se movimentam segundo seu vetor direção (seta preta). Além disso, em cada nó, também é representado o vetor direção desejado (seta vermelha) que representa a melhor direção/sentido que o nó poderia ter para se aproximar do destinatário.

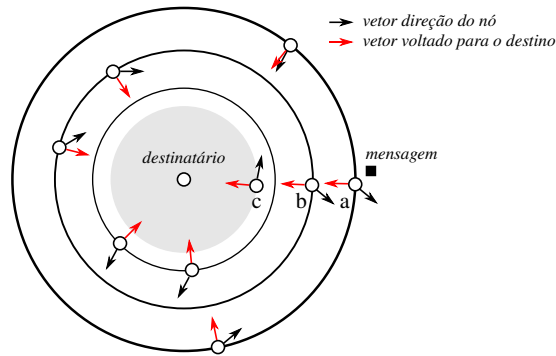


Figura 24: Disposição dos nós em relação ao destinatário

O cálculo da TE considera a diferença entre o vetor direção e o vetor direção desejado dos nós, e isto é levado em conta para que um nó carregando uma mensagem identifique quando é melhor permanecer com a custódia de uma mensagem, copiá-la ou transferí-la. No entanto, podem existir situações onde apesar dos nós estarem se distanciando do destino (a, b e c na Figura 24), eles podem ser utilizados para a entrega da mensagem, pois há um caminho estabelecido até o nó destino. Apesar do ângulo formado entre o vetor direção e o vetor direção desejado ser importante, existem configurações onde a velocidade e a distância para o destinatário servirão para melhorar ainda mais a identificação de situações boas e ruins de encaminhamento.

As próximas subseções apresentarão o funcionamento do VDTN-TD, primeiro será mostrado o cálculo da tendência de entrega, e depois, o funcionamento do protocolo em si.

5.2.1 Tendência de Entrega

Em um cenário VANET/DTN, onde não há garantia de existência de uma rota de comunicação fim-a-fim a qualquer instante, um protocolo de roteamento adequado deve fornecer meios para extrapolar o conhecimento local para tentar contribuir positivamente na entrega de mensagens. Para isto, é fundamental definir métricas que calculem o valor de uma configuração de rede para que seja possível identificar situações propícias para que isto ocorra.

A tendência de entrega é uma métrica baseada em lógica fuzzy que serve para avaliar como a mobilidade dos nós da rede contribui para a entrega de uma mensagem a um destinatário estático qualquer. A TE serve para o protocolo de roteamento decidir quando é mais adequado um nó manter, encaminhar ou copiar uma mensagem ao mesmo tempo que tenta diminuir o atraso fim-a-fim. A TE é composta por três variáveis linguísticas importantes para tal decisão, são elas: o sentido ($\omega_{i,d}$ - ômega), a distância ($\psi_{i,d}$ - psi) e a velocidade ($\tau_{i,d}$ - tau), onde i denota o nó com a custódia da mensagem e d o *gateway* de borda de uma região destino qualquer.

O sentido qualifica a importância do movimento de um nó para a entrega da mensagem. Seu valor é calculado em função do ângulo θ formado entre o vetor direção (\vec{u}) e o vetor voltado

para o destinatário (\vec{v}), como pode ser observado na Figura 25.

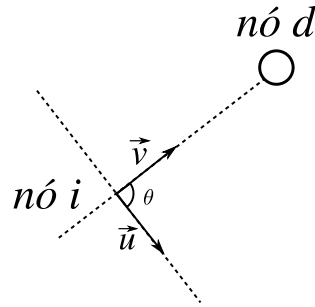


Figura 25: Representação do ângulo formado entre o vetor direção do nó e o vetor direção desejado

Para identificar o grau de importância de θ na aproximação ou afastamento de um nó em relação ao destinatário, foi criado um esquema, como exibido na Figura 26, de identificação nebuloso e nele foram criadas quatro categorias para a variável sentido, são elas: ótimo, bom, ruim e péssimo.

Na Figura 26 foram definidos os intervalos de valores possíveis de θ . Nela, identificam-se quatro ângulos distintos associados às categorias da variável sentido no intervalo $[0, 180]$. O tamanho do intervalo de valores da categoria *ótimo* é igual ao tamanho do intervalo de *péssimo* assim como o de *bom* é igual ao de *ruim*.

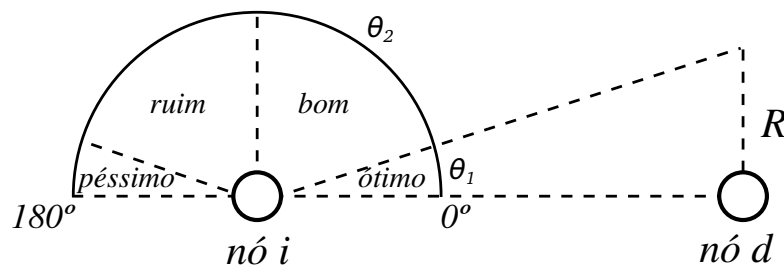


Figura 26: Representação das categorias ótimo, bom, ruim e péssimo da variável linguística sentido

Outra observação importante é que os valores de θ_1 e θ_2 são definidos em função da distância do nó i ao nó d e do raio de transmissão (R).

Os valores maiores que 180° e menores ou iguais a 360° podem ser convertidos facilmente para valores entre 0 e 180 graus utilizando a equação 5.1.

$$f(x) = 360 - x \quad (5.1)$$

Os intervalos das categorias de ω são definidos dinamicamente em função da distância do nó i ao nó d e R , isto é necessário pois, a medida que i se aproxima de d o ângulo θ_1 (Figura

26) aumenta gradativamente. Os valores dos intervalos são definidos segundo a Tabela 3 e exibidos na Figura 27. Note que $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$.

	esquerda	centro	direita
$\alpha_{otimo}(x)$	$-\theta_1$	0°	θ_1
$\alpha_{bom}(x)$	θ_1	$\frac{90^\circ - \theta_1}{2}$	90°
$\alpha_{ruim}(x)$	90°	$\frac{180^\circ - \theta_1}{2}$	$180^\circ - \theta_1$
$\alpha_{pessimo}(x)$	$180^\circ - \theta_1$	180°	$180^\circ + \theta_1$

Tabela 3: Cálculo dos intervalos da variável linguística sentido

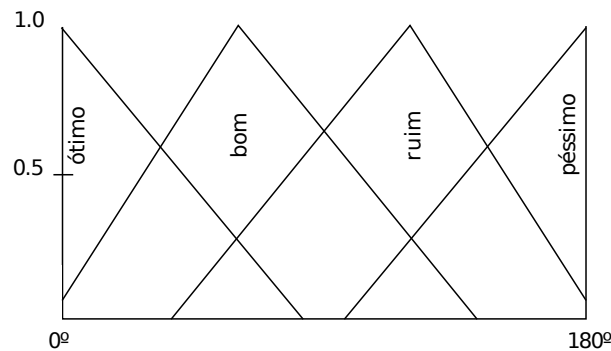


Figura 27: Categorias da variável linguística sentido

Para a variável linguística distância foram definidas quatro categorias, são elas: muito perto, perto, longe e muito longe. As funções de pertinência de cada variável são definidas da seguinte forma:

1. muito perto: $x < R$
2. perto: $R < x \leq 2 \cdot R$
3. longe: $2 \cdot R < x \leq 3 \cdot R$
4. muito longe: $x > 3 \cdot R$

Onde R é o valor do alcance de transmissão e x é a distância de um nó i até o destinatário.

A velocidade utilizada refere-se a velocidade decomposta ($v_{i,x}$) do nó i pois é com esta velocidade que o veículo se aproxima ou se distancia do destinatário. Ela é calculada segundo a equação 5.2.

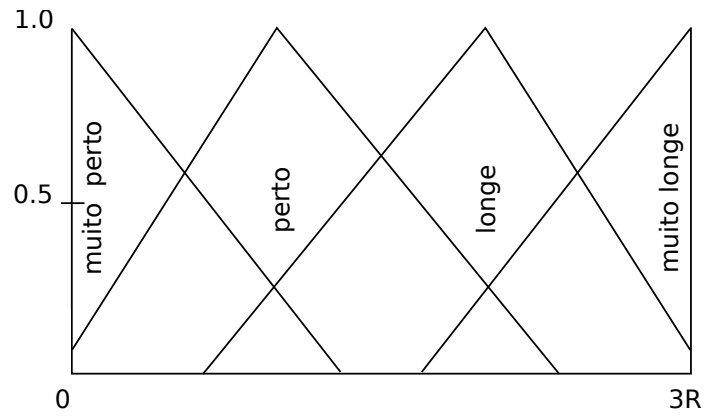


Figura 28: Categorias da variável linguística alcance de transmissão

$$v_{i,x} = v_i \cdot \cos(\theta) \quad (5.2)$$

Para a variável linguística velocidade foram definidas três categorias: baixa, média e alta, seus intervalos são exibidos na Figura 29.

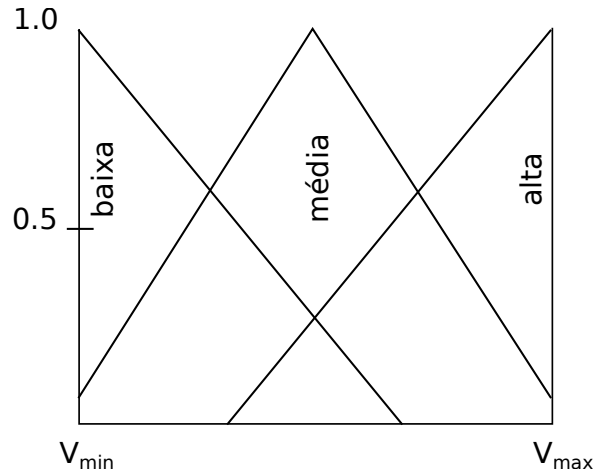


Figura 29: Categorias da variável linguística velocidade

As variáveis linguísticas $\omega_{i,d}$, $\psi_{i,d}$ e $\tau_{i,d}$ em conjunto são utilizadas para inferir a tendência de entrega segundo sete categorias: máxima (MA), ótima (OT), muito boa (MB), boa (BO), ruim (RU), muito ruim (MR) e péssima (PE). A tendência de entrega será máxima quando a distância de um nó ao destino for menor que o alcance de transmissão.

Para gerar as regras fuzzy seguiu-se os princípios apresentados no início desta seção. As regras apresentadas na Tabela 4 foram definidas para que a TE fosse definida em função dos três valores $\omega_{i,d}$, $\psi_{i,d}$ e $\tau_{i,d}$ em conjunto. Por exemplo: Um nó com o sentido Ótimo, mas Muito Longe do destino, tem sua TE diminuída quanto menor for sua velocidade.

Tabela 4: Regras fuzzy para definição da tendência de entrega

	Distância											
	Muito Perto			Perto			Longe			Muito Longe		
	Velocidade			Velocidade			Velocidade			Velocidade		
Sentido	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Ótima	MA	MA	MA	OT	OT	MB	MB	MB	BO	BO	RU	RU
Boa	MA	MA	MA	MB	MB	BO	BO	BO	RU	BO	RU	RU
Ruim	MA	MA	MA	RU	RU	BO	MR	MR	RU	MR	MR	MR
Péssima	MA	MA	MA	MR	RU	RU	PE	MR	MR	PE	PE	PE

5.2.2 Características e Funcionamento do Protocolo

A VANET possui características diferentes da MANET clássica. A mobilidade de seus nós é restrita pelo traçado da estrada, por outros veículos e pelas leis de trânsito. Ela também pode ser influenciada por fatores externos como condições climáticas. Além disso, a topologia de diferentes cenários como os da estrada e autoestradas podem levá-la a uma distribuição diferente dos veículos. A característica mais salutar vem do padrão de mobilidade veicular,

fazendo com que os veículos se movam em grupos formando *clusters*. Desta forma, a rede pode se tornar altamente particionada fazendo com que um caminho fim-a-fim entre a origem e o destino possa não existir quando uma mensagem é enviada. Todos estes fatores fazem com que os protocolos de roteamento tradicionais não forneçam uma solução apropriada para entrega de mensagens em redes veiculares. Portanto, devem ser propostos protocolos específicos de acordo com tais fatores.

Em uma rede veicular, pode existir um número muito grande de nós participantes, portanto, os protocolos de roteamento devem ser desenvolvidos de forma a garantir sua escalabilidade, isto é, o protocolo deve tomar decisões de roteamento baseando-se em informações locais de sua vizinhança. Portanto, a troca de informações com os veículos vizinhos através de mensagens de localização é uma parte essencial do protocolo.

O protocolo VDTN-TD utilizará um esquema de divulgação e manutenção de mensagens de localização baseado na técnica *Adaptive Coverage Detection* de Härrri (HÄRRRI; BONNET; FILALI, 2008), nela, cada nó envia uma mensagem de divulgação de posicionamento (m_p) quando percorre uma parte de seu raio de transmissão. No VDTN-TD, além de enviar uma mensagem da mesma forma proposta por Härrri, o protocolo verifica antecipadamente se é necessário enviar uma nova mensagem de posicionamento comparando o espaço real percorrido pelo veículo e o espaço previsto. Isto é feito levando em conta a última mensagem de posicionamento enviada. Com a posição atual e a velocidade do veículo fica fácil prever o instante no qual uma nova mensagem de posicionamento será enviada. O intervalo entre o instante inicial de envio da mensagem e o instante previsto é dividido em sete partes iguais como mostrado na Figura 30.

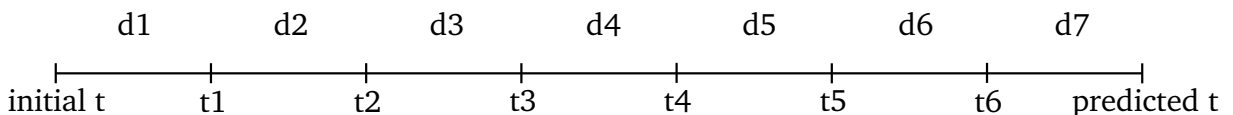


Figura 30: Intervalos de tempo de checagem para verificar a necessidade de enviar uma nova mensagem de posicionamento

Após cada intervalo t_i , compara-se a posição real do veículo (P_r) e a posição prevista (P_p) e, se a diferença absoluta entre P_r e P_p for maior que uma constante ϵ (epsilon), uma nova mensagem é enviada para todos os veículos da vizinhança. Este esquema é necessário pois garante que o protocolo não autorize o envio de mensagens desnecessárias e consequentemente economize recursos de rede e de processamento.

A m_p é constituída pelos seguintes campos:

1. **Posição** - vetor posição.
2. **Velocidade** - vetor velocidade.

3. Tempo de Envio - tempo do envio da mensagem.

e seu formato é exibido na Figura 31.

0	1								2								3														
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	posição (16)																														
+	-----+																+														
	velocidade (16)																														
+	-----+																+														
	tempo de envio (8)																														
+	-----+																+														

Figura 31: Formato da mensagem de posicionamento.

Quando um nó i recebe uma m_p de um nó j ele deve adicionar uma nova entrada em sua tabela de roteamento e calcular o tempo que ambos permanecerão em contato. Se neste tempo i não receber outra mensagem de atualização de posicionamento de j , o nó j será removido da tabela de roteamento de i .

O VDTN-TD verificará periodicamente a tabela de roteamento para identificar quando uma rota expirou, este ciclo de verificação é denominada ciclo do protocolo (c_p). No início de cada c_p , o VDTN-TD calculará a TE prevista de seus vizinhos no próximo ciclo, assim como a sua TE prevista, para que a tomada de decisão do protocolo seja baseada em uma configuração futura da rede. Nas citações posteriores de tendência de entrega, refere-se à tendência de entrega prevista.

Quando dois nós, i e j , entrarem em contato e o primeiro possuir a custódia de uma mensagem, ele irá comparar sua tendência de entrega com a de j para decidir qual estratégia encaminhamento ele deve utilizar. Neste sentido, a estratégia pode ser:

1. Caso ($TE(i,m)$ ¹ e $TE(j,m)$ sejam ótimas, muito boas ou boas e $TE(i,m) < TE(j,m)$) então i copiará m para j , desta forma pretende-se aumentar a probabilidade de entrega da mensagem.
2. Caso ($TE(i,m)$ e $TE(j,m)$ sejam ruins, muito ruins ou péssimas e $TE(i,m) < TE(j,m)$) então i transferirá a custódia de m para j com o intuito de retardar o afastamento da

¹Leia Tendência de Entrega Prevista do nó i com a mensagem m

mensagem em relação ao destinatário sem sobrecarregar a rede com cópias desnecessárias da mensagem.

3. Caso $(TE(i, m) = TE(j, m))$ então i permanecerá com a mensagem.
4. Caso $(TE(i, m)$ e $TE(j, m)$ sejam contrários, por exemplo bom e ruim, então
 - (a) Caso $(TE(i, m) < TE(j, m))$ i transferirá a custódia de m para j .
 - (b) Caso $(TE(i, m) > TE(j, m))$ i permanecerá com m .

Quando i possuir mais de um vizinho, para cada mensagem, será escolhido aquele que possuir maior tendência de entrega entre todos os vizinhos de i . Isto é matematicamente representado da seguinte forma:

$$y = \max(TE(j, m)_{\forall j \in J, \forall m \in M}) \quad (5.3)$$

Portanto, a $TE(y, m)$ será comparada com a $TE(i, m)$ na tomada de decisão do protocolo segundo as operações vistas anteriormente.

6 EXPERIMENTOS, ANÁLISES E RESULTADOS

O cenário utilizado nos experimentos é exibido na Figura 32, nele, são apresentadas duas regiões (A e B). Na região A existe um nó de borda DTN fixo (1) responsável por enviar agregados com tamanhos e taxas pré-definidos para o nó de borda DTN da região B (nó 3), também parado. Os nós DTN 1 e 3 estão distantes 1km um do outro, e a estrada entre eles possui duas vias com mãos opostas.

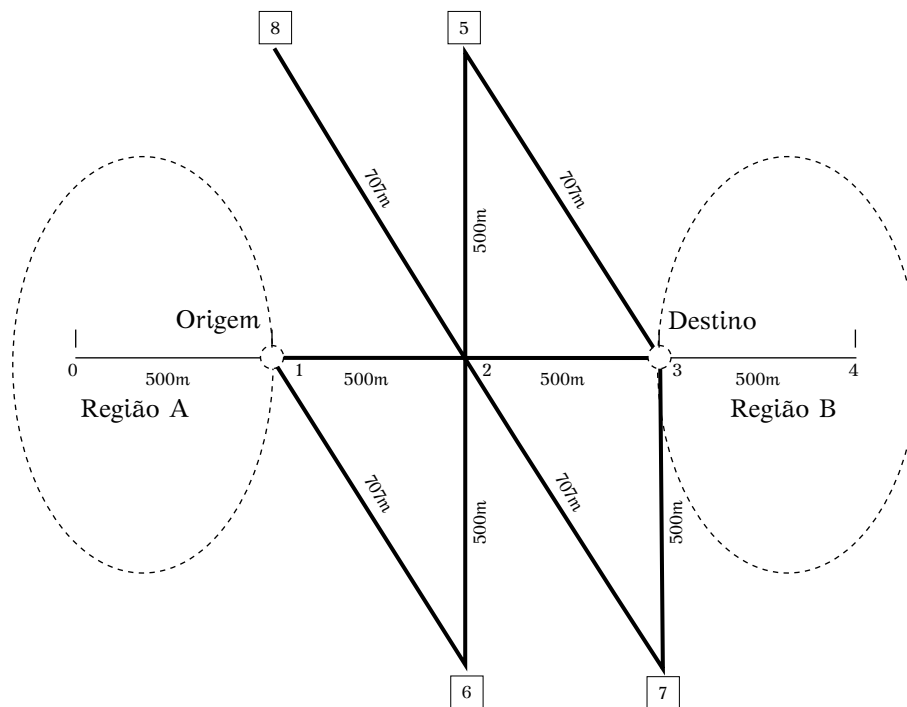


Figura 32: Cenário de simulação utilizado nos experimentos

Tal cenário foi desenvolvido utilizando a ferramenta SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) (KRAJZEWICZ et al., 2002a) onde foram criadas cinco rotas que seguem em direção a região B, e cinco que seguem em direção as regiões 5, 6, 7 e 8 (Tabela 5) no mapa. As linhas mais grossas do mapa, como pode ser observado na Figura 32, representam uma estrada com duas vias contrárias por onde trafegam dois nós veiculares. O primeiro segue a rota circular 5-2-6-1-2-3-5(...) e o segundo segue a rota circular 6-2-5-3-2-1(...) durante toda a simulação.

Estas rotas circulares podem representar o itinerário de um veículo de transporte coletivo e são necessárias para analisar o comportamento de protocolos que utilizam o histórico de contato entre nós veiculares na tomada de decisão de encaminhamento, como é o caso do protocolo *Prophet*. Também é importante frisar que durante o experimento as rotas para cada veículo foram escolhidas aleatoriamente com igual probabilidade.

Durante a geração dos agregados, o nó DTN de origem da região A conhece a geolocalização do nó de borda da região B e esta informação é carregada no agregado, com isto o

Rotas para Região B	Rotas para os nós 5, 6, 7 e 8
0-1-2-3-4	0-1-2-7
0-1-6-2-3-4	0-1-2-8
0-1-2-5-3-4	0-1-2-5
0-1-2-7-3-4	0-1-2-6
0-1-6-2-5-3-4	0-1-6-2-5

Tabela 5: Tabela de rotas utilizadas na simulação

cálculo da TE é possível de ser realizado durante a tomada de decisão do protocolo.

Os experimentos foram realizados utilizando o *Network Simulator*, versão 3.13, em um microcomputador com processador Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9400 2.66GHz, executando o sistema operacional GNU-Linux Ubuntu 10.04.4 LTS. Para analisar e comparar o desempenho do protocolo *Trend of Delivery*, foram desenvolvidos três protocolos DTN, são eles: (1) Prophet, (2) Epidêmico e (3) Spray-and-wait binário. Outras informações referentes a simulação são exibidas na Tabela 6.

Parâmetro	Configuração
Área do Ambiente Simulado	2.000 x 1.000 m^2
Alcance de Transmissão	300 m
Velocidade Máxima dos Nós	40 m/s (144 km/h)
Modelo de Propagação	Friis e Nakagami
Modelo de Mobilidade	carFollowing-Krauss (padrão do SUMO)
Tamanho dos Agregados	256, 512, 1024 e 2048 bytes
Tempo de Simulação	500 segundos
Fluxo de Veículos	50, 100, 150 e 200 Veículos por Hora
Tempo de Vida do Agregado	200 segundos
Protocolos de Roteamento DTN	Epidêmico, Prophet, Spray-and-Wait Binário e Trend of Delivery
Quantidade de Simulações por Cenário	30
Intervalo de Confiança	95%

Tabela 6: Configurações do Experimento

6.1 Métricas DTN

Segundo (AL-SIYABI; CRUICKSHANK; SUN, 2011), a QoS (*Quality of Service*) em aplicações DTN é expressa através da melhor utilização dos recursos da rede que implicará na satisfação do usuário. Esta qualidade pode ser expressa através da taxa de entrega de agregados, por exemplo. Neste trabalho, foram escolhidas métricas que representam bem o comportamento do protocolo a fim de entender melhor suas características. Desta forma, as métricas escolhidas foram as seguintes: (1) Número de Cópias, (2) Taxa de Entrega, (3) Taxa de Expiração, (4) Taxa

de Eficiência e (5) Atraso.

O Número de Cópias contabiliza a quantidade de cópias de agregados foram realizadas por todos os nós durante toda a simulação. Ela é importante pois revela como o protocolo se comporta na tarefa de entregar as mensagens no menor tempo possível em relação à utilização dos recursos de armazenamento.

A Taxa de Entrega é calculada contabilizando o número de mensagens entregues com sucesso na região de destino, em relação à quantidade de mensagens criadas pelo nó de borda DTN de origem. Esta métrica mede a eficácia do protocolo e é representada pela Equação 6.1 onde B_r denota o número de agregados recebidos e B_e o número de agregados enviados.

$$\frac{B_r}{B_e} \quad (6.1)$$

A Taxa de Expiração calcula a quantidade de agregados expirados, ou seja, que não foram entregues a tempo ao destinatário, em relação a quantidade de agregados gerados durante a simulação. Tal métrica indica se o protocolo realiza boas escolhas na tomada de decisão de encaminhamento pois caso não realize, a taxa de expiração será alta pois o agregado expirará antes de chegar ao destino. Ela é representada pela Equação 6.2 onde B_x indica o número de agregados expirados e B_c o número de agregados copiados.

$$\frac{B_x}{B_e + B_c} \quad (6.2)$$

A Taxa de Eficiência contabiliza, em média, quantas cópias são necessárias para que cada agregado chegue ao destino. Tal métrica indica como o protocolo se comporta no que diz respeito a sua estratégia de cópia. A Equação 6.3 é usada para calcular a métrica em questão.

$$\frac{\sum_{i=1}^{|A|} \frac{1}{B_c^{a_i}}}{|A|} \quad (6.3)$$

Onde A é o conjunto de agregados recebidos pelo nó de borda DTN de destino, para cada agregado $a \in A$ é contabilizado quantas cópias de a são feitas durante a simulação (B_c^a). O valor de $\frac{1}{B_c^a}$ equivale a taxa de eficiência de entrega do agregado a , onde a máxima eficiência ocorre quando o nó origem entrega diretamente o agregado ao nó destino, ou seja, foi necessário realizar apenas uma cópia (transferência de custódia). Desta forma, quanto mais cópias forem realizadas menor será o valor da taxa de eficiência.

O Atraso de Entrega denota o tempo médio gasto pelos agregados ao percorrerem o trajeto entre as regiões de origem e de destino.

6.2 Análise de Resultados

Os gráficos apresentados nesta seção exibem os resultados coletados durante as simulações onde em todos eles o eixo x refere-se ao tamanho do agregado. Além disso, durante a geração dos agregados, quanto maior seu tamanho menor será a quantidade gerada.

A primeira métrica analisada foi o número de cópias realizadas durante a simulação. Ela está diretamente ligada a estratégia de encaminhamento do protocolo de roteamento DTN. Nas Figuras 33 e 34, como pode ser observado, a quantidade de cópias de agregados diminuiu com o aumento do tamanho dos agregados, como era esperado, já que o número de agregados diminuiu e logicamente, a medida que o fluxo de veículos aumenta a quantidade de cópias também aumenta.

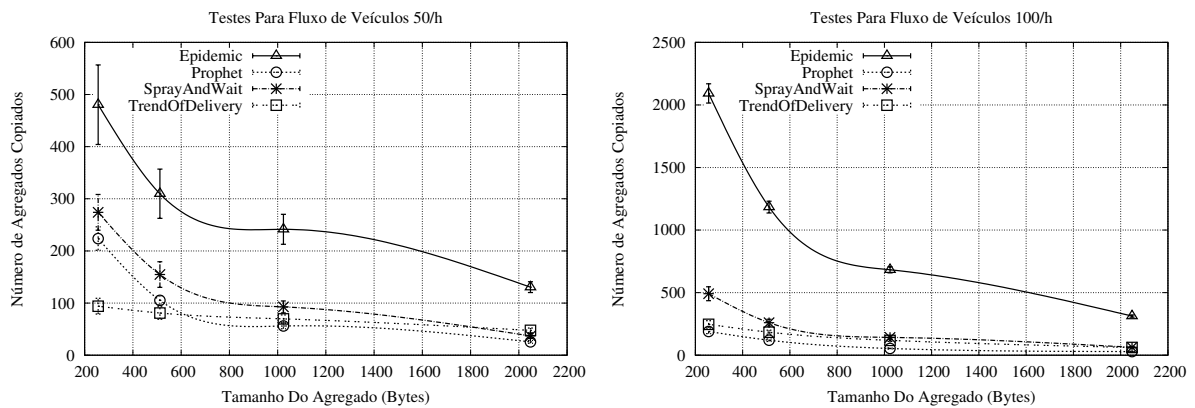


Figura 33: Tamanho do Bundle x Número de Bundle Copiados - 50 e 100 VHP

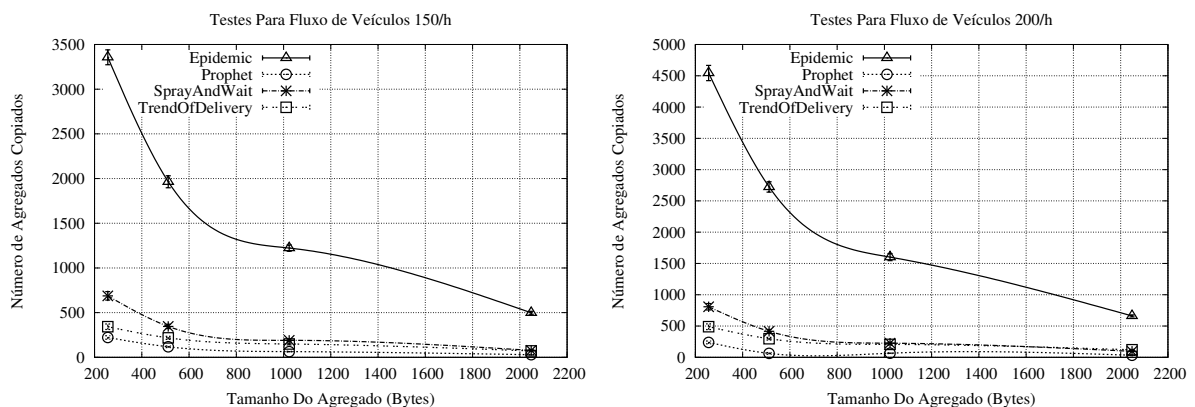


Figura 34: Tamanho do Bundle x Número de Bundle Copiados - 150 e 200 VHP

Nestas figuras (33 e 34) fica clara a falta de escalabilidade do protocolo epidêmico, já que em todos cenários simulados ele foi o que mais realizou cópias e consequentemente foi o que mais desperdiçou recursos de armazenamento. Os outros protocolos (*Prophet*, *Spray-*

And-Wait Binário e *Trend-of-Delivery*), por não possuírem uma estratégia de cópia epidêmica, utilizaram bem menos recursos de armazenamento.

O protocolo *Trend-of-Delivery*, como dito anteriormente, realizou poucas cópias de agregados, uma vez que elas só foram realizadas quando um nó veicular encontrou outro com tendência de entrega maior. Em comparação ao protocolo epidêmico, o *Trend-of-Delivery* no pior caso, realizou em torno de duas vezes menos cópias e, no melhor caso, em torno de nove vezes menos cópias.

A segunda métrica analisada foi a Taxa de Entrega. Esta métrica é muito importante, pois reflete como os protocolos se comportam em diferentes situações. Em uma rede desafiadora, os principais problemas estão relacionados a baixa conectividade. Neste caso é importante que um protocolo de roteamento DTN utilize uma boa estratégia de encaminhamento sem consumir exageradamente os recursos de rede em situações adversas, e que se comporte bem principalmente quando transferir agregados de tamanho relativamente grande.

Neste contexto, pode-se observar, através das Figuras 35 e 36, que o protocolo proposto obteve ótimos resultados em cenários desafiadores, como é o caso apresentado na Figura 35 (50 Veículos por hora). Neste cenário o *Trend-of-Delivery* obteve uma taxa de entrega superior aos 50% o que é um resultado melhor que o dos protocolos (*Prophet* e *Spray-and-Wait*) que conseguiram menos que 30% de taxa de entrega quando o tamanho do agregado era de 2048 bytes.

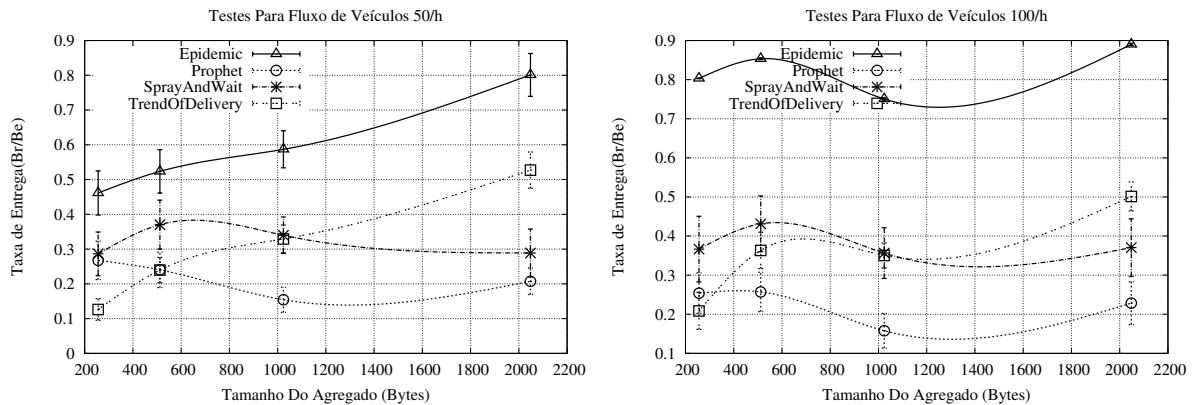


Figura 35: Tamanho do Bundle x Taxa de Entrega - 50 e 100 VHP

Em relação ao protocolo epidêmico, o *Trend-of-Delivery* obteve taxa de entrega por volta de 35% menor, mas com a vantagem de ter realizado 5 vezes menos cópias.

Nos outros cenários, considerando os agregados com 2048 bytes, o protocolo proposto continuou com bons resultados e obteve taxa de entrega entre 46%-53%, enquanto os protocolos *Prophet* e *Spray-and-Wait* não conseguiram superar os 40%.

Na simulação com agregados de tamanho 256 bytes o *Trend-of-Delivery* obteve taxa

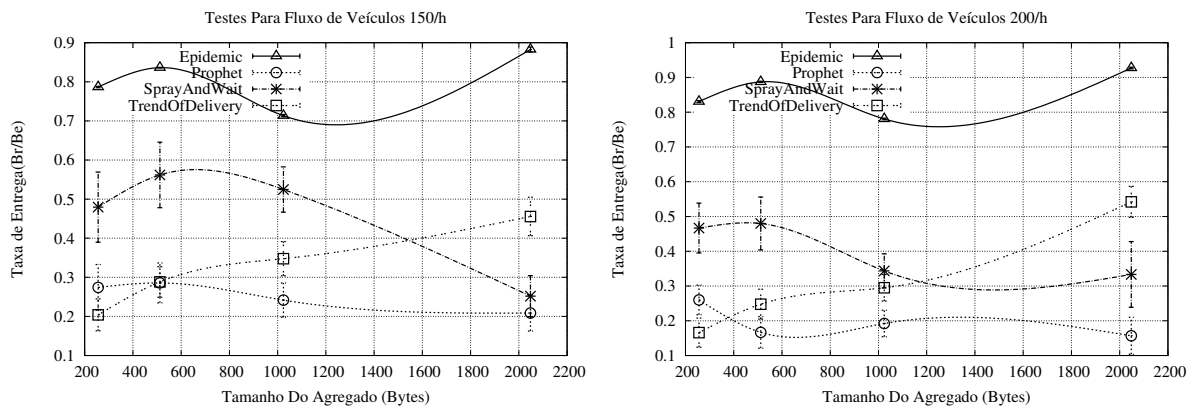


Figura 36: Tamanho do Bundle x Taxa de Entrega - 150 e 200 VHP

de entrega entre 10%-20% e este valor foi aumentando a medida que o tamanho do agregado aumentava e conseqüentemente a medida que o número de agregados gerados diminuía. Isto demonstra que o protocolo proposto não é muito adequado para cenários com alta taxa de envio de agregados, o que na realidade não é um grande problema, pois em DTN, os agregados devem carregar o máximo de informação possível pois não é previsto na arquitetura DTN a troca de mensagens entre aplicações simétricas de regiões diferentes, o que aumenta o tamanho do agregado e conseqüentemente diminui a quantidade de agregados enviados.

A próxima métrica analisada é a Taxa de Agregados Expirados. Ela indica se o protocolo de roteamento DTN está fazendo boas escolhas durante o encaminhamento dos agregados. Se assim for, a taxa de expiração deve ser baixa uma vez que com boas escolhas eles serão entregues. Por outro lado, os agregados expirarão caso não sejam levados ao destino depois de 200 segundos, contribuindo para altas taxas de expiração.

Nas Figuras 37 e 38, observa-se que o protocolo proposto conseguiu baixas taxas de agregados expirados em comparação aos outros protocolos, em todos os experimentos. Isto mostra que o *Trend-of-Delivery*, apesar de realizar poucas cópias, como foi exibido nas Figuras 33 e 34, as realiza de forma eficiente, fazendo com que os agregados tenham mais chances de serem entregues com sucesso.

A penúltima métrica é a Taxa de Eficiência. Ela relaciona a taxa de entrega em função do número de cópias de agregados, isto é, mostra quantas cópias foram feitas para cada entrega realizada com sucesso. Neste quesito também fica clara a falta de escalabilidade do protocolo epidêmico, pois a medida que a quantidade de nós aumenta a sua taxa de eficiência diminui, pois em um cenário denso muitas cópias são realizadas. Somente no primeiro cenário, 50 veículos por hora, o protocolo epidêmico conseguiu superar o protocolo *Spray-and-Wait*, porém nos outros – 100, 150 e 200 veículos por hora – sua taxa de eficiência foi a menor de todas.

O protocolo *Trend-of-Delivery*, como pode ser observado nas Figuras 39 e 40, obteve

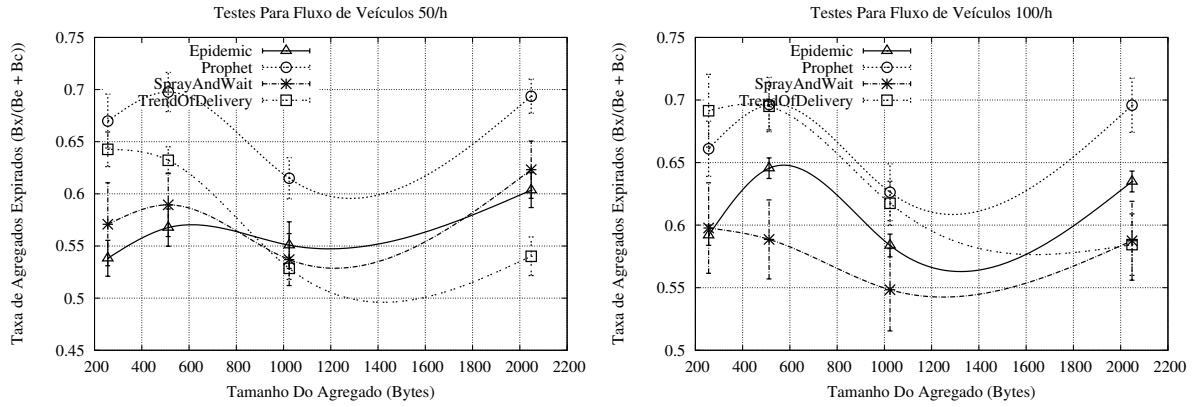


Figura 37: Tamanho do Bundle x Taxa de Bundles Expirados - 50 e 100 VHP

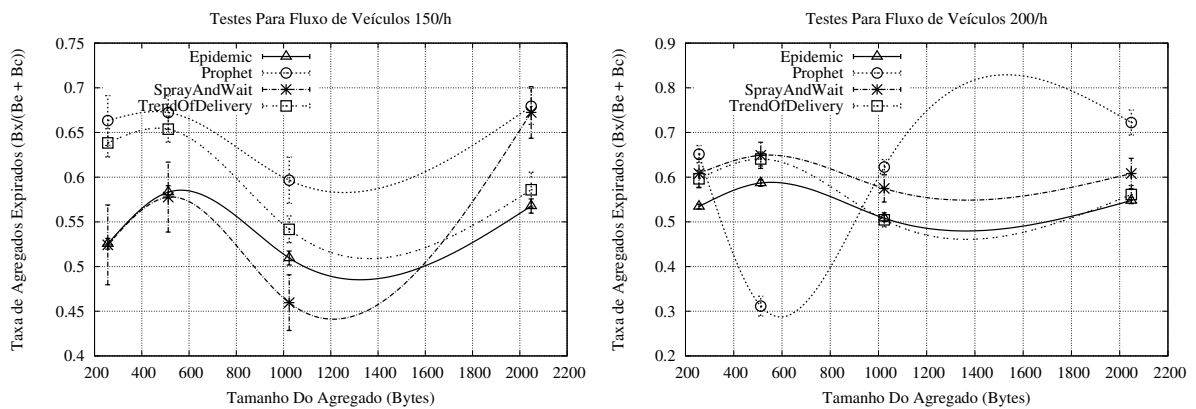


Figura 38: Tamanho do Bundle x Taxa de Bundles Expirados - 150 e 200 VHP

taxa de eficiência equivalente aos protocolos *Spray-and-Wait* e *Prophet*, confirmando mais uma vez que as escolhas durante o encaminhamento dos agregados foi realizada com eficiência, pois não foram necessárias muitas cópias para cada agregado entregue com sucesso.

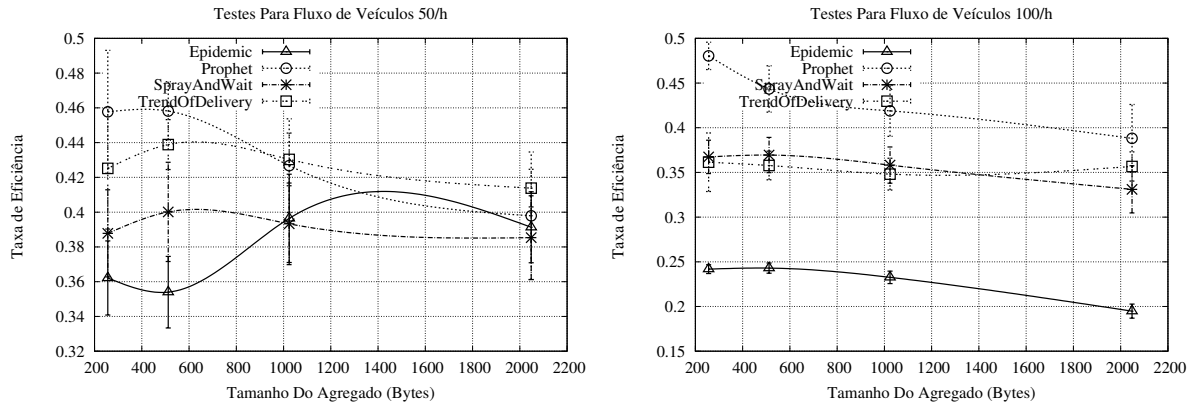


Figura 39: Tamanho do Bundle x Taxa de Eficiência - 50 e 100 VHP

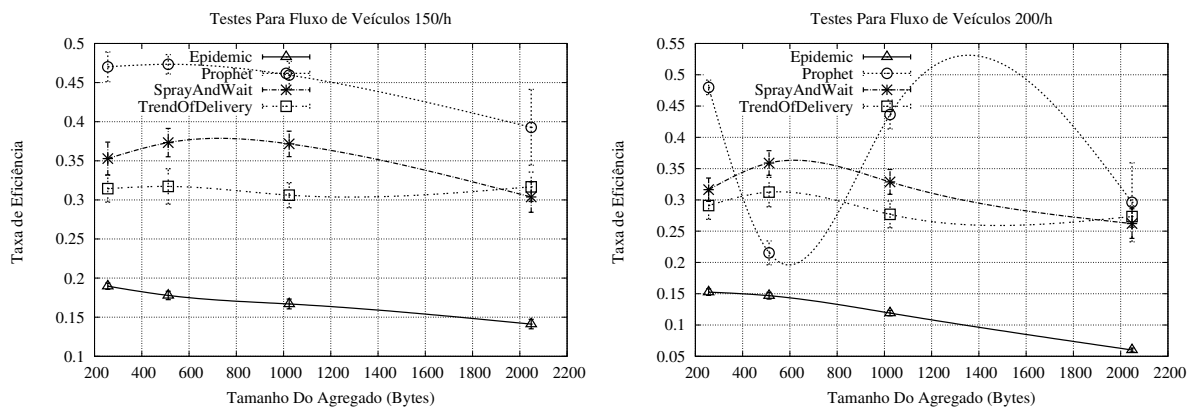


Figura 40: Tamanho do Bundle x Taxa de Eficiência - 150 e 200 VHP

A última métrica analisada foi o Atraso Médio. Nestes cenários (Figuras 41 e 42), o protocolo epidêmico foi o que obteve menor atraso em todos os cenários. Uma vez que ele copia os agregados para todos os nós que ele entra em contato, a informação se propaga amplamente pelo cenário contribuindo para que ela chegue rapidamente ao destinatário. O *Trend-of-Delivery*, apesar de realizar menos cópias que o protocolo epidêmico, também obteve bons resultados. Em relação ao atraso médio, o protocolo obteve repostas similares aos protocolos *Spray-and-Wait* e *Prophet*.

Através dos experimentos realizados pode-se concluir que o protocolo *Trend-of-Delivery* aproveita bem as oportunidades de encaminhamento e uso de recursos o que lhe proporciona ótimas características.

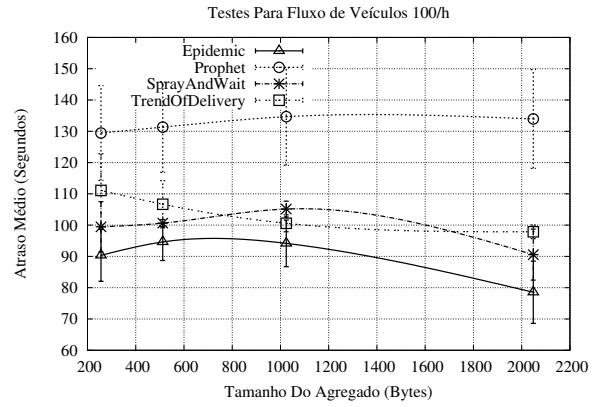
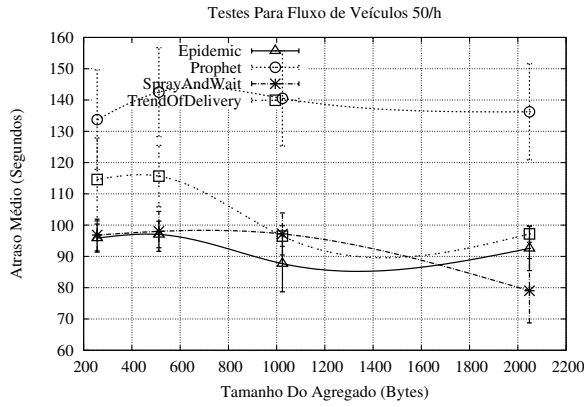


Figura 41: Tamanho do Bundle x Atraso Médio - 50 e 100 VHP

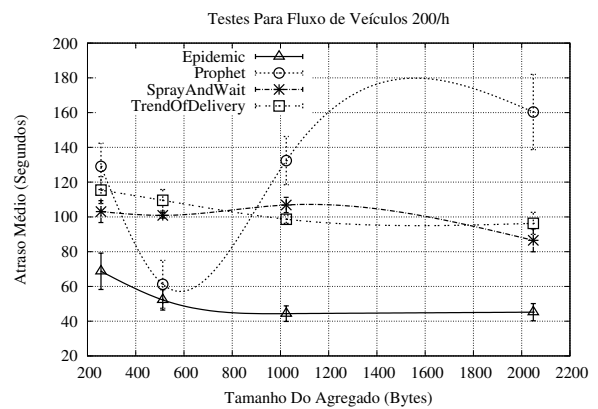
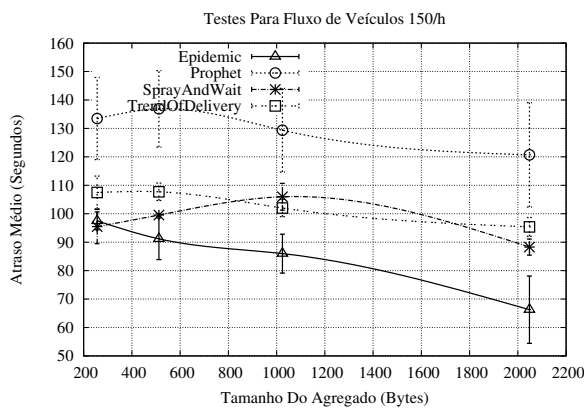


Figura 42: Tamanho do Bundle x Atraso Médio - 150 e 200 VHP

7 CONCLUSÃO

7.1 Contribuições e Trabalhos Futuros

São duas as principais contribuições conseguidas com o desenvolvimento deste trabalho. A primeira diz respeito ao ambiente de simulação, e a segunda, às técnicas empregadas no desenvolvimento do protocolo VDTN-TD.

Até então, uma das principais ferramentas de simulação utilizada para validar os protocolos de roteamento DTN é o simulador ONE (*Opportunistic Networking Environment*). Este simulador já foi utilizado em diversos trabalhos publicados (WEINSBERG et al., 2012)(WHITBECK et al., 2012)(LE; SCHOLTEN; HAVINGA, 2012)(BELBLIDIA et al., 2012), porém como dito no início deste trabalho, existem situações onde é necessário considerar o erro de propagação de mensagens que é inerente as redes sem fio. Alguns protocolos baseados em geolocalização acabam pecando por não considerar tais características.

De forma diferente, neste trabalho, foi utilizado o simulador NS3, até então em sua última versão, para desenvolver um ambiente capaz de simular uma rede veicular unida à arquitetura das redes tolerantes a atrasos com a vantagem de utilizar, de forma simulada, a pilha de protocolos de um dispositivo sem fio, considerando suas características e limitações, trazendo assim um nível maior de realidade ao o ambiente simulado. Além do protocolo proposto, foram desenvolvidos mais três protocolos DTN (Epidêmico, *Prophet* e *Spray-and-Wait*) que certamente é de grande ajuda para a pesquisa e desenvolvimento de novos protocolos nestes ambientes.

Em relação as técnicas empregadas na criação do protocolo VDTN-TD, fica clara as melhorias alcançadas pelo protocolo desenvolvido, como foi observado nos resultados obtidos, no que diz respeito as boas práticas que devem ser empregadas no desenvolvimento de protocolos que devem considerar as características e limitações das redes veiculares. Além disso, mostra que em um ambiente veicular várias particularidades devem ser consideradas na tomada de decisão de encaminhamento/cópias das informações (velocidade, sentido, distância etc).

De forma geral, a métrica tendência de entrega pode servir para a tomada de decisão em outros protocolos de roteamento DTN. No *Spray-and-Wait*, por exemplo, poderia-se considerar a TE antes do protocolo realizar as $\lceil \frac{n}{2} \rceil$ permissões de cópias do agregado e, com isto, o alcance do protocolo seria aumentado. A TE é uma métrica genérica, e assim sendo, serviria para diversos protocolos DTN. Portanto, como trabalho futuro, poderiam-se realizar simulações com versões modificadas dos protocolos *Prophet* e *Spray-and-Wait* para que levassem em conta a TE na tomada de decisão.

O ambiente desenvolvido é bastante propício para realizar novos experimentos, da

forma como ele foi criado, é bastante fácil para qualquer um desenvolver seu próprio protocolo de roteamento DTN. Portanto, como trabalho futuro poderia-se desenvolver outros protocolos de roteamento para uma análise em conjunto de seus desempenho, ou seja, um grande resumo de suas vantagens e limitações.

Em relação a técnica empregada na inferência da TE, poderia-se utilizar algoritmos genéticos para calibrar melhor a base de regras utilizada ou mesmo a utilização de novas técnicas capazes de agregar de forma abrangente um conjunto de características no cálculo da TE, como é o caso das máquinas de aprendizado.

BIBLIOGRAFIA

- AL-SIYABI, M.; CRUICKSHANK, H.; SUN, Z. Dtn qos metrics and fair resources management model. In: IEEE. *Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011 24th Canadian Conference on*. [S.l.], 2011. p. 000704–000707.
- AMRO, S.; CHICLANA, F.; ELIZONDO, D. Application of fuzzy logic in computer security and forensics. *Computational Intelligence for Privacy and Security*, Springer, p. 35–49, 2012.
- BALDESSARI, R. et al. Car-2-car communication consortium-manifesto. *Car-2-Car Communication Consortium*, 2007.
- BELBLIDIA, N. et al. Part-whole dissemination of large multimedia contents in opportunistic networks. *Computer Communications*, Elsevier, 2012.
- BLANCHET, M. Delay-tolerant networking bundle protocol iana registries. 2011.
- 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.
- BROMAGE, M.K.; KOSHIMOTO, J.T.; OBRACZKA, K. Tarot: trajectory-assisted routing for intermittently connected networks. In: ACM. *Proceedings of the 4th ACM workshop on Challenged networks*. [S.l.], 2009. p. 9–18.
- BURGESS, J. et al. Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In: CI-TESEER. *Proc. ieee infocom*. [S.l.], 2006. v. 6, p. 1–11.
- CABRERA, V.; ROS, F.J.; RUIZ, P.M. Simulation-based study of common issues in vanet routing protocols. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*. [S.l.]. p. 1–5.
- CERF, V. et al. Rfc 4838, delay-tolerant networking architecture. *IRTF DTN Research Group*, 2007.
- CHANG, K. *RF and microwave wireless systems*. [S.l.]: Wiley Online Library, 2000.
- CHENG, P.C. et al. Geodtn+ nav: A hybrid geographic and dtn routing with navigation assistance in urban vehicular networks. In: *Proc. 1st Annual Intl. Symp. Vehicular Computing Systems, Dublin, Ireland*. [S.l.: s.n.], 2008.
- CLAUSEN, T.; JACQUET, P. Rfc 3626-optimized link state routing protocol (olsr). *IETF RFC3626*, IETF, 2003.
- DEMERS, A. et al. Epidemic algorithms for replicated database maintenance. In: ACM. *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing*. [S.l.], 1987. p. 1–12.
- EICHLER, S. Performance evaluation of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard. In: *2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 2199–2203.

FALL, K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In: ACM. *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. [S.l.], 2003. p. 27–34.

FARRELL, S. et al. Bundle security protocol specification. 2011.

FRANCK, L.; GIL-CASTINEIRA, F. Using delay tolerant networks for car2car communications. In: IEEE. *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*. [S.l.], 2007. p. 2573–2578.

GEVA, A.B. Applications of fuzzy clustering to biomedical signal processing and dynamic system identification. *Nonlinear Biomedical Signal Processing: Fuzzy Logic, Neural Networks, and New Algorithms, Volume 1*, Wiley Online Library, p. 27–52, 2012.

GRASIC, S. et al. The evolution of a dtn routing protocol-prophetv2. In: ACM. *Proceedings of the 6th ACM workshop on Challenged networks*. [S.l.], 2011. p. 27–30.

GUERRA, R. *Projeto e simulação do controle de atitude autônomo de satélites usando lógica nebulosa*. Tese (Doutorado) — Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Sao José dos Campos-SP, 1998.

HÄRRI, J.; BONNET, C.; FILALI, F. Kinetic mobility management applied to vehicular ad hoc network protocols. *Computer Communications*, Elsevier, v. 31, n. 12, p. 2907–2924, 2008.

HERBERTSSON, F. *Implementation of a Delay-Tolerant Routing Protocol in the Network Simulator NS-3*. Tese (Doutorado) — Linköping, 2010.

HOSSMANN, T.; SPYROPOULOS, T.; LEGENDRE, F. Know thy neighbor: Towards optimal mapping of contacts to social graphs for dtn routing. In: IEEE. *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*. [S.l.], 2010. p. 1–9.

HUI, J. Crowcroft P.; YONEKI, E. Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks. *IEEE Trans. Mobile Comput.*, IEEE, v. 10, n. 11, p. 1576–1589, 2011.

KARP, B.; KUNG, H.T. Gpsr: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In: ACM. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. [S.l.], 2000. p. 243–254.

KOSCH, T. et al. The scalability problem of vehicular ad hoc networks and how to solve it. *IEEE Wireless Communications*, Citeseer, v. 13, n. 5, p. 22, 2006.

KRAJZEWICZ, D. et al. Sumo (simulation of urban mobility). In: *Proc. of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 183–187.

KRAJZEWICZ, D. et al. SUMO (Simulation of Urban MObility); An open-source traffic simulation. In: *4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002)*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 183–187.

KUMAR, S.S. et al. Fuzzy logic based energy efficient hierarchical clustering in wireless sensor networks. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJR-RWSN)*, v. 1, n. 4, 2012.

- LE, V.D.; SCHOLTEN, H.; HAVINGA, P. Towards opportunistic data dissemination in mobile phone sensor networks. In: *ICN 2012, The Eleventh International Conference on Networks*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 139–146.
- LEE, C.C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 20, n. 2, p. 404–418, 1990.
- LEONTIADIS, I.; MASCOLO, C. Geopps: geographical opportunistic routing for vehicular networks. In: IEEE. *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007. WoWMoM 2007. IEEE International Symposium on a*. [S.l.]. p. 1–6.
- LINDGREN, A.; DORIA, A.; SCHELÉN, O. Probabilistic routing in intermittently connected networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM, v. 7, n. 3, p. 19–20, 2003.
- LITTLE, T.D.C.; AGARWAL, A. An information propagation scheme for vanets. In: IEEE. *Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005 IEEE*. [S.l.], 2005. p. 155–160.
- LIU, M.; YANG, Y.; QIN, Z. A survey of routing protocols and simulations in delay-tolerant networks. *Wireless Algorithms, Systems, and Applications*, Springer, p. 243–253, 2011.
- LOCHERT, C. et al. Geographic routing in city scenarios. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM, v. 9, n. 1, p. 69–72, 2005.
- MATHURAPOJ, A.; PORNAVALAI, C.; CHAKRABORTY, G. Fuzzy-spray: efficient routing in delay tolerant ad-hoc network based on fuzzy decision mechanism. In: IEEE. *Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on*. [S.l.], 2009. p. 104–109.
- MCCANNE, S. et al. *Network simulator ns-3*. 2000.
- 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.
- NAMBOODIRI, V.; AGARWAL, M.; GAO, L. A study on the feasibility of mobile gateways for vehicular ad-hoc networks. In: ACM. *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*. [S.l.], 2004. p. 66–75.
- OLIVEIRA, E.C.R. de; ALBUQUERQUE, C.V.N. de. Nectar: a dtn routing protocol based on neighborhood contact history. In: ACM. *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*. [S.l.], 2009. p. 40–46.
- PERKINS, C.E.; BHAGWAT, P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 24, n. 4, p. 234–244, 1994.
- PERKINS, C.E.; ROYER, E.; DAS, S. Ad hoc on-demand distance vector (aodv). *Request For Comments (RFC)*, v. 3561, p. 30, 2003.

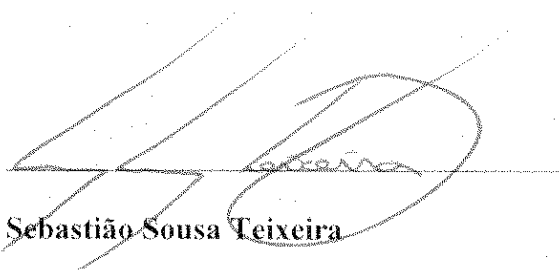
- PETRILA, D. et al. Fuzzy logic based mppt controller for a small wind turbine system. In: IEEE. *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012 13th International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 993–999.
- PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C.S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: CITESEER. *In Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN)*. [S.l.], 2005.
- SADAGOPAN, N. et al. Paths: analysis of path duration statistics and their impact on reactive manet routing protocols. In: ACM. *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. [S.l.], 2003. p. 245–256.
- SANDRI, S.; CORREA, C. Lógica nebulosa. *ESCOLA DE REDES NEURAIIS: CONSELHO NACIONAL DE REDES NEURAIIS*, ITA São José dos Campos, v. 5, p. 73–90, 1999.
- SARKAR, TK et al. A survey of various propagation models for mobile communication. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, v. 45, n. 3, p. 51–82, 2003.
- SCHMIDT-EISENLOHR, F. et al. Simulation platform for inter-vehicle communications and analysis of periodic information exchange. In: *Wireless on Demand Network Systems and Services, 2007. WONS'07. Fourth Annual Conference on*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 50–58.
- SCOTT, K.; BURLEIGH, S. et al. Rfc 5050, bundle protocol specifications. *IRTF DTN Research Group*, 2007.
- SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C.S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, IEEE, v. 16, n. 1, p. 77–90, 2008.
- SPYROPOULOS, T. et al. Routing for disruption tolerant networks: taxonomy and design. *Wireless networks*, Kluwer Academic Publishers, v. 16, n. 8, p. 2349–2370, 2010.
- STEPANOV, I.; HERRSCHER, D.; ROTHERMEL, K. On the impact of radio propagation models on manet simulation results. In: *Proceedings of 7th IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2005)*. [S.l.: s.n.], 2005.
- 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.
- TALIWAL, V. et al. Empirical Determination of Channel Characteristics for DSRC Vehicle-to-vehicle Communication. In: ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. *Proceedings of the First ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks: October 1, 2004, Philadelphia, Pennsylvania, USA; Held in Conjunction with MobiCom 2004*. [S.l.], 2004. p. 88.
- VAHDAT, A.; BECKER, D. et al. *Epidemic routing for partially connected ad hoc networks*. [S.l.], 2000.
- VOGELS, W.; RENESSE, R. Van; BIRMAN, K. The power of epidemics: robust communication for large-scale distributed systems. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 33, n. 1, p. 131–135, 2003.

- WEINSBERG, U. et al. Care: Content aware redundancy elimination for disaster communications on damaged networks. *Arxiv preprint arXiv:1206.1815*, 2012.
- WHITBECK, J. et al. Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, Elsevier, 2012.
- XU, L. et al. Par: Prioritized dtn routing protocol based on age rumors. *Recent Progress in Data Engineering and Internet Technology*, Springer, p. 425–431, 2012.
- YAO, B. et al. An interval type-2 fuzzy logic system for human silhouette extraction in dynamic environments. *Autonomous and Intelligent Systems*, Springer, p. 126–134, 2012.
- YOUSEFI, S.; MOUSAVI, M.S.; FATHY, M. Vehicular ad hoc networks (VANETs): challenges and perspectives. In: *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 761–766.
- YU, D.; KO, Y.B. Ffrdv: fastest-ferry routing in dtn-enabled vehicular ad hoc networks. In: *IEEE. Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. 11th International Conference on*. [S.l.], 2008. v. 2, p. 1410–1414.
- ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Information and control*, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZHAO, J.; CAO, G. Vadd: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. In: *CITeseer. IEEE infocom*. [S.l.], 2006. v. 6.

DECLARAÇÃO

Eu, Sebastião Sousa Teixeira, RG 2003002140620, declaro para os devidos fins, que sou formado em Letras (Português – Literatura), pela Universidade Estadual do Ceará, e trabalho com a revisão de textos científicos.

Fortaleza, 05 de agosto de 2012.



Sebastião Sousa Teixeira