

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

**ANÁLISE DE PROTOCOLOS DE
ROTEAMENTO EM VANETS DE
DIFERENTES DENSIDADES EM
AMBIENTE URBANO**

Jair José Ferronato

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Computação
Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

Orientador: Prof. Marco Antônio Sandini Trentin

Passo Fundo

2015

CIP – Catalogação na Publicação

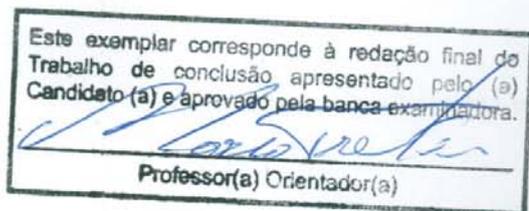
F396a Ferronato, Jair José
Análise de protocolos de roteamento em Vanets de
diferentes densidades em ambiente urbano / Jair José
Ferronato. – 2015.
75 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin.
Dissertação (Mestrado em Computação) – Universidade
de Passo Fundo, 2015.

1. Redes de computação - Protocolos. 2. Simulação
(Computadores). 3. Arquitetura de redes de computadores.
I. Trentin, Marco Antônio Sandini, orientador. II. Título.

CDU: 004.7

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569



**ATA DE DEFESA DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO**

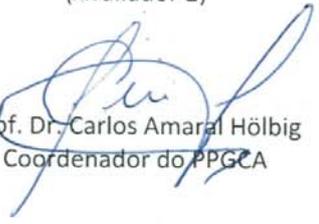
JAIR JOSÉ FERRONATO

Aos treze dias do mês de novembro do ano dois mil e quinze, às 10 horas, realizou-se, no Instituto de Ciências Exatas e Geociências, prédio B5, da Universidade de Passo Fundo, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso **“Análise de Protocolos de Roteamento em Vanets de Diferentes Densidades em Ambiente Urbano”**, de autoria de **Jair José Ferronato**, acadêmico do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA/UPF. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Marco Antonio Sandini Trentin, Marcelo Trindade Rebonatto e Roseclea Duarte Medina. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.


Prof. Dr. Marco Antonio Sandini Trentin
Presidente da Banca Examinadora (Orientador)


Profª. Dra. Roseclea Duarte Medina - UFSM
(Avaliador Externo)


Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto - UPF
(Avaliador 2)


Prof. Dr. Carlos Amaral Hölbig
Coordenador do PPGCA

Dedico esta dissertação à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e pelo Espírito Santo por iluminar meu caminho neste momento especial da vida. A fé e a religiosidade são pontos fortes em que acredito, a possibilidade de uma caminhada para alcançar os objetivos. Agradeço à Mãe e Rainha Três Vezes Admirável de Schoenstatt e ao Pe. Kentenich, aos quais, muitas vezes recorri e pedi iluminação e força nos estudos.

Agradeço também à minha família que através do apoio, compreensão e oração incentivaram minha trajetória neste mestrado. Em especial, à esposa Sibeli, aos filhos Angelo Luigi e Maria Chiara que souberam esperar e respeitar o tempo de dedicação aos estudos e muitas vezes renunciaram ao convívio em prol deste projeto. Também aos meus pais, que em sua simplicidade sempre fizeram o melhor e ensinaram os valores da oração, do trabalho e da persistência na vida. Também agradeço aos amigos que sempre colaboraram e respeitaram para que este período fosse de grande proveito em minha vida.

Também agradeço ao PPGCA (Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada), à coordenação, secretaria, colegas e professores, em especial ao professor Dr. Marco Antônio Sandini Trentin que sempre prestou seu apoio desde o início deste trabalho, e com sua experiência proporcionou crescimento científico e profissional, e também ao professor Dr. Marcelo Trindade Rebonatto que fez suas especiais contribuições na banca de qualificação.

“A persistência é o caminho do êxito. ”
(Charles Chaplin)

ANÁLISE DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM VANETS DE DIFERENTES DENSIDADES EM AMBIENTE URBANO

RESUMO

As redes estão presentes em nosso cotidiano e têm papel essencial nos processos de comunicação. As *Vehicular Ad hoc Networks (VANETs)* são redes veiculares e utilizam trocas de dados entre os veículos e com a infraestrutura das rodovias para transmissão de dados. Este trabalho apresenta a simulação dos protocolos de redes veiculares baseados em topologia, através da comparação do comportamento e do desempenho da transmissão de dados no cenário urbano do Município de Passo Fundo. Foram utilizados parâmetros reais como definição de cenário em área central da cidade, velocidade média permitida no local, fluxo de veículos que trafegam em determinados horários com o intuito de aplicar os conceitos da literatura sobre redes veiculares. Sendo assim, a pesquisa buscou analisar o comportamento dos protocolos aplicados ao simulador Network Simulator 2 (NS2) com análise da variação da densidade de nodos presentes na rede. Os resultados obtidos desta pesquisa mostraram que o protocolo reativo *Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV)* obteve vantagem sobre o protocolo proativo *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)* e do protocolo híbrido *Zone Routing Protocol (ZRP)*. Em contrapartida o protocolo proativo obteve resultados satisfatórios para uso com aplicações sensíveis ao atraso, por exemplo, aplicações com características de tempo real. O protocolo híbrido obteve resultados satisfatórios para aplicações com variação da densidade veicular e pode inclusive ser melhorado e adaptado às circunstâncias atuais de transmissão de dados ou, também, podem ser criados novos protocolos para obter melhores resultados em redes veiculares.

Palavras-Chave: *VANETs*, protocolos de roteamento, simulação, NS2.

ANALYSIS OF ROUTING PROTOCOLS ON VANETS OF DIFFERENT DENSITIES IN URBAN ENVIRONMENT

ABSTRACT

The networks are present in our daily lives and have essential role in communication processes. The *Vehicular Ad hoc Networks (VANETs)* are vehicular networks and data exchange between vehicles and with the highway infrastructure for data transmission. This work presents the simulation of vehicular networks protocols based at topology and by comparing the behavior and performance of data transmission in the urban setting in the city of Passo Fundo. Actual parameters were used as scenario definition in the central area of the city, average speed allowed on site, flow of vehicles that travel at certain times in order to apply the concepts of the literature on carrier networks. Therefore, the research sought to analyze the behavior of protocols assigned to simulation with Network Simulator 2 (NS2) and the variation of density of nodes present on the network. The results of this survey showed that the reactive Protocol *Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV)* gained advantage over the proactive protocol *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)* and hybrid *Zone Routing Protocol (ZRP)*. On the other hand the proactive Protocol obtained satisfactory results for use with delay-sensitive applications, for example, applications with real-time features. The hybrid Protocol obtained satisfactory results for applications with variation of vehicular density and can even be improved and adapted to current conditions or data transmission, too, can be created new protocols for best results in vehicular networks.

Keywords: *VANETs*, routing protocols , simulation, NS2.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Exemplo de aplicações ITS [1].	18
Figura 2.	Cenário de uso para redes <i>VANETs</i> [2].	19
Figura 3.	Arquitetura de protocolos <i>IEEE 1609</i> e <i>IEEE 802.11p</i> [3].	20
Figura 4.	Formato de <i>broadcast OLSR</i> [4].	25
Figura 5.	Exemplo de seleção de vizinhança com <i>AODV</i> [5].	26
Figura 6.	Exemplo do mecanismo <i>Zone Radius ZRP</i> [6].	27
Figura 7.	Modelo <i>Manhattan Grid</i> [7].	30
Figura 8.	Classificação de simuladores veiculares. Adaptado de [8].	31
Figura 9.	Arquitetura do <i>NS2</i> [9].	33
Figura 10.	Trecho de vias urbanas usado na simulação	36
Figura 11.	Simulações executadas no estudo.	42
Figura 12.	Latência TCP	43
Figura 13.	Latência UDP	44
Figura 14.	Variação da Latência em função da densidade	44
Figura 15.	Comparativo da latência em função das densidades	44
Figura 16.	Taxa de entrega TCP	46
Figura 17.	Taxa de entrega UDP	46
Figura 18.	Variação da Taxa de entrega em função da densidade	47
Figura 19.	Comparativo da taxa de entrega em função das densidades	47
Figura 20.	Taxa de sobrecarga TCP	49
Figura 21.	Taxa de sobrecarga UDP	49
Figura 22.	Variação da sobrecarga em função da densidade	49
Figura 23.	Comparativo da sobrecarga de roteamento em função das densidades	50
Figura 24.	Taxa de transferência TCP	52
Figura 25.	Taxa de transferência UDP	52
Figura 26.	Variação da Taxa de transferência em função da densidade	52
Figura 27.	Comparativo da taxa de transferência em função das densidades	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Tabela da configuração equipamento usado nas simulações	34
Tabela 2.	Tabela de parâmetros do simulador NS2	38
Tabela 3.	Tabela do índice do intervalo de confiança [10]	39
Tabela 4.	Taxa de latência - Dados gerados pelo NS2	43
Tabela 5.	Taxa de entrega - Dados gerados pelo NS2	46
Tabela 6.	Taxa de sobrecarga de roteamento - Dados gerados pelo NS2	48
Tabela 7.	Taxa de transferência - Dados gerados pelo NS2	51
Tabela 8.	Tabela comparativa - Dados gerados após simulação	54
Tabela 9.	Desempenho dos protocolo na simulação - Baixa densidade	55
Tabela 10.	Desempenho dos protocolo na simulação - Alta densidade	55
Tabela 11.	Percentual sobre a variação da densidade veicular	56

LISTA DE SIGLAS

- ACK** Acknowledgement
- AODV** Ad hoc On Demand Distance Vector
- AWK** Inter-Zone Routing Protocol
- CBR** Constant Bit Rate
- DSDV** Destination-Sequenced Distance-Vector
- DSR** Dynamic Source Routing
- DSRC** Dedicated Short Range Communication
- FTP** File Transfer Protocol
- GPS** Global Position Systems
- IARP** Intra-Zone Routing Protocol
- IC** Interval Confidence
- IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IERP** Inter-Zone Routing Protocol
- ITS** Intelligent Transport Systems
- MAC** Media Access Control
- MANETs** Mobile Ad hoc Network
- MPR** Multi Point Relay
- NS2** Network Simulator 2
- OBU** On Board Unit
- OLSR** Optimized Link State Routing Protocol
- RFC** Requests for Comments
- RSU** Road Side Unit
- RTT** Round Trip Time
- RWP** Random Way Point

SUMO Simulation of Urban MObility

TCP Transport Control Protocol

UDP User Datagram Protocol

VANETs Vehicular adhoc Networks

VEINS Vehicular in Network Simulation

V2I Vehicle to infrastructure

V2V Vehicle to vehicle

WAVE Wireless Access in Vehicular Environments

ZRP Zone Routing Protocol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REDES VEICULARES	18
2.1	<i>ARQUITETURA</i>	20
2.2	<i>APLICAÇÕES</i>	21
2.3	PROCOLOS DE ROTEAMENTO	21
2.3.1	Protocolo proativo - OLSR	24
2.3.2	Protocolo reativo - AODV	25
2.3.3	Protocolo híbrido - ZRP	27
2.4	MODELOS DE MOBILIDADE	28
2.4.1	Modelo Manhattan Grid	29
2.5	SIMULADORES E FERRAMENTAS	30
2.5.1	Simulador de rede NS2	32
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	34
3.1.1	Ambiente computacional	34
3.1.2	Cenário da simulação	35
3.1.3	Modelo de mobilidade	35
3.1.4	Ferramentas de apoio	37
3.1.5	Parâmetros do simulador	37
3.2	PROCOLOS SIMULADOS	38
3.3	INTERVALO DE CONFIANÇA	39
3.4	DENSIDADE VEICULAR	39
3.5	MÉTRICAS DA SIMULAÇÃO	40
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	42
4.1	RESULTADOS	42
4.1.1	Latência	43
4.1.2	Taxa de Entrega	45
4.1.3	Sobrecarga de roteamento	48
4.1.4	Taxa de transferência	51
4.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	57

5	CONCLUSÃO	59
5.1	CONTRIBUIÇÕES	60
5.2	TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A – Tela principal de acesso ao sistema de simulação	66
	APÊNDICE B – Exemplo de código para geração da mobilidade dos nodos	67
	APÊNDICE C – Exemplo de código para geração do tráfego dos nodos	68
	APÊNDICE D – Exemplo de código TCL da simulação do protocolo AODV	69
	APÊNDICE E – Código automatizado Shell Script - Execução da simulação <i>NS2</i>	71
	ANEXO A – Solicitação de dados - Pesquisa de campo	72
	ANEXO B – Fluxo de veículos - Controladores eletrônicos	73
	ANEXO C – Velocidades - Controladores eletrônicos	74
	ANEXO D – Cálculo da densidade veicular	75

1. INTRODUÇÃO

As redes do futuro permitirão conectar os mais variados dispositivos e sensores em vários locais do planeta. A conectividade poderá ser utilizada em alta velocidade de transmissão e possibilitará que as informações estejam disponíveis em tempo real através de diferentes meios e múltiplos locais. Nessa perspectiva, com o avanço do uso de redes, ampliam-se os mecanismos de comunicações para atender a demanda exponencial de serviços e aplicativos que viabilizem o uso destes serviços.

Entre os diferentes tipos de redes sem fio, existem as redes *Ad hoc*, as quais são caracterizadas como redes de múltiplos saltos e sem infraestrutura física, pois não existe estação base, e os nodos podem estabelecer conectividade para transmissão de mensagens com diversos outros nodos para chegar a um destino. Os nodos também podem ser móveis ocorrendo mudança de local e conectividade entre eles. Uma categoria especial conhecida como *Mobile Ad hoc Network (MANET)* é utilizada para caracterizar as redes móveis *ad hoc*. Elas são auto-organizadas e autogeridas pelos participantes.[11]

Uma das categorias de redes *MANETs* são as *VANETs*. Essas redes usam conexões sem fio para comunicação entre veículos e sem necessidade de outros equipamentos para troca de dados, e permitem assim, que novas aplicações veiculares sejam criadas e implantadas com mais rapidez e menores custos. [12].

Segundo [13], uma rede *VANET* é considerada uma rede dinâmica que apresenta impactos na robustez. Conforme a velocidade utilizada por cada veículo e a taxa de deslocamento em áreas urbanas, é possível utilizar diversas formas de conexão para estas redes. Cada veículo é equipado com dispositivos de comunicação os quais interagem entre si e com a infraestrutura de transmissão de dados existente. As alternâncias de velocidades causam instabilidade nas topologias e aumentam a complexidade e a demanda para roteamento e transmissão de mensagens.

As *VANETs* são úteis para informar aos motoristas sobre o trânsito, obras na pista, tempo de chegada ao destino com alternativas de rotas em caso de obstrução de vias, aviso aos motoristas quando ambulâncias estão se aproximando para que tenham prioridade, inspeção de segurança em veículos, dentre outros. Uma das contribuições mais importantes dessas redes é propiciar a segurança no trânsito. Por meio da comunicação entre os veículos é possível que o motorista seja alertado enquanto trafega por uma via, da ocorrência de acidentes à sua frente ou das condições do percurso. Como essas redes são altamente dinâmicas, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias para garantir segurança e eficiência do tráfego de dados usado entre estes dispositivos.

A intensificação de pesquisas sobre *VANETs* são motivadas pela necessidade cada vez maior de mobilidade urbana e conjectura-se essa denotação, que num futuro próximo as *VANETs* se tornarão realidade, haja vista atendimento a esta crescente demanda. Conforme pesquisa realizada em [15], verifica-se que na base *Scopus* em 2004 havia apenas duas pesquisas sobre o assunto e em 2014 esse número aumentou para 282. Os principais países de origem das publicações de trabalhos e pesquisas foram Estados Unidos, China e Índia.

Segundo [16], a indústria automotiva brasileira pretende aumentar em 62% a taxa de motorização até 2020. A intenção é passar dos atuais 154 para 250 veículos por 1.000 habitantes, de acordo com estimativa da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). O [17] estimou que a frota do Estado do Rio Grande do Sul aumentou de 2.631.035, em 1997, para 4.205.326 em 2007, o que significa um aumento de 62% em 10 anos. Neste mesmo período, a população no Estado cresceu de 9.637.682 habitantes para 10.582.840, aumentando 9%. A frota atual do Estado é de 5.514.581 veículos, o que equivale a 1,91 pessoas por veículo.

A cidade do futuro poderá ter melhores condições de trafegabilidade com a utilização de *Intelligent Transport Systems (ITS)*. Isso será possível com envio de informações de sensores espalhados por pontos estratégicos para alimentar centrais de monitoração pró-ativa de trânsito e com isso gerar informações estratégicas. Os *ITS* são implantados geralmente em grandes cidades e demandam altos investimentos, no entanto, percebe-se a oportunidade de disponibilizá-los em cidades de porte médio com custos acessíveis. Um desses centros é o Município de Passo Fundo, que possui cerca de 190 mil habitantes, sendo parte destes flutuantes, os quais buscam na cidade um local para compras, tratamentos de saúde ou educação. Considerada uma cidade de grande potencial para utilização de um *ITS*, pois segundo [16], em Passo Fundo existem cerca de 110 mil veículos em circulação, o que equivale a 1,72 pessoas por veículo, revelando uma grande frota de veículos e acima da média estadual.

O papel de uma rede é aparentemente simples: transportar pacotes de dados da origem até um destino. Para que isso aconteça, a função de roteamento deve determinar a rota ou caminho tomado pelos pacotes ao fluírem de um remetente até o destinatário. Os algoritmos de roteamento determinam por exemplo, o caminho pelo qual os pacotes devem trafegar pela rede. [11].

No entanto, para que as *VANETs* possam realmente ser efetivas, a transmissão de mensagens, alertas e toda comunicação realizada neste ambiente, faz-se necessário o uso de mecanismos eficientes para transmissão de dados entre os veículos, e, com isso, verifica-se a importância dos protocolos de roteamento. Segundo [14], a camada de rede deve conhecer a topologia de comunicação, ou seja, os roteadores deste ambiente e escolher o caminho mais apropriado para envio de pacotes na rede.

Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa é responder a seguinte questão: qual o protocolo de roteamento é mais adequado em *VANETs* para o ambiente urbano aplicado no Município de Passo Fundo por meio da variação de densidade veicular?

Como objetivos específicos, têm-se a identificação dos protocolos de roteamento considerando o ambiente de conectividade de *VANETs*; o levantamento dos modelos de mobilidade; simulação e análise dos resultados e a comparação através das métricas estabelecidas de cada protocolo deste estudo.

Assim, esta pesquisa auxiliará na futura criação de aplicativos voltados à problemas de trânsito, e conseqüentemente possibilitará novas experiências dos motoristas a fim de melhorar a trafegabilidade urbana.

A estrutura da dissertação está organizada em 5 capítulos. No capítulo 1 é feita a contextualização, motivação, bem como a apresentação dos objetivos do trabalho. No capítulo 2 apresenta-se a revisão de literatura em que são descritas as características das redes veiculares *VANETs*, sua arquitetura, cenários de uso e também as aplicações possíveis para estas redes. Também realiza-se a abordagem dos protocolos de roteamento utilizados para entrega de pacotes em redes *VANETs* e são especificadas as categorias dos protocolos de roteamento proativos, reativos e híbridos. Em seguida, descreve-se os modelos de mobilidade, sua utilização e influência em redes veiculares e também são apresentados os simuladores de redes veiculares, suas funcionalidades e características, em especial o simulador *Network Simulator (NS2)* e outras ferramentas de apoio às simulações. No capítulo 3, apresentam-se os procedimentos metodológicos como: cenário, ambiente de realização dos experimentos, modelo de mobilidade, protocolos utilizados, parâmetros do simulador e ferramentas de apoio. Também serão especificados o intervalo de confiança para análise dos resultados e a importância da densidade veicular nas simulações. Além disso, serão descritas as métricas usadas nesta pesquisa. No capítulo 4, faz-se a análise das simulações com a apresentação dos resultados obtidos de cada uma das métricas e também propõe-se a discussão do tema. Finalmente, no capítulo 5, são descritas as conclusões, as principais contribuições e trabalhos futuros.

2. REDES VEICULARES

O presente capítulo apresenta a fundamentação teórica que embasará os experimentos e as análises desta pesquisa. Assim, serão abordados os temas: redes veiculares, protocolos de roteamento, modelos de mobilidade, simuladores e ferramentas.

As *VANETs* são formadas por veículos equipados com dispositivos de comunicação sem fio *On Board Unit (OBU)*, os quais, utilizam sistemas de comunicação de curto e médio alcance. Na formação e utilização destas redes, a comunicação pode ser realizada entre veículos *Vehicle to Vehicle (V₂V)* e também *Vehicle to infrastructure (V₂I)* na qual os veículos se comunicam com a infraestrutura de comunicação instalada ao longo das rodovias *Road Side Unit (RSU)* para facilitar o acesso à Internet e possibilitar a comunicação entre veículos distantes do alcance de transmissão.

As *VANETs* podem fazer parte de um *ITS* que caracterizam-se por ser sistemas abrangentes de comunicação e permitem a interação com diversos dispositivos móveis e voltados para a infraestrutura terrestre, marítima e aérea. A Figura 1 mostra o exemplo de uso destes sistemas [1].

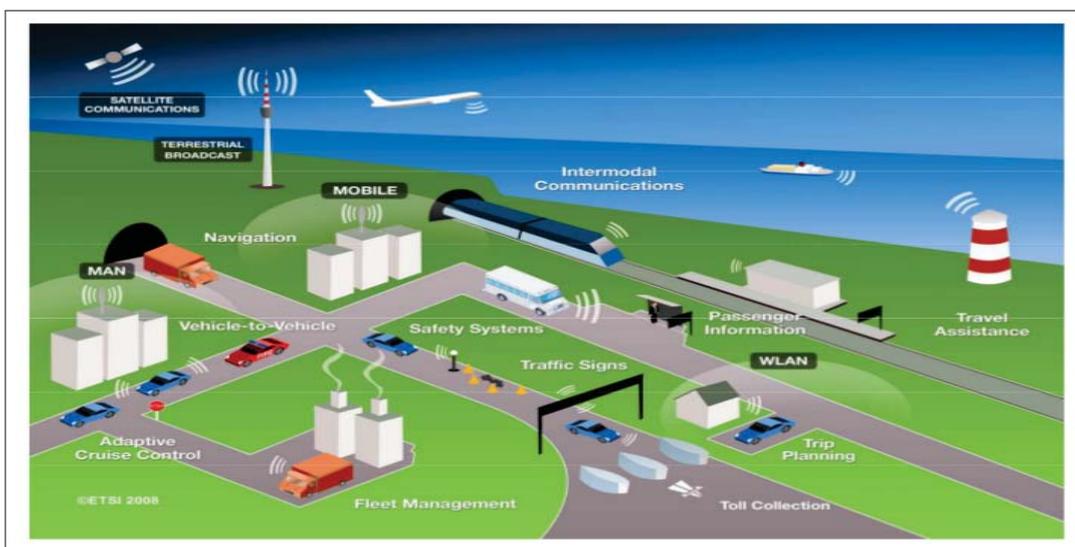


Figura 1. Exemplo de aplicações ITS [1].

Observa-se na Figura 1, os sistemas conectados, cujo principal objetivo é propiciar o uso de sistemas eficientes e seguros minimizando impactos ambientais e melhorando a experiência dos motoristas. É possível perceber a comunicação intermodal, ou seja, vários meios como navios, aeronaves e veículos utilizando a troca de dados.

Segundo [18], as *VANETs* apresentam as seguintes características:

- **Topologia dinâmica:** Os veículos se locomovem em diferentes velocidades. Supondo que dois veículos se locomovem a uma velocidade de 20m/s ou seja, 72km/h em um espaço de 160 metros, então o tempo de comunicação entre eles será de $160/20 = 8s$. Observa-se que o tempo de conexão é curto e deve ser utilizado da forma mais eficiente possível.

- **Tolerância a falhas:** Uma rede veicular ao caracterizar-se pela topologia dinâmica, permite inferir que haverá frequentes conexões e desconexões para troca de informações entre veículos. Este fenômeno pode ser observado em redes mais densas com maior tempo de conexão e em redes esparsas com menor tempo de conexão.
- **Modelo de mobilidade:** O modelo ou padrão de mobilidade dos veículos é influenciado pelas condições de tráfego, infraestrutura das vias, velocidade dos veículos e do comportamento do motorista.
- **Consumo de energia e capacidade de armazenamento:** Os veículos modernos dispõem de sistemas eficientes para geração de energia para seus dispositivos internos e também de armazenamento em baterias. Estes componentes são essenciais para a efetiva comunicação.
- **Ambiente de comunicação:** A comunicação veicular é fortemente influenciada pelo ambiente em que opera. Obstáculos como prédios, árvores e outros elementos podem influenciar na comunicação de dados.
- **Interação com sensores onboard:** O posicionamento atual do veículo e a movimentação dos nodos vizinhos podem ser facilmente monitorados por sensores e dispositivos *Global Position Systems (GPS)*. Estes componentes auxiliam o motorista no direcionamento através de mensagens para tomada de decisão e possíveis alterações de rota.

A Figura 2 representa um cenário de trânsito com o uso de *VANETs*. Observa-se que a comunicação ocorre em situações como acidentes, em que os veículos são avisados por mensagens e utilizam outra via para locomoção, evitando congestionamentos em caso de obstrução da pista.

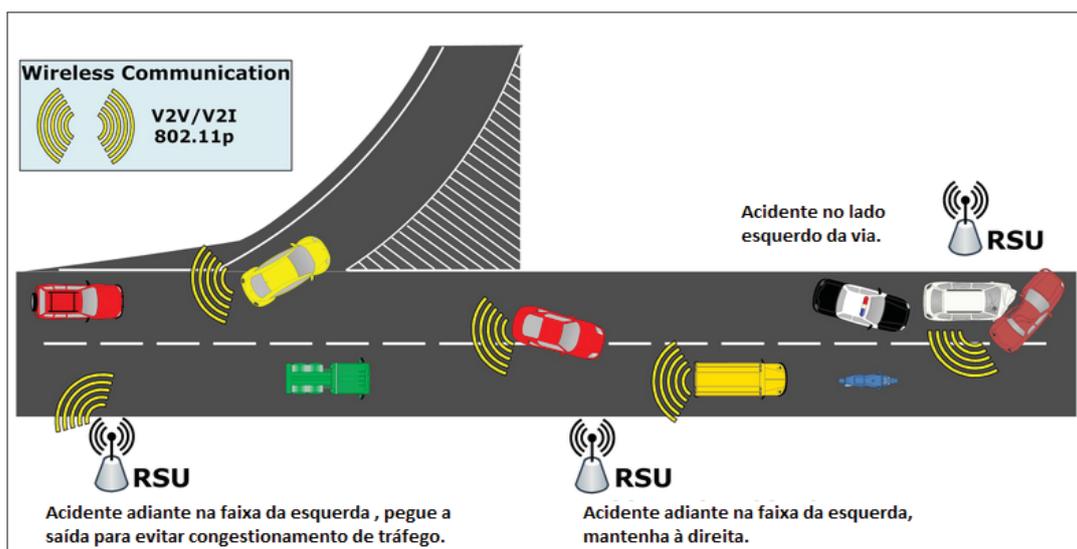


Figura 2. Cenário de uso para redes *VANETs*[2].

As *VANETs* por caracterizarem-se por uma topologia altamente dinâmica faz o projeto de novos protocolos de roteamento um constante desafio. A seguir será apresentada a arquitetura de funcionamento destas redes.

2.1 ARQUITETURA

A padronização auxilia no desenvolvimento de produtos e ajuda desenvolvedores na criação de soluções de custo aceitável e com alta qualidade. Segundo [19], as normas e padrões facilitam o avanço na pesquisas e criação de novos produtos de conectividade em redes *VANETs*. A seguir, são apresentados os principais componentes da arquitetura de redes *VANETs*:

- **Dedicated Short Range Communication (DSRC)**: Este mecanismo atua no serviço de comunicação V_2V e V_2I e pode ser usado para muitas aplicações como informações de trânsito, mensagens de segurança, pagamento de pedágios dentre outros. Este sistema visa fornecer alta conectividade e baixa latência de rede. Em 1999, nos EUA, a *Federal Communications Commision* (FCC), destinou 75Mhz de *spectrum* na faixa de 5.9Mhz para ser usada pela comunicação *DSRC*. Posteriormente este padrão recebeu atualizações de uso e atualmente vem sendo amplamente testado em redes veiculares.
- **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 1609 - Padrão para ambiente de comunicação veicular *Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)* (802.11p)**: Devido às características das *VANETs* já citadas anteriormente, foi necessário ter um padrão próprio para a comunicação veicular, sendo assim a padronização *DSRC* foi renomeada para *IEEE 802.11p*.

A Figura 3 evidencia a pilha de protocolos usadas na arquitetura das *VANETs*.

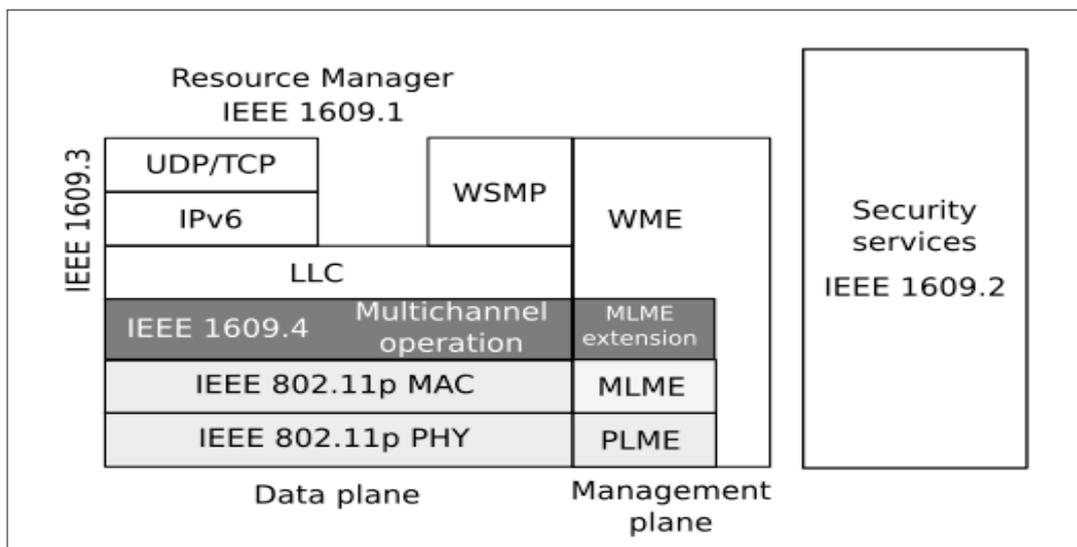


Figura 3. Arquitetura de protocolos *IEEE 1609* e *IEEE 802.11p* [3].

Observa-se na Figura 3 que o protocolo *IEEE 1609* tem as divisões que tratam de gerenciamento de recursos (1609.1), serviços de segurança (1609.2) e o padrão que gerencia a pilha de protocolos de rede e transporte (1609.3). Já o protocolo 802.11p opera a nível de *MAC* (nível de enlace) e também a nível *PHY* (nível físico).[3].

Conforme [19], o padrão *WAVE* define dois tipos de dispositivos: *RSU* e *OBU*, os quais identificam-se como fixos e móveis respectivamente. Normalmente equipamentos fixos provêm serviços e dispositivos móveis consomem serviços. A seguir são descritas as principais aplicações no ambiente de *VANETs*.

2.2 APLICAÇÕES

As *VANETs* possibilitam o uso de aplicações que podem ser usadas para auxílio aos motoristas, para alertas sobre questões vitais do trânsito como sinalização ou alertas e também para entretenimento enquanto ocorre o deslocamento. Essas redes permitem basicamente dois tipos de aplicações:

Seguras: São aquelas que permitem envio de avisos de segurança à veículos, colisões, desvios, perigos dentre outros avisos considerados vitais para o trânsito. Estas aplicações seguras são aquelas que usam métodos para manter a segurança do motorista e passageiro do veículo. Neste tipo de aplicação incluem-se também transporte de passageiros, circulação de viaturas policiais, ambulâncias e bombeiros.

Entretenimento: Aplicações são usadas para comunicação de voz, entretenimento, mídias sociais, notícias, e outras aplicações não cruciais, as quais não influenciam o trânsito.

Ao final desta seção, pode-se observar a complexidade presente em redes *VANETs*. No entanto, muitas pesquisas estão sendo realizadas em vários níveis a fim de avançar no aperfeiçoamento de técnicas, modelos e arquiteturas. Um campo que merece destaque são os protocolos de roteamento para que uma rede possa operar com eficiência. Sendo assim, os benefícios advindos das tecnologias de redes veiculares podem ser obstruídas se o quesito transferência e roteamento de dados não evoluir.

2.3 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

Existem vários protocolos para redes veiculares e o ponto comum entre eles é a utilização de parâmetros e métricas para seleção das melhores rotas.

Conforme [13], para integrar as características em um protocolo de roteamento existe uma nova tendência através de uma abordagem *top-down*. Isso consiste no uso de uma arquitetura com quatro componentes: roteamento dinâmico, escalabilidade, o tempo de conectividade e estratégia de roteamento. O componente principal e a base de qualquer protocolo desenvolvido alicerçado na arquitetura é o componente de roteamento dinâmico pois todos os cabeçalhos de pacotes são definidos neste componente, bem como a metodologia de encaminhamento.

Dessa forma, [12], cita que as aplicações futuras que usem (*ITS*) requerem comunicação rápida e confiável entre veículos V_2V ou com a infraestrutura V_2I . As características desejáveis de

roteamento dos protocolos para *VANETs* são: sobrecarga de controle mínimo; caminhos de roteamento livres; baixa complexidade; e recursos de *multicast*.

Além dos requisitos acima, o ambiente das redes veiculares impõe características desafiadoras ao projeto do protocolo de roteamento V_2V , incluindo: adaptação das informações de roteamento em topologias de redes móveis; curto tempo de convergência dos algoritmos de roteamento; atrasos para a descoberta de nodos vizinhos; e escalabilidade da rede.

Ao comparar redes *ad hoc*, o ambiente específico de tráfego veicular V_2V consiste em utilizar comunicação entre veículos cujos dispositivos vizinhos constantemente mudam de posicionamento e não têm um relacionamento anterior uns com os outros nodos. [12]

Segundo [20], as *VANETs* são redes com topologia altamente dinâmica, pois os veículos deslocam-se em velocidades variáveis e se utilizarem um raio de transmissão de 250 metros terão um link de comunicação entre dois veículos de apenas 10 segundos, e também ocorrem intermitências de conectividade. O autor destaca a importância dos protocolos de roteamento entre os veículos para estabelecer e manter conexões e também a capacidade do protocolo recuperar-se de falhas.

A presente pesquisa busca inicialmente apresentar três protocolos de roteamento e posteriormente serão feitas análises para compreender suas particularidades e características técnicas. Os protocolos escolhidos estão inseridos neste âmbito de redes *ad hoc* e com aplicações para *VANETs*.

Conforme [21], os protocolos de roteamento em *VANETs* são categorizados em:

- **Protocolos baseados na topologia** - São protocolos que usam informações das conexões existentes nas redes para fazer roteamento de pacotes. Estes caracterizam-se por escolher o melhor caminho entre a origem e o destino no modo *unicast* com uso da topologia de rede;
- **Protocolos geográficos** - Usam informações de posicionamento geográfico como *GPS* em que as mensagens são transmitidas em formato *unicast* para o encaminhamento de pacotes entre origem e destino. Para essa funcionalidade, cada nodo deve prover dispositivos de geolocalização;
- **Protocolos baseados em Cluster** - Técnica de agrupar outros dispositivos próximos para formar um *cluster* ou grupo de nodos, que é gerenciado por um nodo mestre e toda troca de dados é gerenciada pelo nodo centralizador;
- **Broadcast** - São protocolos usados para compartilhar, disseminar e facilitar o processo de recebimento das informações sobre as condições de rodovias, avenidas em centros urbanos e usados também para mensagens prioritárias de emergência.

A escolha dos protocolos para esta pesquisa foi feita a partir da categoria de topologia em função das características das *VANETs* como alta mobilidade dos veículos em áreas urbanas e também com base no envio de mensagens *broadcast*.

Segundo [31], o protocolo *OLSR* é superior em desempenho comparado com o protocolo proativo *DSDV* em termos de latência e taxa de transferência. Conforme [23], o protocolo proativo

OLSR apresenta menor latência que o protocolo proativo *DSDV* e também menor latência que os protocolos reativos *AODV* e *Dynamic Source Routing (DSR)*.

Segundo [32], o protocolo reativo *AODV* apresentou um melhor desempenho em redes com maior mobilidade e um maior número de nodos. Este protocolo apresentou uma taxa de entrega de pacotes melhor e taxa de latência menor que o protocolo proativo *OLSR*. O autor, no entanto, conclui que o protocolo proativo *OLSR* é adequado para uso em transmissões de voz e vídeo para redes com poucos nodos e com baixa mobilidade. Mas infere também que o protocolo reativo *AODV* é mais adequado para redes com grande número de nodos e alta mobilidade.

[33] faz uma comparação dos protocolos reativos *AODV* e *DSR* e infere que podem ser obtidos resultados diferentes se os protocolos forem submetidos à parâmetros diferentes de simulação como número de nodos, tempo de parada e grau de mobilidade. Sendo assim, concluiu que para baixa densidade e baixa mobilidade o *DSR* obteve bons resultados, porém ao aumentar a densidade dos nodos e o grau de mobilidade, o protocolo *AODV* obteve resultados mais eficientes.

[34] fez uma análise do protocolo proativo *DSDV*, reativo *DSR* e híbrido *ZRP*. Em seus resultados, observou que o protocolo proativo é mais aderente a redes densas e requer maior largura de banda para constantemente transmitir suas tabelas de roteamento. Constatou também que o protocolo reativo mantém a taxa de entrega constante para redes densas. Mas averiguou também que o protocolo híbrido tem um desempenho superior na entrega de pacotes para redes densas, pois usa a junção das técnicas proativas e reativas. Concluiu que é necessário investigar o comportamento dos protocolos de roteamento para diversos cenários, modelos de mobilidade e densidades diferentes a fim de criar soluções eficientes para transporte de dados em redes *VANETs*.

[35] analisou o protocolo proativo *DSDV*, reativo *AODV* e híbrido *ZRP* em cenário com constantes alterações como variação do número de nodos, tempo de parada, velocidades e taxa de transmissão de dados. O experimento usou geração de tráfego com *CBR* e tamanho de pacote de 256 bytes *UDP* com o modelo de mobilidade *Random Way Point* e assim concluiu que o protocolo híbrido é sensível à geração de fluxo de dados e também com o aumento do número de conexões, o mesmo reduz a taxa de entrega e aumenta a latência de rede e sobrecarga de roteamento. Além disso, descreveu que a alteração no parâmetro *zone radius* do protocolo *ZRP* influencia na sobrecarga dos mecanismos de roteamento e pode aumentar a performance.

Segundo [36], os protocolos híbridos tem um potencial para prover alta escalabilidade de forma superior aos protocolos proativos e reativos. Isso é possível devido à redução do número de retransmissão de pacotes com uma estrutura que permite melhor performance de roteamento. O autor também relata que os protocolos reativos geram alto fluxo de inundação de rede, ou seja, transmissão de pacotes de controle para encontrar o caminho a ser percorrido até o destino e com isso estes não dispõem de alta escalabilidade. Entretanto, o protocolo híbrido *ZRP* tem a vantagem em manter alta conectividade de rede de forma proativa enquanto executa a descoberta de rotas externas de forma reativa. Com isso, o *ZRP* é considerado um protocolo que apresenta desempenho superior comparado com outros da categoria híbrida e demonstra potencial para pesquisas objetivando melhorias de performance.

O critério usado para a seleção dos protocolos deste trabalho foi baseada nos resultados obtidos nos diversos artigos pesquisados na revisão de literatura e com isso foram eleitos os melhores protocolos de cada categoria proativa, reativa e híbrida.

Os protocolos baseados em topologia levam em consideração a mudança frequente de localização em ambientes que possuem variação da densidade de veículos. Conforme [22], os protocolos de roteamento baseados em topologia são divididos em três categorias: Proativos, reativos e híbridos.

Os protocolos proativos mantêm uma tabela interna de roteamento com todas as informações atualizadas de todos os nodos da rede. A seguir, será apresentado o protocolo proativo que será utilizado nas simulações desta pesquisa.

2.3.1 Protocolo proativo - *OLSR*

O protocolo *OLSR* utiliza um mecanismo proativo de roteamento baseado em tabelas internas. Isso funciona com base no algoritmo de estado de link, ou seja, todas as conexões que este protocolo mantém com sua vizinhança está armazenado na tabela de roteamento de cada nodo.

Segundo [23], os protocolos proativos geram sobrecarga de roteamento se comparados aos protocolos reativos, pois necessitam manter suas rotas ativas mesmo não sendo necessárias e, para saber quais rotas estão ativas, são necessários *beacons* periódicos. Em caso de falha para encontrar a rota de destino, será enviado um pacote de erro para a origem e todas as informações de rotas são mantidas em sequência numérica para diferentes tabelas. O *OLSR* utiliza os seguintes mecanismos de roteamento: Mensagens de *Hello* para os vizinhos, pacotes de controle *Multi Point Relay* (MPR) que reduzem a troca de dados e conseqüentemente a sobrecarga de rede, sendo que este processo de seleção das rotas usa o algoritmo de menor distância.

O protocolo *OLSR* está descrito na *Requests for Comments (RFC) 3626* [24] e contempla os requisitos técnicos para o uso deste protocolo. É também descrito que o mecanismo chave deste protocolo é o *MPR* a fim de otimizar o processo de roteamento, desta forma, o *OLSR* pode ser utilizado para redes densas. A Figura 4 ilustra o processo de *broadcast* do protocolo *OLSR*.

É possível verificar na Figura 4(a), a inexistência de nodos de controle para o mecanismo de *broadcast* convencional, sendo que todos os nodos recebem mensagens de controle. Já na Figura 4(b), percebe-se que o mecanismo *MPR* age de forma a concentrar o envio de *broadcast* reduzindo desta forma o envio de pacotes de controle na rede.

Em contrapartida, os protocolos reativos agem somente sob demanda, ou seja, sempre que uma mensagem precisa ser enviada, primeiro acontece o processo de descoberta dos caminhos para encontrar a rede de destino. Uma característica destas redes é que elas reduzem a sobrecarga de rede e agem de forma reativa diferentemente dos protocolos proativos que necessitam constantemente atualizar suas tabelas internas de roteamento. O processo de descoberta das rotas acontece através do sistema de *broadcast* sobre a rede, com envio de pacotes até o destino e quando este é encontrado, o processo inverso de resposta é encaminhado do destinatário à origem que enviou o pacote. A seguir, será apresentado o protocolo reativo.

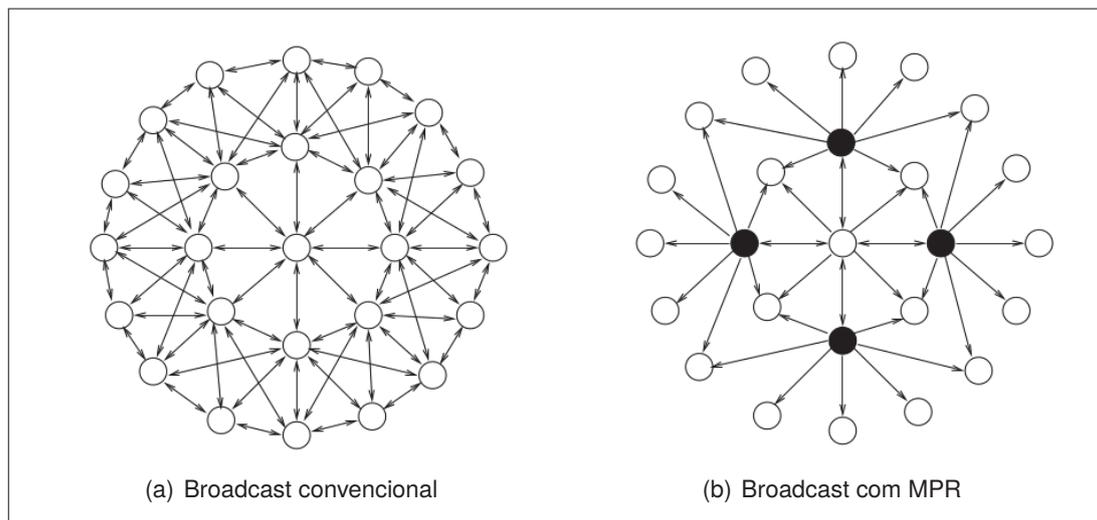


Figura 4. Formato de *broadcast* OLSR [4]

2.3.2 Protocolo reativo - AODV

O *AODV* é um protocolo de roteamento projetado para redes móveis *ad hoc*. Ele é capaz de executar roteamento em modo *unicast* e *multicast*. Utiliza um algoritmo que cria rotas entre os nodos apenas pelos emissores de pacotes. As rotas são mantidas desde que elas sejam necessárias para os nodos que originam a comunicação. Além disso, o *AODV* forma árvores que ligam os membros dos grupos por *multicast*. Estas árvores são compostas por membros dos grupos e os nodos necessários para conectá-los. O *AODV* utiliza números de sequência para garantir a eficiência de rotas e também utiliza escalas para um grande número de nodos móveis. [5]

O protocolo *AODV* é um dos mais importantes protocolos de roteamento para redes móveis *ad-hoc*. Ele age conforme às demandas de forma reativa, pois não visa manter todas as rotas o tempo todo. Caso existirem pacotes a enviar, o processo de descoberta das rotas é iniciado. Sendo assim, é possível reduzir significativamente a sobrecarga de transmissões desnecessárias. A principal vantagem deste protocolo é o uso de números sequenciais para garantir a atualização de rotas através da topologia. A desvantagem deste protocolo é o maior atraso no envio dos pacotes, pois se a rota do destino do pacote não for conhecida, o procedimento de descoberta das rotas deve ser realizado.

Conforme [5], o protocolo *AODV* consiste em três fases: a descoberta de rotas; a transmissão de dados; e a manutenção da rota.

Quando um nodo de origem envia pacotes para o nodo de destino e não existirem rotas em sua tabela de roteamento, a fase de descoberta inicia. Após essa etapa, a fase de transmissão dos dados é iniciada, e o nodo de origem transmite os pacotes para o nodo de destino usando a rota selecionada. Na fase de manutenção da rota, os pacotes são encaminhados a partir do nodo de origem para os seus vizinhos, e em seguida, são encaminhados aos nodos subsequentes. Finalmente, o pacote percorre grande parte da rede, e isso resulta na sobrecarga dos mecanismos de roteamento e consumo de largura da banda.

No experimento de [5], o protocolo de roteamento *AODV* foi segmentado em duas etapas de otimização para atingir os objetivos de melhoria de performance deste protocolo. Estes parâmetros de mobilidade dos veículos, como velocidade e direção, podem ser capturados por sensores a bordo do veículo, e estes parâmetros afetam a estabilidade da rota significativamente. As diferenças de velocidade entre dois veículos podem resultar em curto tempo de conexão entre eles, e com isso, a conectividade pode facilmente ser perdida. Veículos somente se comunicam dentro de um raio de alcance. Sendo assim, os veículos movem-se em velocidades relativamente diferentes e poderão oscilar a comunicação por mais tempo, resultando em instabilidade de conexão entre os nodos. A direção de movimento dos veículos também desempenha um fator importante na estabilidade do processo de roteamento. A seguir, a Figura 5 evidencia a forma de atuação do *AODV*.

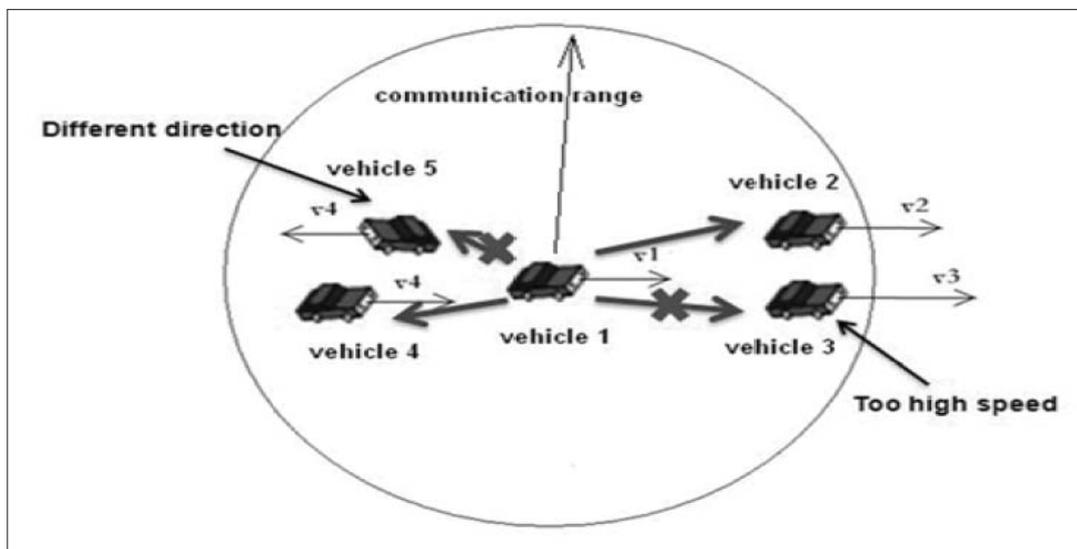


Figura 5. Exemplo de seleção de vizinhança com *AODV* [5].

A Figura 5 representa o exemplo em que veículo 1 tem quatro vizinhos: veículo 2, veículo 3, veículo 4 e veículo 5. Os veículos 2, 4 e 5 têm velocidades similares ao veículo 1 e o veículo 3 tem velocidade superior. Os veículos 2, 3 e 4 têm a mesma direção do veículo 1 e o veículo 5 tem direção oposta. Nessa situação, se o número máximo de vizinhos para a transmissão de pacotes for configurado para 2, ao calcular a taxa de conexão entre os vizinhos, o veículo 1 envia os pacotes para os vizinhos veículo 2 e o veículo 4 enquanto o veículo 3 e o veículo 5 não são selecionados, pois possuem velocidades mais elevadas e direções diferentes, resultando em taxas maior de conexões, e, com isso, resulta em conectividade instável.

Assim, entende-se que devido à redução da ocorrência de sobrecarga do protocolo *AODV* na fase de descoberta dos nodos, o processo fica restrito a um número limitado de nodos ao invés de toda a rede.

Os protocolos híbridos exploram ambos os recursos de forma proativa e reativa combinando as duas técnicas para obter melhores resultados de roteamento. A seguir, será descrito o protocolo híbrido.

2.3.3 Protocolo híbrido - ZRP

O ZRP age de forma proativa e reativa. Ele funciona de maneira proativa dentro do *zone radius*, ou seja, do raio delimitado na aplicação. Com isso é possível definir quantos saltos este protocolo vai agir de forma proativa e posteriormente de forma reativa. Conforme [6], o processo de descoberta das rotas fora do eixo proativo envolve alta taxa de latência e *broadcast* ineficiente. No entanto, o uso das tabelas de roteamento dentro do eixo proativo pode ultrapassar a disponibilidade de banda para manter as informações das tabelas de roteamento. Este mecanismo visa usar a melhor combinação das técnicas proativas e reativas.

A Figura 6 demonstra o mecanismo de *Zone radius* utilizado pelo protocolo ZRP.

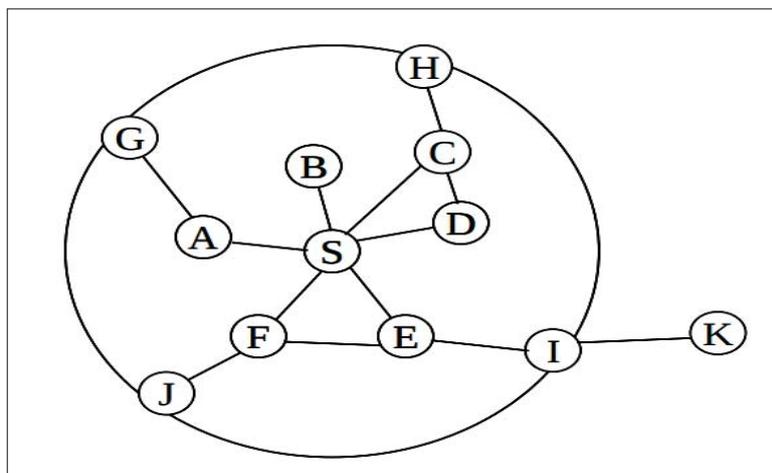


Figura 6. Exemplo do mecanismo *Zone Radius* ZRP [6].

Percebe-se que o tamanho da abrangência do raio é dado pelo número de saltos, neste caso $r=2$ a partir do nó S. Isso significa que o protocolo usa no máximo 2 saltos de forma proativa e fora deste âmbito, utiliza o mecanismo reativo. No exemplo acima, o nó S (origem) precisa transmitir um pacote de dados, o ZRP verifica o tamanho do *radius* e identifica que o raio deve ser usado no máximo para 2 saltos. Sendo assim, os nós G, H, I e J usarão o mecanismo proativo e caso o destino for externo ao raio, por exemplo, o nó K, o protocolo age de maneira reativa fora do raio estabelecido. Ao enviar dados para K, primeiramente o nó S envia requisições para os nós E e I de forma proativa sendo que S já mantém as rotas definidas em sua tabela interna e ao sair do nó I, entra em ação o mecanismo reativo para descoberta de rotas.

O protocolo ZRP segundo [6] utiliza um componente chamado *Intra-Zone Routing Protocol (IARP)* que age de forma semelhante ao protocolo *OLSR*, ou seja, periodicamente ocorre a atualização das tabelas de roteamento com os vizinhos da rede. Isso possibilita um mecanismo de roteamento rápido entre os nós dentro do raio de abrangência do ZRP. Para que esse processo aconteça de forma eficiente é necessário que o nível *Media Access Control (MAC)* envie constantemente mensagens (*beacons*) do tipo *HELLO* em intervalos regulares. Há também a vantagem de utilizar rotas redundantes, sendo possível encontrar vários caminhos para a entrega de mensagens. O protocolo ZRP mantém outro subprotocolo chamado *Inter-Zone Routing Protocol (IERP)*, que permite a comunicação fora da

zona do raio do *ZRP*. Sendo assim, este mecanismo somente é acionado se precisar efetuar a descoberta de novas rotas fora do raio *ZRP*. Mas quando o nodo externo do *ZRP* recebe o retorno *REPLY* desta requisição da descoberta de caminhos, a resposta chega até o nodo externo e este necessita reencaminhar internamente até o originário da mensagem.

O protocolo *ZRP* caracteriza-se pela redução de mensagens de *broadcast* utilizando simultaneamente os dois mecanismos de roteamento. Outra característica do protocolo é apresentar latência elevada para escolher o mecanismo de roteamento a ser utilizado, seja interno ou externo ao raio de abrangência.

Ao realizar a revisão de literatura, foram analisados vários artigos com testes entre os protocolos de roteamento para *VANETs*, entre eles destaca-se [25] que fez uma comparação entre os protocolos *OLSR*, *AODV* e *ZRP* com o objetivo de mensurar a taxa de *Jitter*. Segundo [14] essa taxa refere-se à variação nos tempos de chegada de pacotes. Essa flutuação pode, por exemplo, conter pacotes que demoram 20ms ou 30ms e nesse sentido ocorre irregularidade na entrega dos pacotes ao destinatário.

Ao final desta seção, pode-se observar as diversas formas de utilizar roteamento em *VANETs*, seja de maneira proativa, reativa ou híbrida. Mas, ao avançar nos elementos essenciais da presente pesquisa, verifica-se a necessidade do entendimento dos mecanismos de mobilidade dos nodos, ou seja, os diversos dispositivos presentes nas redes veiculares, utilizam formas específicas de locomoção, e, assim influenciam os resultados almejados para a simulação de *VANETs*.

2.4 MODELOS DE MOBILIDADE

O conhecimento sobre as características, a identificação e padrões de movimentações veiculares tornam-se importantes para propôr alternativas nos modelos de locomoção existentes, ou, até mesmo, criar novos modelos de mobilidade que se adaptem melhor ao representar uma *VANET* aplicada em simulador. Um modelo de mobilidade busca auxiliar na criação de cenários mais próximos da realidade possível ao utilizar características específicas usadas na locomoção de veículos. A seguir, são destacadas as principais características dos modelos de mobilidade.

Os padrões de mobilidade dos nodos de uma *VANET* informam ao simulador o comportamento de movimentação dos nodos, semelhantes aos dos movimentos de veículos em uma situação real. Nodos estáticos ou com baixa locomoção tendem a manter-se na mesma topologia e o roteamento entre estes nodos permanece estável. Em contrapartida, os nodos com alta mobilidade podem causar frequentes perdas de pacotes, sendo esta uma característica comum em deslocamentos de veículos em vias urbanas ou de autoestrada.

Existem vários modelos de mobilidade descritos na literatura e ligados à simulação de redes veiculares como por exemplo a pesquisa realizada por [27], descreve três modelos de mobilidade: O modelo *Stop Sign Model (SSM)*, o qual utiliza o tempo de parada em intersecções em tempos específicos, o modelo *Probabilistic Traffic Sign Model (PTSM)* que usa um modelo de probabilidades

em intersecções e também o modelo *Traffic Light Model (TLM)*, o qual utiliza a sinalização semafórica e coordenadas geográficas para controlar o posicionamento dos nodos.

Segundo [26], o modelo de mobilidade mais utilizado em simulações para protocolos de roteamento para redes *MANETs* é o modelo *Random Way Point (RWP)*, que utiliza a aleatoriedade para movimentar os nodos em qualquer direção e também assume-se que os nodos não terão obstáculos durante a simulação. No entanto, é essencial analisar outros modelos de mobilidade mais próximos da realidade deste estudo para um cenário urbano.

2.4.1 *Modelo Manhattan Grid*

O modelo *Manhattan Grid* por utilizar as características de um ambiente urbano e adequada à realidade deste experimento é utilizado nesta pesquisa e será descrito a seguir. Conforme [26], ao realizar seus experimentos, utilizou o modelo de mobilidade *Manhattan Grid* para analisar o protocolo reativo *AODV* e proativo *Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)* e concluiu que para o modelo de mobilidade *Manhattan Grid*, os modelos reativos tem um melhor desempenho.

Mas, [27] explica que um modelo de mobilidade influencia fortemente no padrão de mobilidade para *VANETs* como:

- **Padrão das ruas:** Os nodos são forçados a se movimentarem dentro de determinado espaço, e exercem a comunicação em rede. No entanto, há outras questões envolvidas como quantidade de ruas paralelas, vias simples ou via de mão dupla, raio de transmissão do sinal que podem interferir na comunicação.
- **Tamanho das quadras:** Tendo em vista que as quadras podem apresentar tamanhos diferentes, há possibilidade de influência deste fator na quantidade de intersecções, no aumento da densidade de nodos, na quantidade de paradas e também na variação de nodos vizinhos. Estes fatores podem degradar a qualidade da rede.
- **Mecanismos de controle de tráfego:** A forma mais utilizada são os semáforos, estes obrigam que motoristas parem seus veículos e aguardem determinado tempo para seguir seu destino. A redução da mobilidade implica em reduzir as taxas de transferência da rede.
- **Interdependência de nodos:** Cada veículo movimenta-se pelo padrão estabelecido, porém em determinadas situações, faz-se necessário reduzir a velocidade para manter a distância mínima do veículo que está à frente, e com isso, ocorre a redução da velocidade ou até mesmo troca de pista ao deparar-se com congestionamentos.
- **Média de velocidade:** A velocidade de cada veículo determina o quão rápido estes trocam de posição e com isso as taxas de transferência dos dados em redes podem ser reduzidas, as conexões podem ser perdidas, e os mecanismos de roteamento precisam identificar novas rotas.

Segundo [27], o modelo de mobilidade Manhattan utiliza uma área em formato de grades semelhantes a um ambiente urbano. Entretanto, os veículos que chegam até uma intersecção, tem uma probabilidade de 50% em seguir no mesmo sentido, 25% para convergir à esquerda e de 25% de convergir à direita. A Figura 7 evidencia o modelo de mobilidade Manhattan Grid e segundo [7], este modelo permite modelar simulações em áreas urbanas.

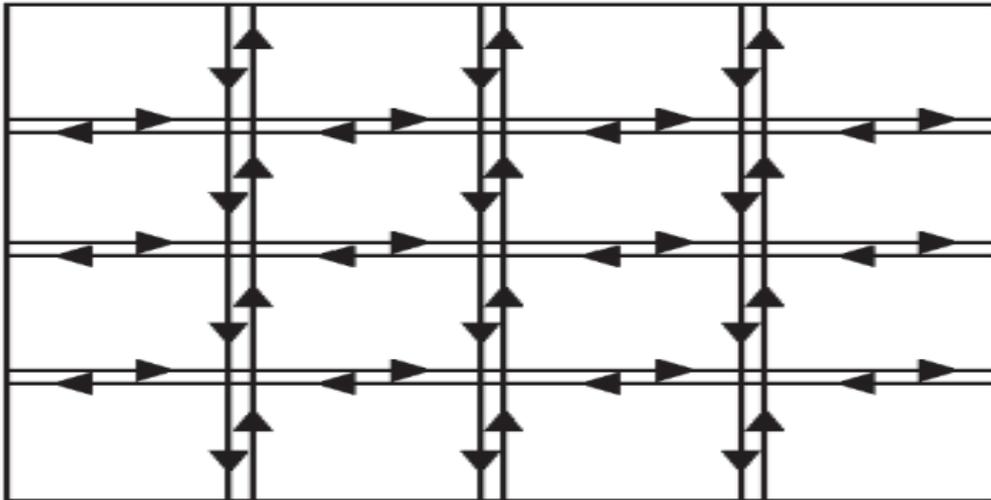


Figura 7. Modelo *Manhattan Grid* [7].

Sendo assim, a escolha de alteração da pista é probabilística, ou seja, baseada em índices pré-fixados. O deslocamento dos veículos depende da velocidade máxima permitida no trecho e a velocidade dos nodos é influenciada pelos nodos já presentes na via.

A presente pesquisa utiliza o modelo de mobilidade *Manhattan Grid* devido à sua semelhança com o cenário proposto utilizado no ambiente de simulação deste estudo. A área total de 1.000m é dividida em 7 vias perpendiculares e a área de 300m é dividida em 3 ruas paralelas do centro da cidade de Passo Fundo.

Ao final desta seção, observa-se a importância do modelo de mobilidade no deslocamento dos nodos em *VANETs*. Sendo assim, a correta escolha do padrão de mobilidade pode influenciar nos resultados obtidos na simulação. Além da mobilidade, será necessário utilizar também o simulador de redes para simular a movimentação dos nodos em conjunto com o modelo de mobilidade e dos protocolos definidos para o presente trabalho.

2.5 SIMULADORES E FERRAMENTAS

Os ambientes de pesquisa permitem testar o desenvolvimento de novas técnicas e facilitam a análise de cenários reais. Com isso, surgem os simuladores que permitem criar simulações, através de parâmetros reais e com isso possibilitam a geração de resultados para a comprovação das técnicas estudadas. Em seguida, são descritas as principais características dos simuladores.

Os simuladores de redes veiculares caracterizam-se pelo uso de ferramentas que integram mapas de trânsito para posterior análise, sem a necessidade de testes em campo para validação dos resultados. A manipulação de validações pode tornar-se inviável em determinadas situações, tais como aquisição e uso de equipamentos com custo elevado, e geralmente, não há tempo hábil para criação de uma estrutura eficiente de testes. Com isso, os simuladores tornam-se aliados a nível ferramental e com a função de criar ambientes o mais próximo possível àqueles encontrados na vida real.

Existem vários simuladores disponíveis no meio acadêmico e comercial. Conforme [28], existem diversas ferramentas de simulação para redes, as quais podem ser agrupadas diferentes categorias como: Simuladores de tráfego, simuladores de redes e software integrador para *VANETs*, os quais permitem associação através de entradas pré-definidas e troca constante de dados entre as aplicações.

O fluxo gerado pelos simuladores de tráfego permitem a utilização de dados reais do trânsito e de mobilidade, os quais podem ser usados como entrada em sistemas para simulação de redes. Assim, é possível calcular e criar componentes em redes *wireless* com detalhadas estruturas de todos os nodos que enviam e recebem pacotes, utilizam canais de tráfego e transmissão de sinais.

Segundo [8], simular uma *VANET* envolve dois diferentes aspectos: Primeiro, há questões relacionadas à comunicação entre os veículos. Simuladores de rede permitem detalhar comportamentos de comunicação através da análise específica dos protocolos para roteamento de rede. O segundo aspecto está relacionado com a mobilidade dos nodos da *VANET*. Assim, um modelo de mobilidade, associado à simuladores permite reproduzir ambientes complexos tanto em locais urbanos como em autoestradas. A Figura 8 apresenta a classificação dos simuladores.

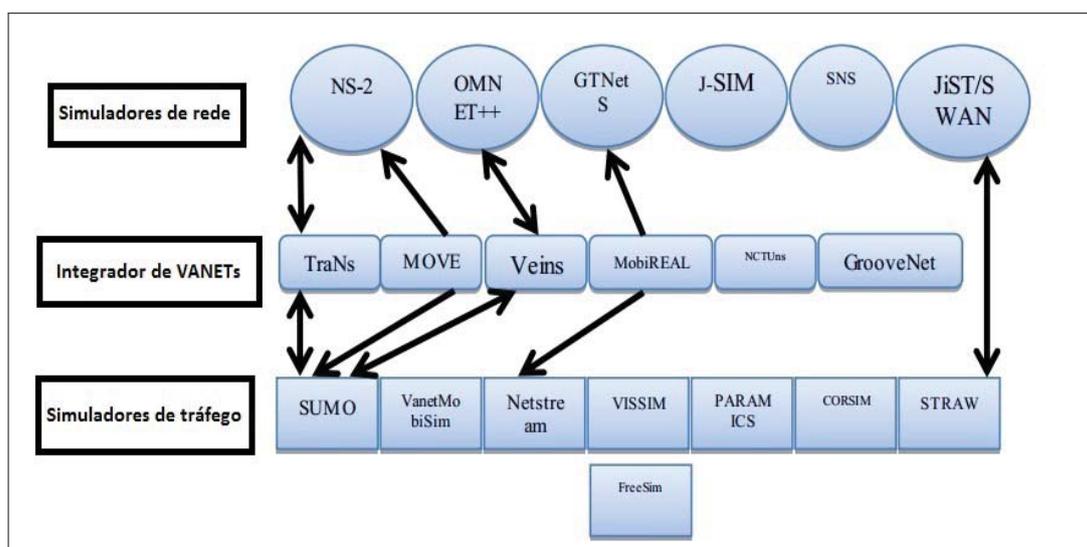


Figura 8. Classificação de simuladores veiculares. Adaptado de [8]

Como mostra a Figura 8, é possível categorizar os simuladores em: Tráfego, *VANETs* e redes. Cada ferramenta tem um objetivo específico de execução das simulações e algumas serão descritas a seguir.

O simulador de tráfego, por exemplo, *Simulation of Urban MObility (SUMO)* é uma suíte de simulação livre e aberta para simular o tráfego veicular. Ele é implementado em linguagem C++ e usa apenas as bibliotecas portáveis. Este simulador foi desenvolvido pelo Instituto do Sistema de Transporte no Centro Alemão Aeroespacial. A simulação é feita de forma microscópica, onde é possível identificar veículos, pedestres, transporte público, e também permite simular a temporização dos semáforos. Sua aplicabilidade é ampla e envolve a avaliação de algoritmos modernos e planos de sinalização semafórica, facilita a análise de emissão dos poluentes e permite analisar escolhas autônomas de rotas. O *SUMO* já foi usado na visita do papa na cidade de Colônia em 2005 e durante a copa do mundo de 2006. A ferramenta também já foi usada para simular o comportamento da telefonia baseada em *GSM* [29].

Os recursos do *SUMO* são ricos em ferramentas de apoio que cuidam de tarefas tais como encontrar rotas, visualizar intersecções, trocar de redes e calcular as emissões de CO_2 . O simulador pode ser ampliado com modelos personalizados e fornece várias interfaces para controle remoto da simulação.

Outro simulador existente é o *framework Vehicular in Network Simulation (VEINS)* [30], consiste em simulador de *VANETs* formado por um conjunto de modelos para simulação de redes veiculares de forma realística sem comprometer o desempenho dos testes. O *VEINS* faz a interface gráfica entre o *Omnet++* que é um simulador de rede discreto e baseado em eventos e o *SUMO*. Dessa forma, é possível rapidamente parametrizar e criar simulações de trânsito. Esta ferramenta permite acoplamento bidirecional e, com isso, facilita a simulação de redes *VANETs* e permite simular tráfego viário, incluindo modelagem de interações complexas entre diversos cenários.

A presente pesquisa visa executar as simulações a nível de rede para análise dos protocolos de roteamento baseados na topologia em *VANETs*. Em seguida, será apresentado o simulador de rede utilizado neste experimento.

2.5.1 **Simulador de rede NS2**

O simulador *NS2* é orientado a eventos e tem código aberto projetado especificamente para pesquisas em redes de comunicação. A versão 2 do NS surgiu em 1989, e ganhou continuamente enorme interesse da indústria, academia e governo.

O *NS2* contém módulos para simulação de vários componentes de rede, como roteamento, protocolos da camada de transporte, a nível de enlace, físico, aplicações e outros interesses. Para investigar o desempenho de redes, pesquisadores podem simplesmente usar uma linguagem de *script* para configurar os nodos das redes, e observar os resultados gerados pelo *NS*. [9]

A Figura 9 representa a arquitetura do *NS2*. Este simulador consiste no uso de duas linguagens: C++ e a ferramenta orientada a objetos *OTcl*. O resultado consiste num arquivo *Trace File* que pode ser visualizado através do recurso gráfico de animação chamado *Network Animator (NAM)* ou então do *XGraph* para apresentar resultados das simulações.

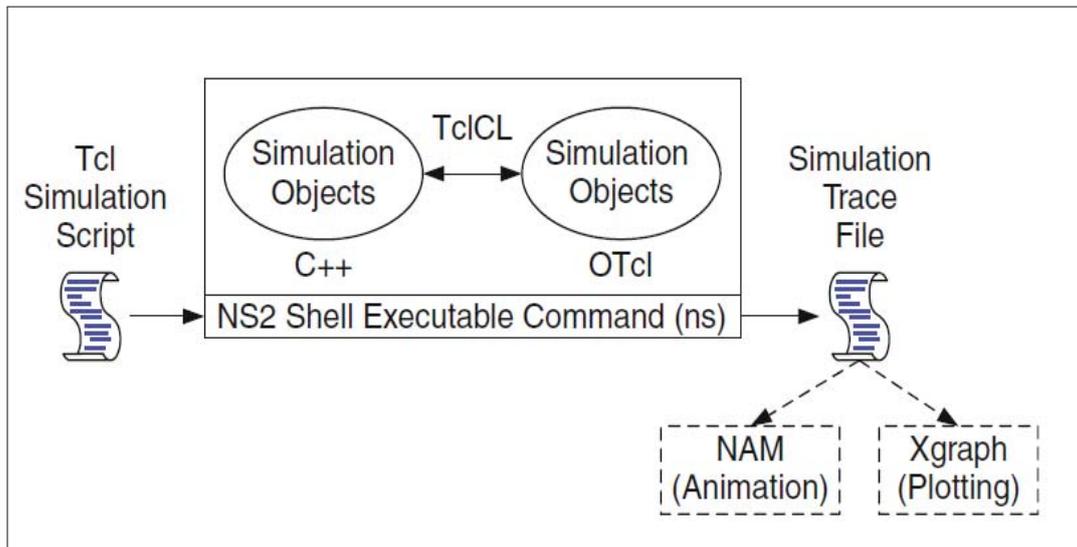


Figura 9. Arquitetura do NS2 [9].

O NS2 permite modificar e inserir novos protocolos para testes em simulações. Esta pesquisa propôs a investigação dos protocolos proativos, reativos e híbridos. O protocolo AODV é nativo ao NS2, os protocolos OLSR e ZRP foram adicionados como módulos de extensão ao simulador. Sendo assim, foram aplicadas atualizações ao módulo nativo do simulador a fim de disponibilizar os módulos dos protocolos propostos. Posteriormente foi realizada a compilação dos módulos no NS2 para obter a disponibilidade dos protocolos utilizados.

O simulador NS2 utiliza agentes que vinculados aos nodos são responsáveis para manipular os pacotes e a troca de dados na rede. Uma fonte de tráfego é associada a um determinado agente que pode ser TCP ou UDP. Segundo [9], os agentes UDP são formados por um número sequencial crescente e que posteriormente podem ser analisados pelos arquivos gerados sem comprometer o desempenho do simulador. Os agentes TCP procuram reproduzir o funcionamento deste protocolo como congestionamentos e controle de erros. Os agentes receptores são chamados de *sinks* e enviam as confirmações ACK para o emissor do pacote.

O simulador de redes NS2 foi escolhido para esta pesquisa devido à sua flexibilidade de uso, a uma ampla documentação encontrada na bibliografia e também por utilizar código aberto, permitindo a livre alteração e customização. A seguir, são descritos os procedimentos metodológicos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos visam a definir os critérios utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Utilizou-se para esta investigação, a pesquisa bibliográfica através da verificação do estado da arte sobre *VANETs*, protocolos de roteamento, modelos de mobilidade e simuladores. A pesquisa foi realizada de forma quantitativa por possibilitar a mensuração de diferentes parâmetros, dos protocolos analisados ao final das simulações. Por fim, a pesquisa experimental proporcionou a execução das simulações através das ferramentas descritas nas seções seguintes. Este capítulo está subdividido em: ambiente de simulação com descrição do cenário de testes, o modelo de mobilidade utilizado, os protocolos de roteamento, o intervalo de confiança, a densidade veicular e as métricas para análise de desempenho.

3.1 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

A base metodológica concentra-se na simulação dos protocolos de roteamento de *VANETs*, sendo utilizados os protocolos com ênfase na topologia, categorizados em proativo, reativo e híbrido. Para cada item, utilizou-se a combinação dos mecanismos de transporte para a geração do tráfego de rede e análises dos arquivos gerados. Inicialmente foi descrito o ambiente necessário para a execução da simulação proposta e em seguida, foram detalhados os recursos tecnológicos a fim de complementar o ambiente de pesquisa.

Logo, será descrito o ambiente computacional utilizado na execução das simulações e suas características.

3.1.1 Ambiente computacional

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado um equipamento *desktop* com as configurações descritas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Tabela da configuração equipamento usado nas simulações

Recurso	Capacidade
Processador	Intel (R) Core (TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz
Disco rígido	1TB
Memória	6GB DDR3
Versão NS2	2.34
Sistema operacional	Debian 8 - 64 bits
Kernel do sistema operacional	3.16.0-4-amd64

3.1.2 Cenário da simulação

Os protocolos de roteamento comportam-se de maneira diversa em cenários urbanos, auto-estrada e rural. Com isso, o cenário proposto foi desenvolvido no ambiente urbano e caracterizou-se por dois horários distintos do dia para delimitar as densidades veiculares, sendo o horário de menor fluxo caracterizado como baixa densidade e o de maior fluxo como alta densidade. As análises realizadas através das simulações ocorreram em função do impacto da densidade veicular, da carga da rede e do padrão de mobilidade no desempenho dos protocolos de roteamento pesquisados. Sendo assim, é muito importante compreender a relação entre a densidade veicular e o ambiente de aplicação e análise do desempenho dos protocolos desta pesquisa.

O ambiente urbano é largamente utilizado em simulações ao se tratar de redes veiculares. Para demonstrar o cenário deste trabalho foi utilizado o mapa originado do *Google Maps*¹ de uma região central da cidade de Passo Fundo a qual representa o cenário urbano para esta pesquisa. Este trecho do mapa engloba 1.000m x 300m e abrange a principal avenida do município: Av. Brasil, a qual se estende de leste a oeste e tem dois sentidos de circulação. Também foram acrescentadas duas ruas paralelas: Rua Paissandú e Rua Moron, sendo que o trecho destas ruas compreende 300m. Neste cenário estão inclusos sete cruzamentos entre as ruas: Fagundes dos Reis, Capitão Eleutério, Bento Gonçalves, General Neto, Coronel Chicuta, Sete de Setembro, Quinze de Novembro, Teixeira Soares e Marcelino Ramos.

Neste trecho existem cinco semáforos os quais exigem parada dos veículos. O simulador *NS2* não prevê o uso de semáforos, porém, considera-se na simulação tempo de parada de 10s parametrizáveis para o ambiente pesquisado. No entanto, o tempo de pausa apenas bloqueia o deslocamento do nodo, mas a transmissão de dados continua sendo realizada.

Não foram considerados neste cenário as construções físicas de prédios e interferências de sinal para transmissão de dados neste ambiente. A Figura 10 apresenta o cenário definido para este estudo com a delimitação da área utilizada como parâmetro no simulador *NS2*.

A seguir, será descrito o modelo de mobilidade utilizado nesta simulação, bem como as configurações e ferramentas utilizadas.

3.1.3 Modelo de mobilidade

Para avaliar o desempenho dos protocolos no cenário urbano foram analisadas as condições de mobilidade dos veículos na simulação. No entanto, apenas estas condições não são parâmetros suficientes para a realização da simulação, sendo assim, utilizou-se o modelo de mobilidade *Manhattan Grid* [7], utilizado em ambientes urbanos e podendo ser aplicado a este experimento conforme a realidade do município da cidade de Passo Fundo.

¹<https://www.google.com.br/maps>

3.1.4 Ferramentas de apoio

Para esta pesquisa foram utilizadas várias ferramentas de apoio. Seguem abaixo maiores detalhes sobre as mesmas:

Geração do tráfego de rede: Para que o NS2 utilize o tráfego para a transmissão de dados é necessário parametrizar através da aplicação *cbrgen* nativa do NS2 e utilizada para gerar o tráfego de rede entre os nodos da simulação conforme exemplo da linha abaixo:

```
$ ns cbrgen.tcl -type cbr -nn 51 -seed 1.0 -mc 2 -rate 4.0 >> trafego-udp.tcl
```

Neste exemplo foram gerados os tráfegos *Constant Bit Rate (CBR)* para 51 nodos, com semente aleatória de índice 1.0 usada para determinar o tempo de início da transmissão, -mc 2 determinando o número de conexões e com taxa de 4.0 para entrega de pacotes e armazenado no arquivo *trafego-udp.tcl* para posteriormente utilização no NS2.

Geração de cálculos: Para efetuar os cálculos através dos arquivos *traces* gerados na simulação se faz necessário uma linguagem de *scripts*. Nesta pesquisa, foi utilizada a linguagem de programação de *scripts AWK*² e também a linguagem *Python* para esta tarefa. Posteriormente foram armazenados os resultados dos cálculos e totalizadores em arquivos-texto para análises.

Automação da simulação: A fim de melhorar a iteração das rodadas de simulação foram criadas rotinas de automação com *Shell Script Linux*. Inicialmente foi criado uma interface com o usuário para execução das movimentações, tráfego, simulações e gráficos conforme Apêndice A. E com isso foi possível criar um arquivo de parametrização, o qual permite efetuar alterações e criar outras possibilidades de simulação. Pode ser observado no Apêndice B, o código em *Shell script* para geração da mobilidade dos nodos e no Apêndice C o código para gerar o tráfego entre os nodos. Também é possível verificar nos Apêndices D e E a utilização de parâmetros facilmente alteráveis para executar a simulação no NS e as iterações das 30 rodadas. O sistema operacional *Linux* foi utilizado devido à compatibilidade nativa com as outras ferramentas, incluindo o simulador NS2, ferramentas de apoio para análise dos dados gerados na simulação como linguagem *Python* e *AWK* para a varredura nos arquivos de *traces* para geração dos cálculos e o aplicativo *Microsoft Excel* para geração dos gráficos.

A seguir, serão descritos os parâmetros do simulador de redes NS2 com todas as características presentes neste estudo.

3.1.5 Parâmetros do simulador

Para a execução da simulação no NS2 foram usados os parâmetros descritos na Tabela 2. Conforme demonstrado anteriormente, foram usados o gerador de movimentos dos nodos *BonnMotion* e do gerador de tráfego *cbrgen.tcl* presentes na versão usada do simulador. O protocolo *AODV*

²linguagem de programação baseado em scripts

foi utilizado na versão nativa, no entanto o protocolo *OLSR* e *ZRP* foram inseridos e compilados separadamente no simulador.

Tabela 2. Tabela de parâmetros do simulador NS2

Característica	Parâmetro
Tipo de canal	Channel/WirelessChannel
Propagação de sinal	Propagation/TwoRayGround
Tipo de interface de rede	Phy/WirelessPhy
Alcance da antena	250 metros
Tipo de endereço MAC	Mac/802_11
Interface de fila	Queue/DropTail/PriQueue
Tamanho da fila na interface	256 Bytes
Modelo de antena	Antenna/OmniAntenna
Quantidade de nodos	6 e 51
Velocidade de deslocamento	11m/s
Tempo de simulação	60s
Tempo de pausa	10s
Tipo de tráfego	CBR e FTP
Tamanho do pacote de dados	512 Bytes
Intervalo de envio de pacotes	0.25s
Tamanho da janela do Agente TCP	32K
Protocolos de roteamento	OLSR/AODV/ZRP

A seguir, são descritos os protocolos usados nesta pesquisa.

3.2 PROTOCOLOS SIMULADOS

As simulações realizadas visam a comparar o desempenho dos protocolos de roteamento para redes veiculares sendo utilizado um protocolo de cada categoria: proativo (*OLSR*), reativo (*AODV*) e híbrido (*ZRP*). O principal objetivo é mensurar a taxa de latência, a capacidade de entrega de pacotes, a taxa de sobrecarga de roteamento e também a taxa de transferência oferecida por cada protocolo analisado. Os três protocolos foram submetidos às mesmas situações em todas as simulações. A mobilidade das redes *ad hoc* pode influenciar no desempenho entre os protocolos e as aplicações que fazem uso deles.

Sendo assim, após pesquisas bibliográficas sobre os diversos protocolos de roteamento para *VANETs* e constatação dos resultados obtidos na literatura, conforme apresentado na seção 2.3, optou-se pela escolha dos protocolos com melhor performance em cada categoria e posteriormente usados nesta pesquisa: proativo *OLSR*, reativo *AODV* e híbrido *ZRP*. Para que os resultados das simulações fossem considerados confiáveis, utilizou-se o Intervalo de Confiança descrito a seguir.

3.3 INTERVALO DE CONFIANÇA

O Intervalo de Confiança (IC) define o valor máximo e mínimo de um conjunto de dados de um experimento com a faixa em percentual para adequação dos resultados dentro da faixa estabelecida. Este mecanismo é muito importante para aproximar um resultado à sua confiabilidade, pois quanto maior o tamanho da amostra, mais preciso deverá ser o resultado [10]. A fórmula do cálculo do IC é descrito na Equação 1 e utiliza o desvio padrão das médias das amostras. O tamanho da amostra é representado pela letra n e x_i é o valor da amostra utilizada no momento do cálculo.

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

Para a presente pesquisa, foi estabelecido um nível de confiança de 95% para os resultados do cálculo do IC. Em função desse parâmetro foi utilizado o índice de 1,96. Na Equação 2, \bar{x} é a média aritmética da amostra, S é o desvio padrão e n é o tamanho da amostra.

$$IC = \bar{x} (+-) 1.96x \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Conforme [10], a Tabela 3 abaixo mostra outros valores em função do nível de confiança que podem ser utilizados para o cálculo do IC.

Tabela 3. Tabela do índice do intervalo de confiança [10]

IC	Índice
80%	1,282
90%	1,645
95%	1,960
98%	2,326
99%	2,576

A escolha do IC permite obter valores das simulações dentro de uma faixa de confiança, a qual possibilita inferências coerentes sobre os resultados. O cálculo do intervalo de confiança foi realizado para todas as métricas estabelecidas e para todos os protocolos simulados. Para a realização do cálculo do intervalo de confiança foi utilizado um *Script* na linguagem *Python* e os parâmetros de saída foram a quantidade de conexões dos nodos, média obtida, valor mínimo e máximo com o IC.

Em seguida, será apresentada a importância da análise da densidade veicular aplicada às simulações de rede.

3.4 DENSIDADE VEICULAR

Ao investigar os protocolos de roteamento nos cenários propostos, observa-se que várias características influenciam no desempenho dos protocolos de roteamento, objeto desta pesquisa. Uma

destas características é a densidade veicular, a qual considera o número de veículos disponíveis para troca de dados na rede veicular.

Conforme [37], define-se como densidade veicular, o número de veículos por unidade de comprimento da via. Pode ser medida pela relação da Equação 3.

$$D_t = \frac{F_{mt}}{V_{mt}} \quad (3)$$

onde:

D_t = densidade (veículos/km)

F_{mt} = fluxo médio no trecho em (veículos/h)

V_{mt} = velocidade média no trecho (km/h)

Sendo assim, é possível relacionar os dados de fluxo no local do experimento obtidos na Secretaria de Segurança do Município de Passo Fundo. Através da pesquisa de campo conforme solicitação via protocolo à Prefeitura Municipal de Passo Fundo Anexo B foi possível obter o fluxo diário separados por horário de controladores eletrônicos de velocidade - Anexo C. Os números obtidos do local foram de 6 veículos por minuto e definidos como baixa densidade e de 51 veículos por minuto definidos como alta densidade usando a Equação 3. A velocidade utilizada na simulação é de 11 m/s e equivale à velocidade de 40km/h conforme trecho usado e evidenciado no Anexo C, sendo assim é possível determinar a densidade veicular.

A densidade veicular pode influenciar outras características como, por exemplo, a conectividade e a mobilidade dos veículos. Ao incrementar significativamente o número de veículos em determinada via, a velocidade daquele trecho é reduzida, e em caso de situações como acidentes ou congestionamentos, o fluxo veicular pode parar, inclusive. Com isso, os veículos parados irão perder dinamicidade na troca de dados, pois não estão se movimentando e com isso os enlaces tornam-se mais estáveis. Utilizando o mesmo raciocínio, se a densidade veicular é reduzida, os veículos tendem a se movimentar mais rápido pelas ruas, aumentando assim a dinamicidade da rede e os enlaces tornam-se mais instáveis.

Em seguida, descreve-se as métricas usadas para posterior análise das simulações.

3.5 MÉTRICAS DA SIMULAÇÃO

Conforme [38], existem várias métricas para avaliação de desempenho para protocolos de roteamento. Para esta pesquisa, considerou-se a escolha de alguns parâmetros para análise de redes com o objetivo de mensurar o seu desempenho. As métricas escolhidas para análise dos protocolos de roteamento e baseadas nas referências bibliográficas foram:

Latência: É o tempo total gasto por um quadro desde a origem até o destino. Para medir a latência, um quadro que contém uma marca de tempo chamada (*timestamp*), a qual é transmitida pela rede. A marca de tempo é analisada quando o quadro é recebido. Esta métrica inclui atraso

médio fim a fim e indica quanto tempo levou a transferência de um quadro da origem até o destino e possíveis atrasos causados pela descoberta de rotas, filas de interface, retransmissão e atrasos a nível de enlace *MAC*, e de propagação e de transferência. Este índice é calculado em milissegundos (ms), correspondendo ao tempo de ida (*request*) e volta (*reply*) do pacote. Uma latência muito alta prejudica aplicações que usem recursos como voz, por exemplo.

Taxa de Entrega: Segundo [40] apud[41], a taxa de entrega de pacotes a um determinado destino é medida pela geração do tráfego pelo emissor da mensagem e recebimento do destinatário medida em percentual. A taxa de entrega corresponde à razão do número de pacotes recebidos pelo número de pacotes gerados.

A taxa de entrega de pacotes analisa o número de pacotes que foram transmitidos pelo emissor e que chegam até o seu destino. Por exemplo, se forem transmitidos 100 pacotes e somente 90 são recebidos no destino, a taxa de entrega é o percentual de pacotes entregues, neste caso 90%.

Taxa de Sobrecarga: Esta métrica refere-se ao número de pacotes de controle gerados pelos nodos durante a simulação e usados para a camada de rede, especificamente para fazer o roteamento. O aumento destes pacotes pode sobrecarregar o mecanismo de roteamento e para mensurar esta taxa, usa-se o total de pacotes de roteamento enviados para descoberta e manutenção de rotas para transmissão de dados.

Taxa de Transferência: Geralmente o conceito de desempenho de uma rede é associado ao seu Throughput, isto é, a quantidade máxima de dados que podem ser transmitidos num meio físico em determinado intervalo de tempo. Esta métrica é calculada em *bits* por segundo (bps) e compreende o número de bits recebidos em determinado intervalo de tempo.

Para realizar os experimentos foram utilizados os seguintes protocolos: Proativo (*OLSR*), Reativo (*AODV*) e Híbrido (*ZRP*). A nível de transporte foram usados a geração de tráfego TCP e UDP. Após a descrição dos procedimentos metodológicos, serão apresentados no próximo capítulo os resultados, análises e discussões.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresentará e discutirá os resultados obtidos após a caracterização do ambiente de simulação, dos parâmetros utilizados, e dos protocolos de roteamento avaliados, com o objetivo de responder ao problema da pesquisa, ou seja, qual o protocolo de roteamento é mais adequado em *VANETs* para o ambiente urbano do Município de Passo Fundo por meio da variação de densidade veicular?

4.1 RESULTADOS

Os resultados a seguir foram gerados com a execução de 30 iterações de simulações para cada protocolo incluindo o proativo (*OLSR*), reativo (*AODV*) e híbrido (*ZRP*). A Figura 11 evidencia o total de 360 arquivos gerados contendo os resultados das simulação, sendo 120 arquivos para cada protocolo sendo 60 arquivos para o protocolo *TCP* e 60 arquivos para *UDP* e destes 30 arquivos para baixa densidade e 30 arquivos para alta densidade.

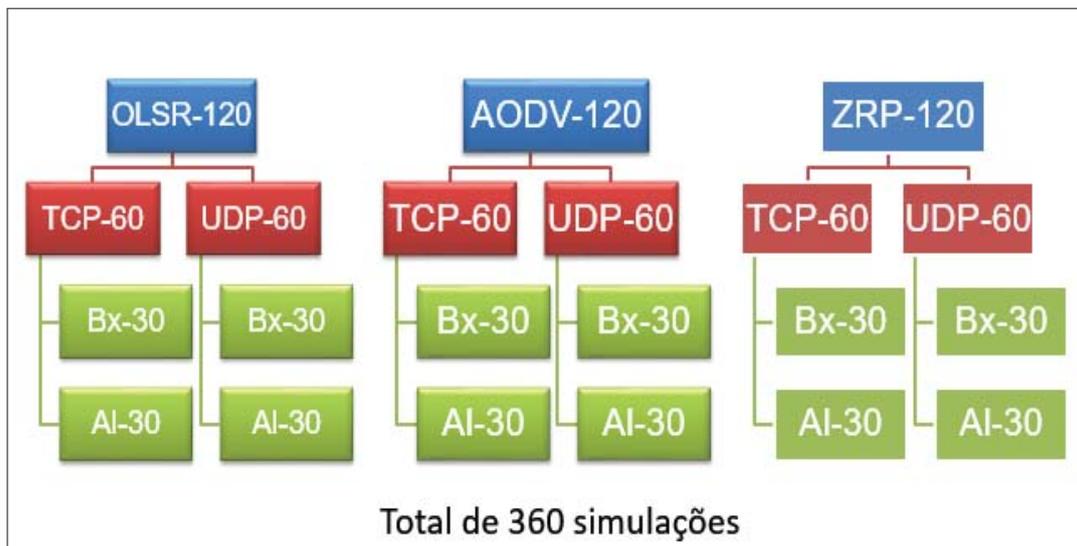


Figura 11. Simulações executadas no estudo.

O tempo de simulação para o protocolo *OLSR* foi de 24 horas e o tamanho total dos arquivos gerados foi de 2,5GB, para o protocolo *AODV* o tempo de simulação foi de 10 minutos e o tamanho dos arquivos gerados foi de 363MB e para o protocolo *ZRP* o tempo de simulação foi de 1 hora e 30 minutos e o tamanho total dos arquivos gerados foi de 4.2GB. Percebeu-se que o protocolo proativo teve a maior duração do tempo de simulação para geração dos arquivos. Esse resultado ocorreu devido à forma de atuação do protocolo, na qual o nodo envia constantemente mensagens do tipo *HELLO* para toda a rede vinculada. Por outro lado, o protocolo reativo *AODV* teve o menor tempo de simulação e também a menor quantidade de pacotes enviados. Isso ocorre pois o protocolo utiliza somente o roteamento necessário para descoberta e manutenção das rotas existentes. E por fim, o

protocolo *ZRP* teve um tempo curto de simulação, mas a quantidade de dados gerados foi grande devido à junção das técnicas proativas e reativas.

A principal condição da simulação é a alteração da densidade veicular a ser realizada em dois horários distintos. Esta densidade influencia diretamente o comportamento da *VANET*, alterando a dinamicidade da rede, a mobilidade e conectividade dos nodos. É possível observar na realidade, a alteração da densidade veicular por aspectos como horários de congestionamentos, acidentes, dentre outros fatores. Isto é justificável como parâmetro desta simulação para análise de desempenho dos protocolos. Para atingir este objetivo, variou-se a quantidade de veículos da simulação, ou seja, seis veículos para baixa densidade e 51 veículos para alta. Logo, serão apresentados os resultados e análises das simulações através das métricas definidas na seção 3.5.

4.1.1 Latência

A latência observada neste experimento juntamente com o IC para esta métrica com uso do protocolo *TCP* e *UDP* para todos os protocolos é evidenciada na Tabela 4 e nas Figuras 12, 13, 14 e 15 a seguir.

Tabela 4. Taxa de latência - Dados gerados pelo *NS2*

		OLSR	AODV	ZRP
Baixa densidade	TCP	114,73ms	174,73ms	1.010,32ms
Alta densidade	TCP	563,51ms	501,54ms	978,67ms
Baixa densidade	UDP	8,76ms	1.574,73ms	1.681,31ms
Alta densidade	UDP	6,88ms	107,84ms	1.770,78ms

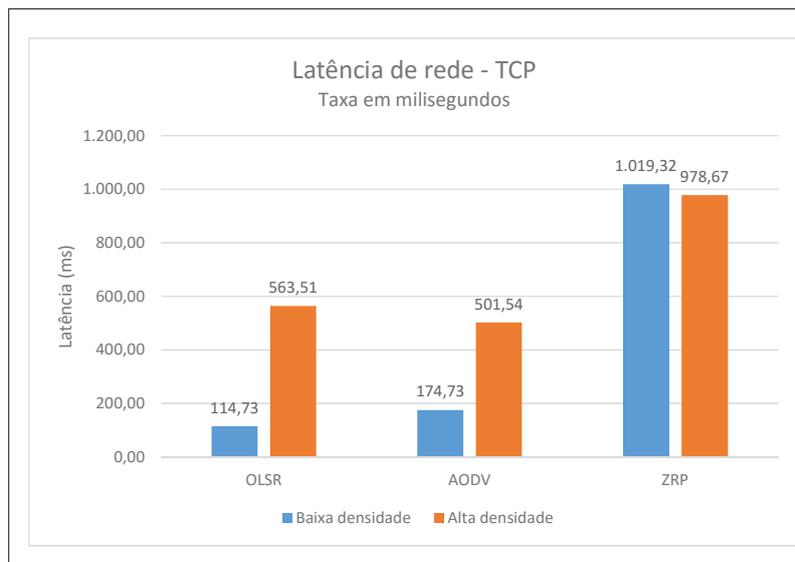


Figura 12. Latência TCP

Com base nos dados apresentados, percebeu-se que o tempo de entrega em *ms* aumentou em função do aumento dos nodos. Na comparação dos três protocolos, o *ZRP* foi o que teve o pior

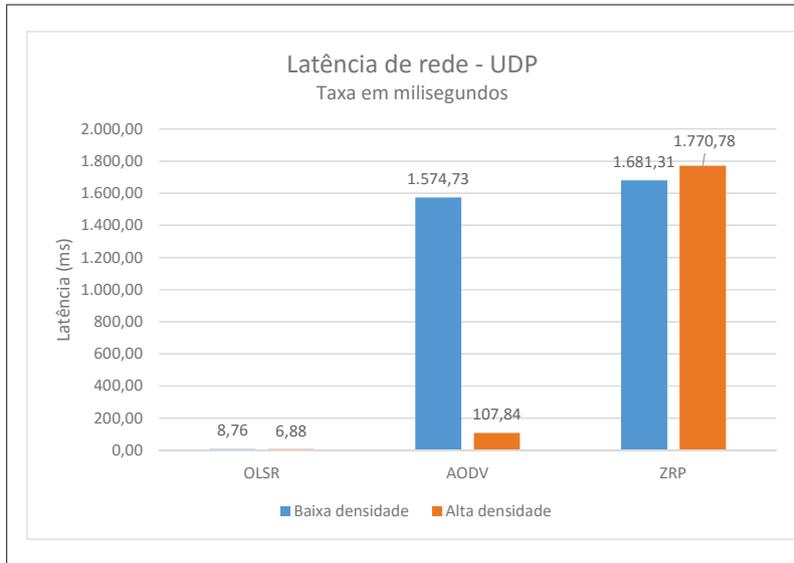


Figura 13. Latência UDP

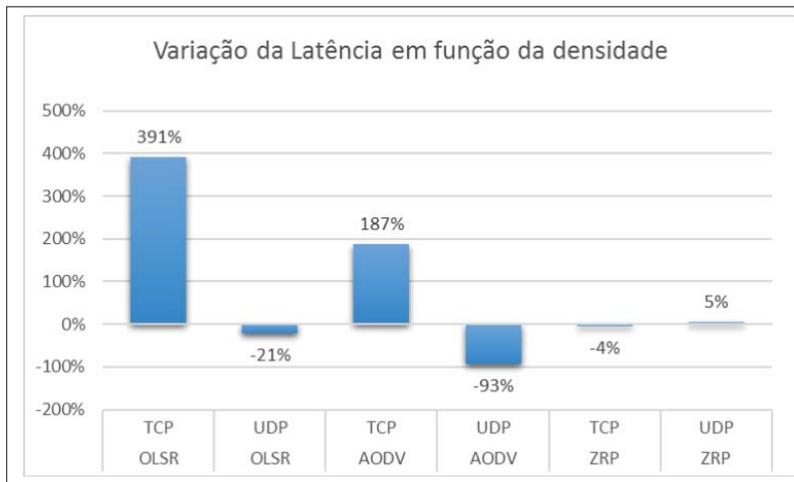


Figura 14. Variação da Latência em função da densidade

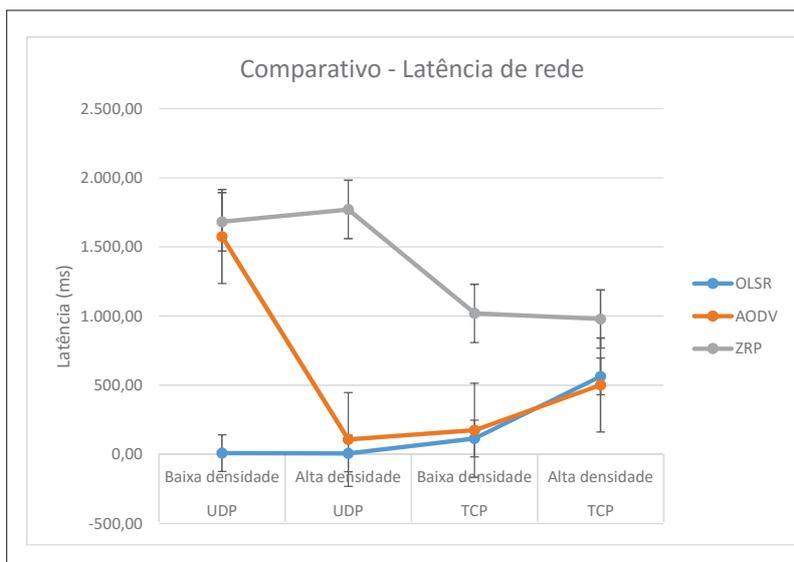


Figura 15. Comparativo da latência em função das densidades

desempenho pois obteve a maior taxa de latência para o protocolo *TCP* e *UDP*. A forma de atuação do *ZRP* é mista e utiliza o algoritmo *Shortest Path*, ou seja, a rota de menor custo age de forma proativa com base em suas tabelas, mas também utiliza a técnica de roteamento reativo com base na descoberta de rotas externas conforme a necessidade. Esse processo gera um tempo maior para o protocolo adaptar-se ao mecanismo de roteamento e conseqüentemente necessita maior tempo para entrega dos pacotes.

O protocolo *OLSR* obteve a menor latência para os protocolos *TCP* e *UDP*. Isso ocorre devido à natureza deste protocolo agir de forma proativa e manter suas rotas em cada nodo, sendo assim, o tempo de envio de um pacote utilizando este mecanismo de roteamento é mais rápido. Observa-se também que a nível de *UDP* o protocolo é muito eficiente tendo a menor taxa de latência pois não há necessidade de confirmações ou garantia de entrega, permitindo maior fluidez de pacotes de roteamento.

O protocolo *AODV* obteve uma latência intermediária entre os outros protocolos pesquisados. Porém percebe-se que a nível de *TCP* a latência de rede cresce ao aumentar a densidade da rede e a nível *UDP* a latência é reduzida consideravelmente. O mecanismo de roteamento reativo necessita fazer o processo de descoberta e manutenção de rotas, o que ocasiona maior tempo para a transmissão de pacotes na rede.

Conforme [39], caso o protocolo reativo ou proativo trabalhem de forma isolada seus tempos de latência podem aumentar com a variação de densidade, porém tendem a diminuir caso as técnicas de roteamento forem integradas.

O protocolo *OLSR* apresenta a maior oscilação com o aumento da densidade de nodos, e o protocolo *ZRP* apresenta a menor oscilação a nível *TCP* e a nível *UDP*. Este resultado demonstra que inicialmente a latência do protocolo *AODV* é alto e, em seguida, cai, pois o protocolo já obteve contato com os nodos na área do experimento e, dessa forma, não precisou fazer inundação de rede para descobrir rotas a fim de transmitir pacotes para os nodos de destino. O protocolo *ZRP* mesmo com a oscilação menor em função da densidade, obteve o maior atraso de entrega para este quesito conforme ilustrado na Figura 15 ao utilizar 51 nodos nas simulações.

Outro indicativo possível deste experimento conforme a Tabela 4 em função da latência é que o protocolo *OLSR* já dispõem de suas rotas quando necessário, sendo assim, não irá inundar a rede com pacotes de controle para fazer descoberta de rotas. No entanto, o protocolo *AODV* age de forma contrária e por isso a latência é maior, e necessitam maior quantidade de pacotes de controle para descoberta de rotas. O protocolo *ZRP* apresenta o pior resultado em função da união das técnicas de descoberta de rotas, e, assim, constata-se alta latência pois age localmente como um protocolo proativo e externamente como um protocolo reativo.

4.1.2 Taxa de Entrega

Entende-se que quanto maior a taxa de entrega, mais eficiente torna-se o protocolo, pois não será necessário o reenvio de um mesmo pacote, nem uma espera maior por parte do destinatário.

A taxa de entrega observada neste experimento juntamente com o IC para esta métrica com uso do protocolo *TCP* e *UDP* para todos os protocolos pode ser verificada na Tabela 5 e nas Figuras 16, 17, 18 e 19.

Tabela 5. Taxa de entrega - Dados gerados pelo NS2

		OLSR	AODV	ZRP
Baixa densidade	TCP	79,98%	89,02%	65,95%
Alta densidade	TCP	97,03%	97,45%	95,42%
Baixa densidade	UDP	33,89%	43,22%	30,95%
Alta densidade	UDP	89,27%	90,48%	76,80%

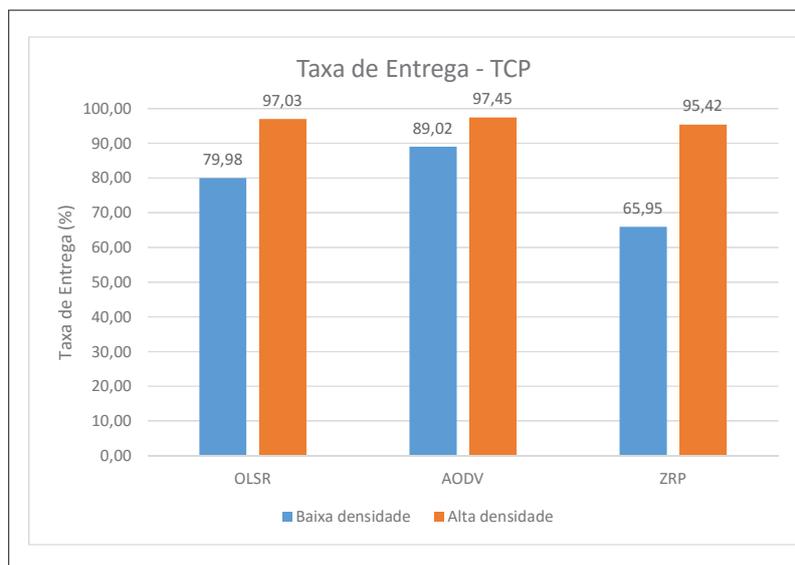


Figura 16. Taxa de entrega TCP

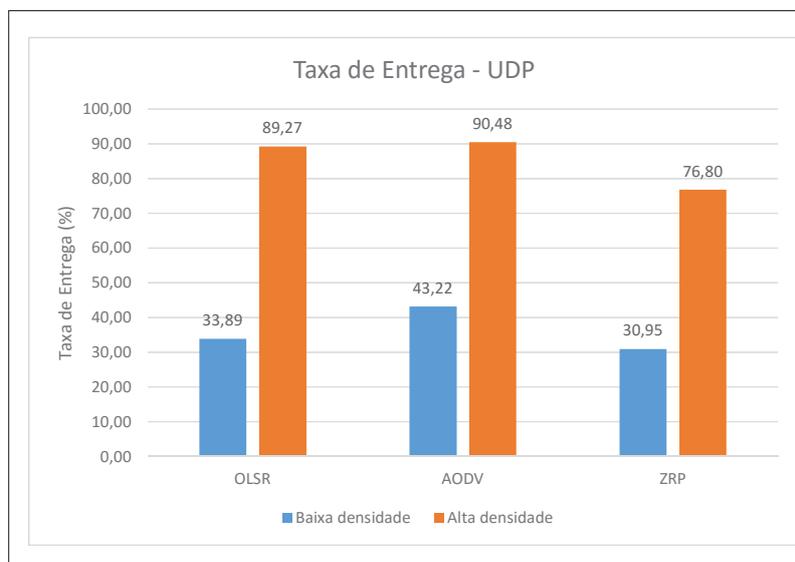


Figura 17. Taxa de entrega UDP

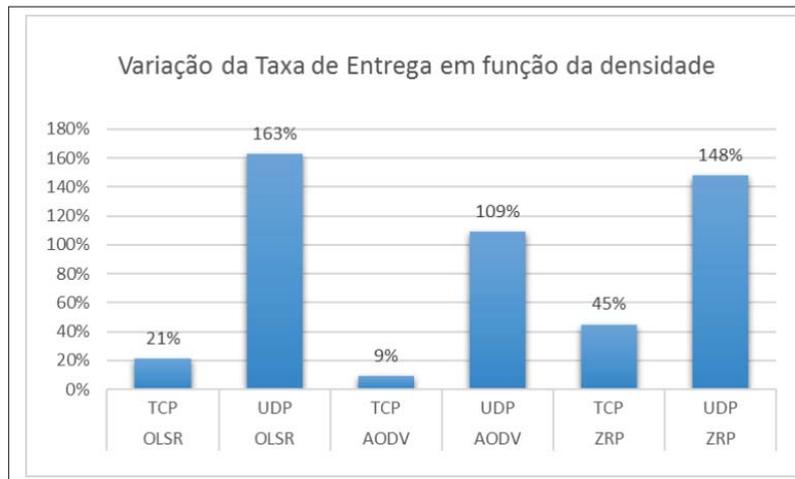


Figura 18. Variação da Taxa de entrega em função da densidade

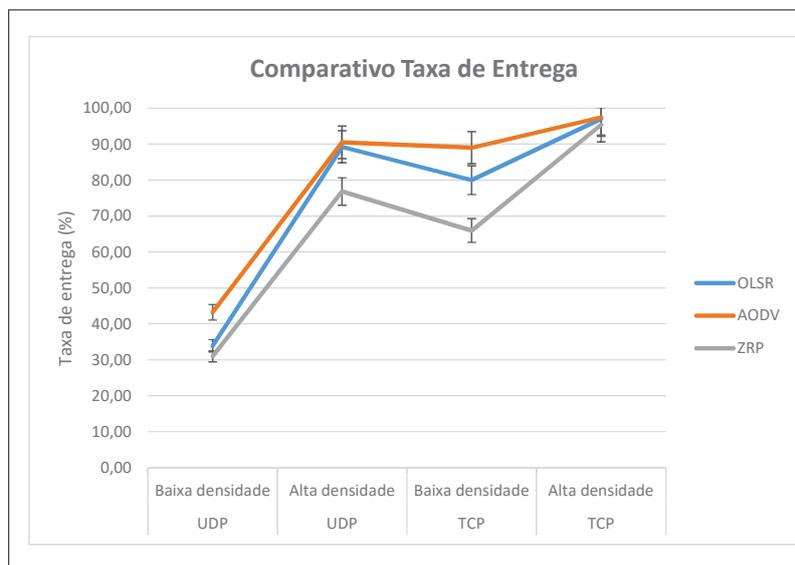


Figura 19. Comparativo da taxa de entrega em função das densidades

Os dados apresentados evidenciam que a taxa de entrega de pacotes para o protocolo *TCP* é maior no protocolo reativo (*AODV*) com 89,02% para baixa densidade, seguido do protocolo *OLSR* com 79,98% de entrega e por último o protocolo *ZRP* com 65,95%. Para a alta densidade, o protocolo com melhor taxa de entrega foi o *AODV* tanto para *TCP* como *UDP*. Pode-se perceber também que ao aumentar a densidade de nodos, o protocolo *OLSR* aumentou a entrega em 21%, o protocolo *AODV* aumentou em 9% e o protocolo *ZRP* aumentou em 45% a entrega de pacotes *TCP*.

Para a análise do protocolo *UDP* a taxa de entrega de pacotes é maior para o protocolo *AODV* com 43,22%, seguido do protocolo *OLSR* com 33,89% e por fim o protocolo *ZRP* com 30,95% de entrega. Ao alterar a densidade dos nodos para o protocolo *UDP*, percebeu-se aumento de 163% na taxa de entrega para o protocolo *OLSR*, e de 109% para o protocolo *AODV* e de 148% para o protocolo *ZRP*.

Dessa forma, relacionando *TCP* e *UDP*, percebeu-se que a entrega para o protocolo *UDP* é menor do que *TCP*, no entanto, a relação de entrega entre os protocolos permanece a mesma.

Conforme [42], o protocolo *TCP* com geração de tráfego *File Transfer Protocol (FTP)* é mais confiável e apresenta melhores resultados em comparações quando há variação no número de nodos. Percebe-se assim que a taxa de entrega é maior em todos os protocolos em função do aumento da densidade de nodos.

Conforme [40] apud[41], o protocolo *AODV* é mais eficiente em redes com maior carga e maior mobilidade dos nodos. A medida que a carga aumenta, com o aumento dos nodos, o protocolo revela sua melhor performance.

Sendo assim, redes com maior densidade de nodos possibilitam após o processo de descoberta e manutenção de rotas agilidade na transferência de dados. Isso pode ser observado que em todos os protocolos houve aumento da taxa de entrega com o aumento da densidade de nodos.

Como o protocolo *AODV* é reativo, ele não tem um grande impacto com o aumento de nodos para a taxa de entrega, já que a sua taxa já é alta e suas tabelas são dinâmicas, não sendo necessário atualização constante e desnecessária. Porém, o protocolo *OLSR* que é proativo, se ele tiver maior densidade, terá mais nodos e conseqüentemente, terá uma tabela de roteamento com mais opções podendo reduzir o tempo para entrega de pacotes. Já o protocolo *ZRP* com menor taxa de entrega usa o roteamento proativo dentro do raio estabelecido pelo zoneamento do protocolo e reativo fora deste raio e conseqüentemente dificulta a entrega de pacotes devido ao tempo de escolha do mecanismo de roteamento a ser utilizado na rede.

4.1.3 Sobrecarga de roteamento

Esta métrica calcula a sobrecarga da rede quando um protocolo necessita fazer a descoberta das rotas para atingir determinados destinos, e também permite avaliar o protocolo em redes congestionadas pelo tempo gasto nas interfaces de rede, para transmitir pacotes de dados. Sendo assim, quanto menor a sobrecarga executada no processo de roteamento, mais eficiente, torna-se o protocolo. Conforme [23], a sobrecarga de roteamento é medida pelo número total de pacotes de roteamento transmitidos para conseguir entregar um pacote ao destino. O cálculo é feito pela divisão do número total de pacotes de controle enviados pelo número total de pacotes recebidos.

A Taxa de Sobrecarga observada neste experimento juntamente com o IC para esta métrica com uso do protocolo *TCP* e *UDP* para todos os protocolos pode ser evidenciada na Tabela 6 e nas Figuras 20, 21, 22 e 23.

Tabela 6. Taxa de sobrecarga de roteamento - Dados gerados pelo NS2

		OLSR	AODV	ZRP
Baixa densidade	TCP	68,51%	0,32%	2.757,89%
Alta densidade	TCP	0,30%	0,17%	16,53%
Baixa densidade	UDP	59,57%	2,88%	894,14%
Alta densidade	UDP	1,27%	0,56%	20,63%

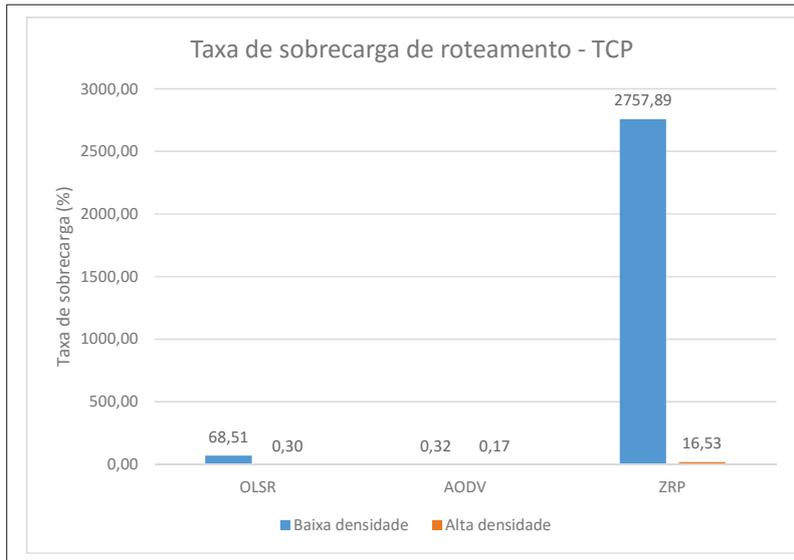


Figura 20. Taxa de sobrecarga TCP

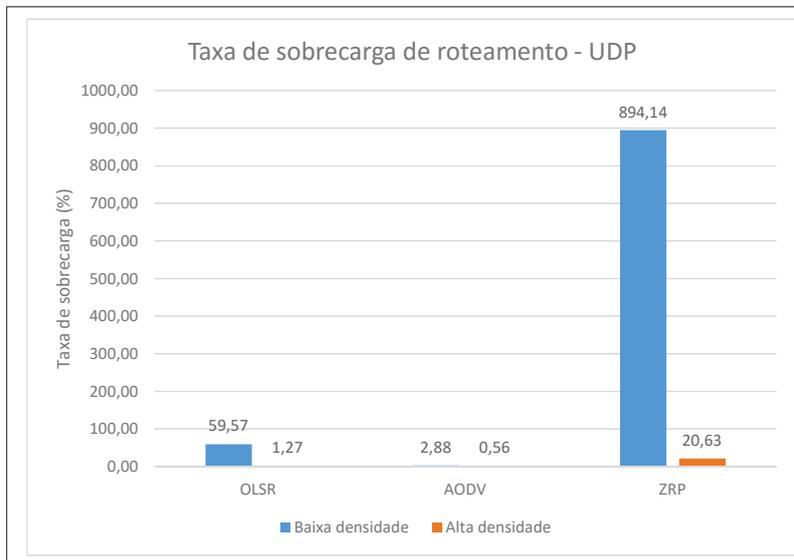


Figura 21. Taxa de sobrecarga UDP

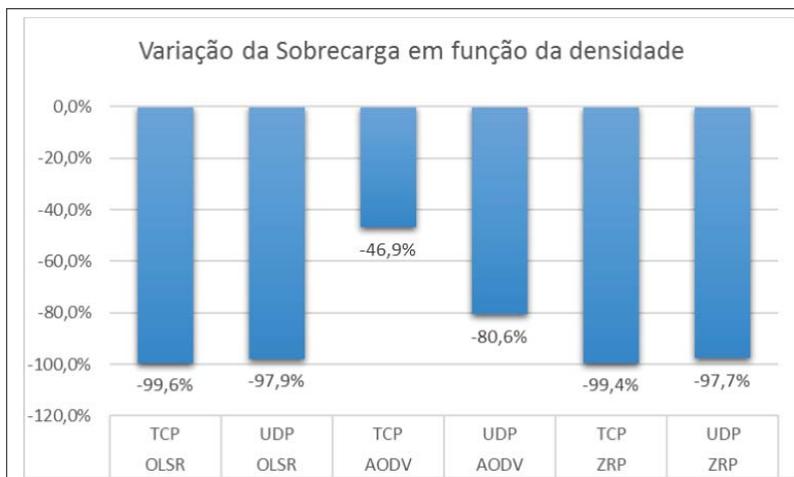


Figura 22. Variação da sobrecarga em função da densidade

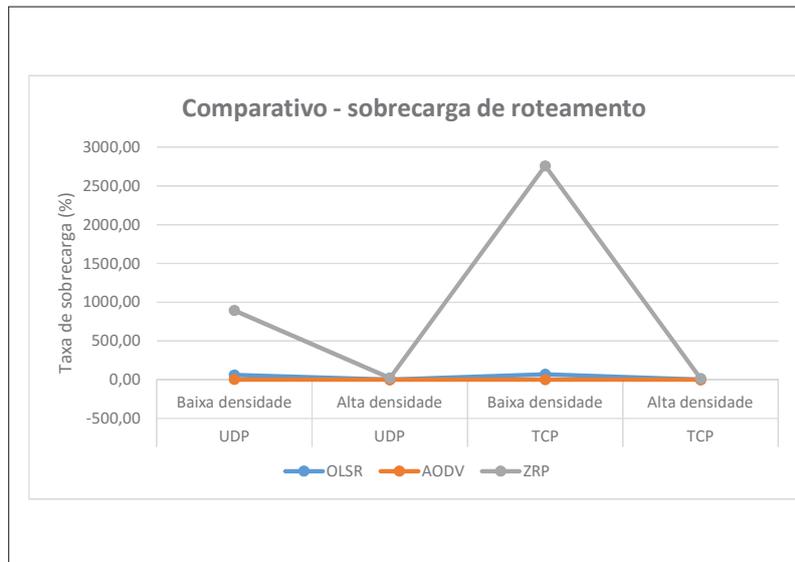


Figura 23. Comparativo da sobrecarga de roteamento em função das densidades

Os dados apresentados evidenciam que a sobrecarga de roteamento é maior no protocolo híbrido do que nos protocolos reativos e proativos, porém, este índice diminui com o aumento dos nodos na rede. Segundo [34], os protocolos reativos são mais eficientes do que os protocolos proativos no quesito sobrecarga, pois não necessitam reprocessar tabelas locais quando necessário. Também comprovou-se que ao aumentar a quantidade de nodos, necessariamente haverá redução de sobrecarga pois terão mais nodos participando da troca de pacotes na rede e o número de pacotes de controle reduz.

Conforme [43], o protocolo *ZRP* foi planejado para que o controle de sobrecarga fosse menor que os protocolos proativos e também que reduzisse o tempo de latência para descoberta de novas rotas para os protocolos reativos. No entanto, percebe-se na Tabela 6 que o índice de sobrecarga deste protocolo é altíssimo com baixa densidade e reduz com o aumento de nodos na rede. O indício deste fenômeno é que devido ao número baixo de nodos na rede e tanto para o transporte por *TCP* ou *UDP* o mecanismo de roteamento é exigido para comunicação com os nodos em baixa densidade.

Segundo [44], os protocolos reativos mantêm somente as rotas necessárias e com isso a sobrecarga é baixa. Ao contrário, os protocolos proativos mantêm suas rotas internamente e precisam usar a rede caso não tenham a entrada na tabela de rotas do nodo de destino e o protocolo *ZRP* por utilizar e manter rotas dentro do raio de abrangência de forma proativa e reativa no exterior do raio, o número de pacotes de controle necessários para o processo de descoberta de rotas é maior.

Ao analisar o protocolo de transporte *TCP*, o protocolo *OLSR* apresenta sobrecarga de roteamento de 68,51%, ou seja, a cada 100 pacotes recebidos, 6.851 pacotes de controle usados para o processo de roteamento e sendo assim, o alto índice demonstra que o protocolo proativo tem alto grau de comprometimento em processar a descoberta de rotas. Entretanto, o protocolo *AODV*, apresenta sobrecarga de 0,32% e isto significa que a cada 100 pacotes, 32 são pacotes de controle. Por fim, o protocolo *ZRP* apresenta sobrecarga de 2.757,89% e sendo assim, o protocolo híbrido tem a maior sobrecarga de roteamento pois além de usar o mecanismo proativo dentro do eixo predefinido, ocorre

a falta de nodos em baixa densidade para transmissão de dados. Ao aumentar o número de nodos na simulação, observou-se que o protocolo *OLSR* reduziu a sobrecarga em 99,57% e o protocolo *AODV* reduziu a sobrecarga em 46,87% e por fim o protocolo *ZRP* reduziu a sobrecarga em 99,41%. Sendo assim, é perceptível que a sobrecarga é reduzida para todos os protocolos quando a densidade é aumentada e justifica-se assim que uma quantidade baixa de nodos prejudica a comunicação veicular.

Para o protocolo de transporte *UDP*, a taxa de sobrecarga do protocolo *OLSR* foi de 59,57% e para o *AODV* foi de 2,88% e para o *ZRP* foi de 894,14%. Ao aumentar o número de nodos na simulação o protocolo *OLSR* reduziu a sobrecarga em 97,87% e o protocolo *AODV* reduziu a sobrecarga em 80,55% e o protocolo *ZRP* reduziu a sobrecarga em 97,7%.

O protocolo *OLSR* precisa continuamente usar o enlace para receber atualizações de topologia e suas tabelas de roteamento. No entanto, o protocolo *AODV* é mais eficiente pois percebe-se pouca variação na sobrecarga de roteamento mesmo com o aumento da densidade veicular os índices de sobrecarga no mecanismo deste roteamento não sofrem impacto. Neste quesito o protocolo *ZRP* tem a maior sobrecarga, sendo que também necessita atualizar suas tabelas de forma proativa dentro do raio de transmissão, e para fora deste raio por trabalhar de forma reativa não sobrecarrega seu sistema de roteamento. É possível observar em todos os protocolos a queda brusca da sobrecarga com o aumento da densidade veicular, isso pode prescrever que tendo mais nodos, a rede fica mais estável e possibilita a troca de dados entre os nodos de forma mais transparente.

4.1.4 Taxa de transferência

Esta métrica permite analisar a taxa de transferência de pacotes ao executar a simulação. Ela refere-se à largura de banda que o dispositivo irá consumir com a transmissão de pacotes. Conforme [45], a taxa de transferência é definida pelo número médio de pacotes entregues no destino por unidade de tempo. Este parâmetro é calculado pelo número de bits entregues por segundo.

A taxa de transferência observada neste experimento juntamente com o IC para esta métrica com uso do protocolo *TCP* e *UDP* para todos os protocolos pode ser evidenciada na Tabela 7 e nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

Tabela 7. Taxa de transferência - Dados gerados pelo NS2

		OLSR	AODV	ZRP
Baixa densidade	TCP	244 Kbps	262 Kbps	163 Kbps
Alta densidade	TCP	492 Kbps	552 Kbps	165 Kbps
Baixa densidade	UDP	9 Kbps	12 Kbps	10 Kbps
Alta densidade	UDP	103 Kbps	105 Kbps	89 Kbps

Os dados apresentados evidenciam que a taxa de transferência para esta simulação é maior nos protocolos reativos e proativos e menor com o protocolo híbrido. Para o tráfego *TCP*, o protocolo *OLSR* apresentou uma taxa de transferência para o envio de pacotes de 492 Kbps e o protocolo *AODV* de 552 Kbps e o protocolo *ZRP* de 165 Kbps. Com esta característica o protocolo *AODV* apresentou

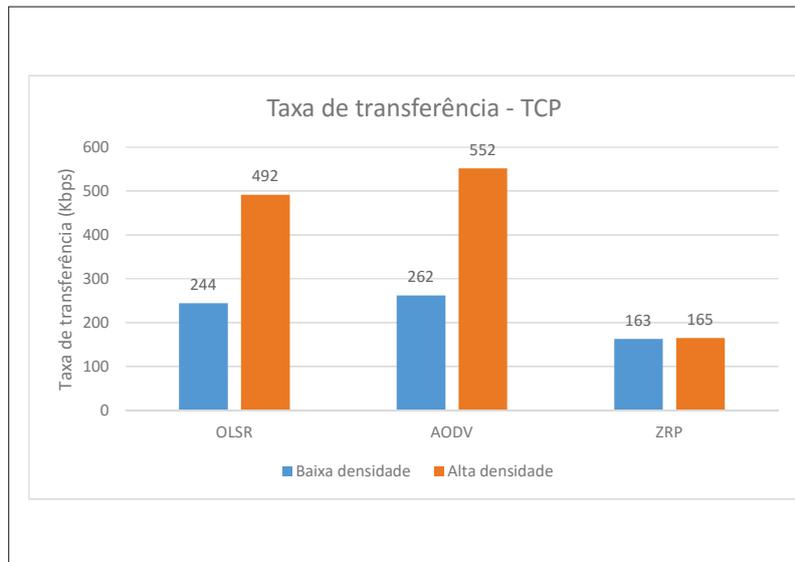


Figura 24. Taxa de transferência TCP

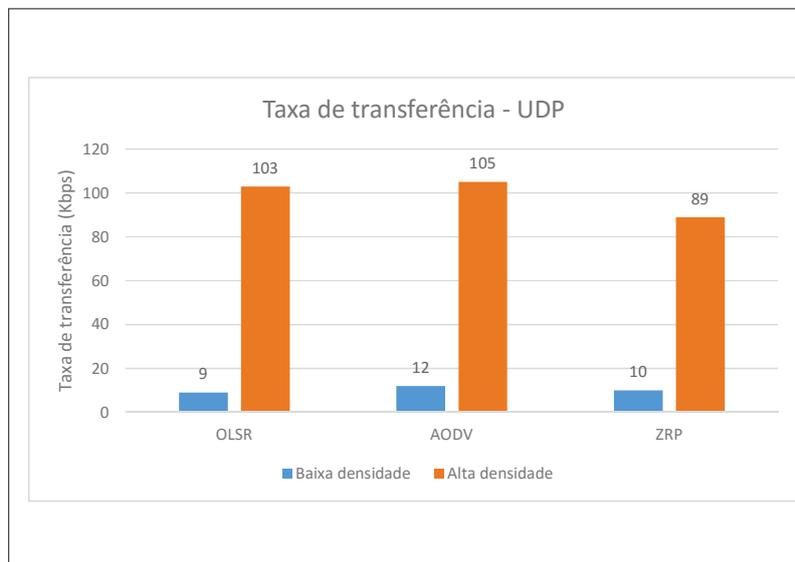


Figura 25. Taxa de transferência UDP

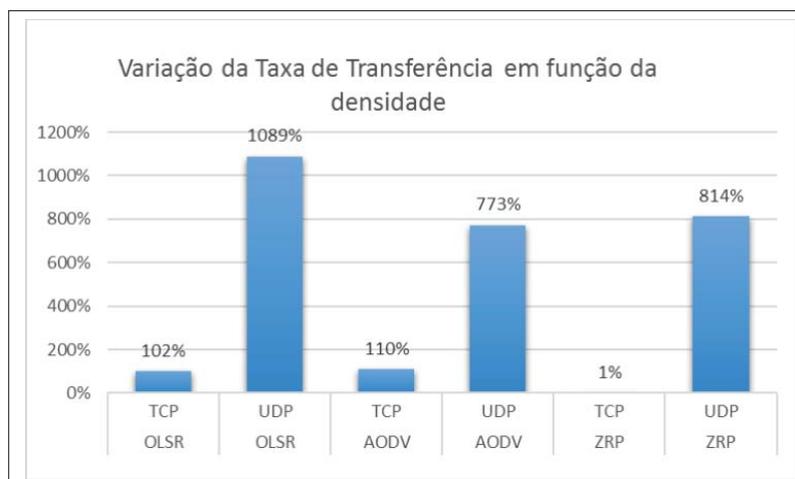


Figura 26. Variação da Taxa de transferência em função da densidade

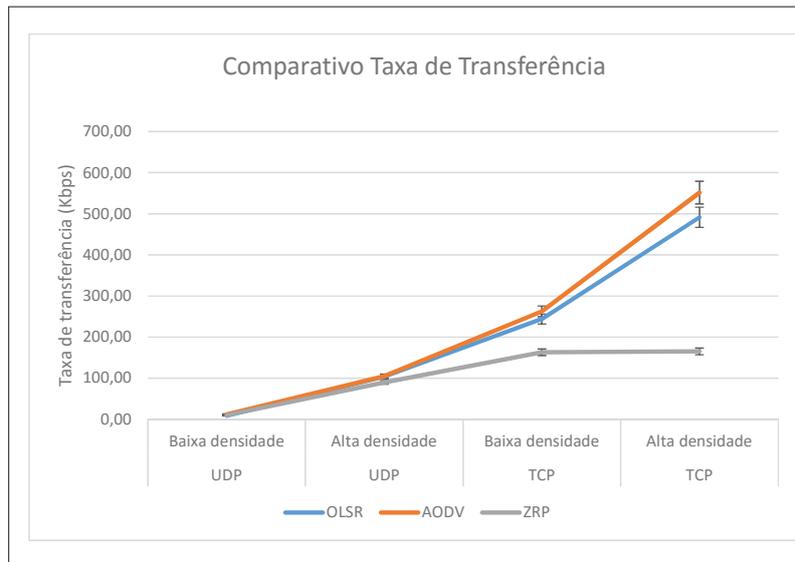


Figura 27. Comparativo da taxa de transferência em função das densidades

maior taxa de transferência do que *OLSR* e *ZRP*. Ao aumentar a densidade dos nodos no experimento, observa-se que o protocolo *OLSR* aumentou a taxa de transferência em 102%, o protocolo *AODV* aumentou em 110% e o protocolo *ZRP* aumentou em 1%.

Com o tráfego *UDP*, o protocolo *OLSR* apresentou taxa de transferência de 103 Kbps para envio de pacotes e o protocolo *AODV* apresentou 105 Kbps e o protocolo *ZRP* apresentou 89 Kbps. A relação de aumento da taxa de transferência com o aumento de nodos foi de 1089% para o protocolo *OLSR* e de 773% para o protocolo *AODV* e de 814% para o protocolo *ZRP*. Pode-se observar neste caso que os valores dos experimentos para o protocolo *UDP* foram muito semelhantes, mas os resultados para o protocolo *TCP* apresentaram uma taxa de transferência superior com o protocolo reativo.

Conforme [46], o protocolo *TCP* tem desempenho superior no quesito taxa de transferência pois as conexões após serem realizadas tornam-se estáveis.

Segundo [47], cada requisição *TCP* necessita ter uma confirmação de recebimento dos pacotes chamada de *Acknowledgment (ACK)*, no entanto torna-se inviável o mecanismo aguardar a confirmação antes de enviar o pacote seguinte, especialmente em redes de longa distância e alta latência de rede. Sendo assim, o protocolo *TCP* utiliza o mecanismo de *Sliding Window* que consiste em analisar o comportamento da rede e usufruir ao máximo do estado atual da rede. Nesse sentido, a taxa de transferência do *TCP* é aumentada e se for detectada perda de pacotes, a taxa de transferência é reduzida. Por este motivo, percebe-se que na Tabela 7 a taxa de transferência *TCP* é maior que a taxa de transferência *UDP*. Conforme [11], outro indício deste fenômeno em que o *TCP* transmite a uma vazão maior que o *UDP* é que o *TCP* utiliza o mecanismo de controle de congestionamento, e com isso, permite com um tempo mínimo de *Round Trip Time (RTT)*, identificar um segmento que está congestionado e assim, alterar o tamanho da janela de transmissões.

Observa-se que a taxa de transferência de todos os protocolos é acrescida com o aumento de densidade. Esse comportamento resulta em melhor conectividade em redes *VANETs*. Com baixa

densidade existem poucos vizinhos para que as transmissões ocorram. Com isso em muitos casos, inviabiliza-se o processo de roteamento até o destino. Com densidades mais altas de tráfego, as taxas de transferência aumentam significativamente.

Tabela comparativa:

A Tabela 8 apresenta um resumo comparativo dos testes realizados nesta pesquisa. O principal objetivo é sintetizar os resultados obtidos na execução das simulações. Em cada uma das linhas da tabela, encontra-se marcado o melhor resultado de cada uma das métricas a nível de protocolo simulado e também em função da variação das densidades veiculares.

Tabela 8. Tabela comparativa - Dados gerados após simulação

Métrica	Densidade	Nº nodos	OLSR	AODV	ZRP
Latência TCP	Baixa densidade	6 nodos	114,73ms	174,73ms	1.019,32ms
	Alta densidade	51 nodos	563,51ms	501,54ms	978,67ms
	Variação		391%	187%	-4%
Latência UDP	Baixa densidade	6 nodos	8,76ms	1.574,73ms	1.681,31ms
	Alta densidade	51 nodos	6,81ms	107,84ms	1.770,78ms
	Variação		-21%	-93%	5%
Taxa de entrega TCP	Baixa densidade	6 nodos	79,98%	89,02%	65,95%
	Alta densidade	51 nodos	97,03%	97,45%	95,42%
	Variação		21%	9%	45%
Taxa de entrega UDP	Baixa densidade	6 nodos	33,89%	43,22%	30,95%
	Alta densidade	51 nodos	89,27%	90,48%	76,80%
	Variação		163%	109%	148%
Taxa de sobrecarga TCP	Baixa densidade	6 nodos	68,51%	0,32%	2.757,89%
	Alta densidade	51 nodos	0,30%	0,17%	16,53%
	Variação		-100%	-47%	-99%
Taxa de sobrecarga UDP	Baixa densidade	6 nodos	59,57%	2,88%	894,14%
	Alta densidade	51 nodos	1,27%	0,56%	20,63%
	Variação		-97,8%	-80,5%	-97,6%
Taxa de transferência TCP	Baixa densidade	6 nodos	243,83Kbps	262,45Kbps	162,95Kbps
	Alta densidade	51 nodos	491,50Kbps	551,50Kbps	165,09Kbps
	Variação		102%	110%	1%
Taxa de transferência UDP	Baixa densidade	6 nodos	8,70Kbps	12,00Kbps	9,79Kbps
	Alta densidade	51 nodos	103,41Kbps	104,79Kbps	89,48Kbps
	Variação		1089%	773%	814%

Após estruturar-se as análises dos resultados e observar o comportamento dos protocolos, foi realizado um esquema de pontuação para facilitar às conclusões desta pesquisa. A Tabela 9 classifica

os protocolos em ordem de desempenho tendo como base a baixa densidade e a Tabela 10 utiliza os resultados da alta densidade desta pesquisa. Percebeu-se ao final destes quesitos que a nível de baixa densidade, o *TCP*, o protocolo *AODV* obteve melhor desempenho, seguido do *OLSR* que obteve a menor latência tanto para *TCP* como *UDP* e por último o protocolo *ZRP*. Para a alta densidade observou-se que o protocolo *AODV* obteve melhor desempenho, seguido do *OLSR* e posteriormente do *ZRP*. Desta forma, o melhor desempenho recebe nota 3, o segundo obtém nota 2 e o terceiro nota 1.

A nível de variação da densidade de nodos para tráfego *TCP* usou-se a qualificação por quantidade de pontos que o protocolo obteve. Sendo assim, percebeu-se que os protocolos *AODV* e *OLSR* tiveram a mesma pontuação, sendo o primeiro com maior aumento da taxa de transferência e o segundo a maior redução de sobrecarga. O protocolo *ZRP* obteve a maior redução da taxa de latência e também o maior aumento da taxa de entrega.

Ao analisar a variação da densidade para pacotes *UDP*, verificou-se que o protocolo *AODV* reduziu a latência em 93%, o protocolo *OLSR* aumentou a taxa de transferência em 163%, reduziu a sobrecarga em 97,9% e obteve um aumento de 1089% na taxa de transferência. O protocolo *ZRP* obteve uma considerável redução da sobrecarga com o aumento da densidade, com 97,5% próximo ao índice do *OLSR*.

Tabela 9. Desempenho dos protocolo na simulação - Baixa densidade

Métrica	TCP			UDP		
	OLSR	AODV	ZRP	OLSR	AODV	ZRP
Latência	3	2	1	3	2	1
Entrega	2	3	1	2	3	1
Sobrecarga	2	3	1	2	3	1
Transferência	2	3	1	1	3	2
Pontuação	9	11	4	8	11	5

Tabela 10. Desempenho dos protocolo na simulação - Alta densidade

Métrica	TCP			UDP		
	OLSR	AODV	ZRP	OLSR	AODV	ZRP
Latência	2	3	1	3	2	1
Entrega	2	3	1	2	3	1
Sobrecarga	2	3	1	2	3	1
Transferência	2	3	1	2	3	1
Pontuação	8	12	4	9	11	4

A pontuação da Tabela 11 é considerada pelo maior índice para determinar o melhor desempenho dos protocolos. Percebeu-se que para o protocolo *TCP* o maior índice foi o protocolo *ZRP* com dois pontos e para o protocolo *UDP* o melhor índice foi para o *OLSR* com três pontos.

Tabela 11. Percentual sobre a variação da densidade veicular

Métrica	TCP			UDP		
	OLSR	AODV	ZRP	OLSR	AODV	ZRP
Latência	391%	187%	-4%	-21%	-93%	5%
Entrega	21%	9%	45%	163%	109%	148%
Sobrecarga	-99,6%	-46,9%	-99,4%	-97,8%	-80,5%	-97,6%
Transferência	102%	110%	1%	1089%	773%	814%
Pontuação	1	1	2	3	1	0

Após análises da Tabela 9 percebeu-se o seguinte comportamento dos protocolos em função das métricas analisadas para o protocolo proativo (*OLSR*), reativo (*AODV*) e híbrido (*ZRP*):

Para protocolo de transporte TCP e UDP com Baixa densidade:

- Protocolo reativo tem melhor taxa de entrega, menor sobrecarga de roteamento e melhor taxa de transferência.
- Protocolo proativo tem menor taxa de latência

Posteriormente, analisou-se o comportamento dos protocolos em alta densidade obtendo os seguintes resultados evidenciados na Tabela 10:

Para protocolo de transporte TCP - Alta densidade:

- Protocolo reativo obteve menor latência e sobrecarga de roteamento e melhor taxa de entrega e taxa de transferência.

Para protocolo de transporte UDP - Alta densidade:

- Protocolo proativo obteve menor taxa de latência.
- Protocolo reativo obteve melhor taxa de entrega e taxa de transferência e menor sobrecarga de roteamento.

Por conseguinte, a Tabela 11 apresenta os índices analisados de cada protocolo em função da variação das densidades:

Para protocolo de transporte TCP:

- Protocolo proativo obteve maior redução da sobrecarga de roteamento.
- Protocolo reativo obteve melhor aumento da taxa de transferência.
- Protocolo híbrido obteve melhor aumento da taxa de entrega e maior redução da taxa de latência.

Para protocolo de transporte UDP:

- Protocolo reativo obteve maior redução da taxa de latência de rede.
- Protocolo proativo obteve maior redução da sobrecarga, melhor aumento da taxa de entrega e da taxa de transferência.

Após a apresentação dos resultados, foi possível analisar o comportamento dos protocolos de roteamento conforme cada categoria e a seguir será feita a discussão dos resultados.

4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após analisar a influência da variação da densidade no desempenho dos protocolos simulados observaram-se algumas características em função ao roteamento em redes veiculares.

O primeiro ponto importante em relação a latência obtida pelo protocolo híbrido *ZRP* foi que o tempo de entrega foi maior que os protocolos *OLSR* e *AODV*, porém, observou-se que ao aumentar o número de nodos, a latência foi reduzida em 4% para *TCP*. Em contrapartida, o protocolo *AODV* obteve uma redução de 93% com o aumento da densidade de nodos na rede para *UDP*.

No quesito taxa de entrega o protocolo reativo *AODV* realizou o maior percentual de entrega de pacotes, o que caracteriza a confiabilidade deste mecanismo. A taxa de entrega para o protocolo *TCP* foi maior que *UDP*. A proporção de desempenho com a variação de densidade de nodos obteve melhor desempenho com *ZRP* para *TCP* e *OLSR* para *UDP*. Sendo assim, observa-se que ao aumentar a densidade em todos os protocolos, aumenta a taxa de entrega e infere-se assim que uma *VANET* tem seu desempenho melhorado à medida que o número de nodos aumenta.

Por conseguinte, ao analisarmos a sobrecarga de roteamento, o protocolo reativo *AODV* e proativo *OLSR* obtiveram resultados muito próximos com baixa sobrecarga em comparação ao protocolo híbrido *ZRP* para o protocolo de transporte *TCP*. Ao analisar o protocolo *UDP* com baixa densidade, o protocolo *OLSR* teve um maior esforço para entrega, no entanto, ainda foi menor que a sobrecarga do protocolo *ZRP*. Com isso, pode-se inferir que o resultado alcançado de menor sobrecarga do protocolo *AODV*, o qual utiliza mecanismos para controle de sobrecarga são necessários para a realização de roteamento em redes veiculares, e inclusive em redes com maior densidade. Outra constatação é que com o aumento da densidade de nodos, a taxa de entrega *UDP* aumentou mais do que o *TCP*.

Ao analisar as taxas de transferência para o protocolo *TCP*, percebe-se que o protocolo *AODV* apresentou melhores resultados com 551,50Kbps, sendo próximo ao *OLSR* com 491,50Kbps e com maior diferença para o protocolo *ZRP* com 165,09Kbps. Mas ao analisar os mesmos protocolos com o transporte *UDP*, a diferença é menor sendo 103,41Kbps para *OLSR*, 104,79Kbps para *AODV* e 89,48Kbps para *ZRP*.

É possível compreender pelos percentuais encontrados em relação à variação da densidade que o protocolo *ZRP* é melhor para redes mais densas, o protocolo *AODV* é melhor para redes médias e o protocolo *OLSR* é melhor para redes mais esparsas. O protocolo *ZRP* permite separar a topologia

através da distância da vizinhança e aplicar tanto técnicas proativas, dentro da zona estabelecida e reativo fora desta zona, as quais permitem mensurar geograficamente os resultados esperados.

Ao final da etapa de discussões dos resultados percebeu-se que ainda existem questões que devem ser aprofundadas pelas pesquisas como:

- É possível reduzir a sobrecarga de protocolos proativos? De que maneira?
- Qual o mecanismo adequado para reduzir a latência dos protocolos reativos?
- Como é possível mensurar a origem do desempenho entre agentes TCP/FTP e UDP/CBR?
- O protocolo híbrido apresenta melhor desempenho na variação das densidades veiculares. Como este pode ser melhorado para obter menor sobrecarga e aumentar a taxa de entrega e de transferência?

Com isso, evidencia-se o inevitável avanço de pesquisas na área de roteamento para redes veiculares com o intuito de obter melhores resultados na transferência de dados em ambientes urbanos. Em seguida, serão apresentadas as conclusões deste estudo bem como as contribuições a trabalhos futuros.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu conceitos gerais de redes veiculares *VANETs*, e também apresentou as principais ferramentas utilizadas para simulações de redes veiculares. Considera-se essencial o uso de simuladores em cenários atuais com necessidade de planejamento viário, dimensionamento de fluxo de veículos e programação semafórica para escoamento coerente do trânsito.

Após apresentar os resultados obtidos por meio de simulações dos protocolos proativos, reativos e híbridos em cenários de redes veiculares especificamente em área urbana da cidade de Passo Fundo, foram feitas comparações com os protocolos *OLSR*, *AODV* e *ZRP*.

Constatou-se através dos resultados obtidos que o protocolo reativo *AODV* obteve os melhores resultados para as métricas de taxa de entrega, sobrecarga de roteamento e também taxa de transferência. Isso demonstra que a forma de atuação deste protocolo reativo, o qual cria e mantém suas rotas somente se necessário, reduz a carga de rede para busca constante de caminhos para transportar dados. Este protocolo, por exemplo, seria eficiente no envio de mensagens de alerta em redes veiculares como aviso de acidentes, alertas de carros de emergência ou outros. No entanto, quando o protocolo precisa descobrir novas rotas, tem sua latência aumentada.

No entanto, verificou-se também que o protocolo proativo *OLSR* apresentou o menor índice de atraso e poderia ser testado em cenários semelhantes e específicos para a troca de dados e utilização de aplicações com características de tempo real, pois com os resultados obtidos é possível utilizar aplicações sensíveis ao atraso.

Porém, percebeu-se que o protocolo proativo *OLSR* não obteve bons resultados, mas se suas características proativas fossem aliadas a um protocolo híbrido na descoberta e manutenção de rotas dentro do raio usado pelo protocolo híbrido, ele poderia contribuir para um desempenho melhor do protocolo.

Como constatado nos resultados apresentados, cada um dos três protocolos analisados, devido às suas características, podem vir a ter melhor desempenho em determinadas situações em relação aos outros dependendo da métrica. No entanto, conclui-se que a variação da densidade veicular é um parâmetro importante para realizar o roteamento de pacotes nestas redes e por consequência, a escolha de caminhos mais estáveis.

Além disso, pode-se concluir que faz-se necessárias novas pesquisas sobre protocolos baseados na topologia a fim de torná-los ainda mais eficientes. O avanço desta área conduz à criação de novos protocolos baseados nas características dos protocolos atuais. Os protocolos são importantes para os diversos cenários e a forma de tratar as características das redes densas e o número de vizinhos podem ser investigadas.

Ao finalizar esta pesquisa constatou-se que o protocolo reativo *AODV* evidencia os melhores resultados nas simulações conforme as Tabelas 9 e 10 no cenário urbano no Município de Passo Fundo. Ao analisar o resultado em função do aumento de densidade veicular, percebe-se conforme Tabela 11

que o protocolo proativo *OLSR* teve uma melhor evolução quando passou de baixa densidade para alta densidade para o protocolo *UDP* e o protocolo híbrido *ZRP* obteve melhor evolução com o protocolo *TCP*. As conclusões foram validadas conforme as circunstâncias e parâmetros usados no cenário estudado e com o modelo de mobilidade ManhattanGrid. Sendo assim, considera-se essencial avançar em pesquisas para criar novos protocolos melhorando as técnicas proativas, reativas e híbridas com intuito de reduzir a sobrecarga de roteamento e a latência e também aumentar as taxas de entrega e transferência.

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Ao realizar este experimento através da análise de simulações de redes veiculares para os protocolos de roteamento, com base na variação da densidade de nodos foi necessária a modelagem de cenários realísticos para a realização da simulação. Com esse objetivo, buscou-se, inicialmente a realização de estudo sobre os modelos de mobilidade, principalmente urbanas e também foi necessária uma pesquisa de campo junto à Secretaria de Segurança Pública de Passo Fundo a fim de obter dados dos controladores de tráfego para a região estudada, bem como os índices de fluxo veicular determinada por horários distintos. Também foi importante os dados de velocidades médias obtidas nos trechos do experimento a fim de obter os parâmetros reais da simulação proposta.

A avaliação do desempenho dos protocolos foi feita através de simulações de redes veiculares em diferentes condições. Pelos resultados obtidos, conclui-se que o protocolo reativo *AODV* tem melhor desempenho no ambiente de pesquisa e o protocolo proativo *OLSR* tem melhor desempenho para *UDP* e o protocolo híbrido *ZRP* tem melhor desempenho para *TCP* ao aumentar a densidade de nodos. Destaca-se inicialmente a importância de uso de mecanismos de controle de sobrecarga de roteamento para que os protocolos possam ser adaptados de acordo com a densidade da rede veicular. Os resultados descritos neste trabalho não apresentam bom desempenho em redes de baixa densidade, mas são melhores em redes de densidades mais elevadas.

Ao focar o objetivo principal, foram obtidas outras contribuições:

- **Comparação dos protocolos existentes:** Foi realizado um estudo bibliográfico abrangente sobre os protocolos de redes veiculares e também das ferramentas de simulação. Foram estudados outros protocolos destas categorias e também foi feita uma análise sobre o comportamento de cada um dos protocolos.
- **Estudo de ferramentas de simulação:** Para que as simulações pudessem ser realizadas com aplicação real foi necessário a compreensão específica da ferramenta de simulação *NS2* para realizar a simulação a nível de rede. No entanto, também foram exploradas outras ferramentas e técnicas como *SUMO* (Simulador Urbano de Mobilidade) e o *Omnet++*, outro simulador que interage com o simulador *SUMO* e permite utilizar cenários urbanos e veiculares através do *framework VEINS*.

- **Criação e automatização para as simulações:** Ao compreender a forma de uso do simulador *NS2* foi necessário a adaptação e automatização da geração dos *traces* para posterior análise. Sendo assim, a automação ocorreu através de *shell scripts* em *Linux* com o objetivo de facilitar as simulações e com a modificação de parâmetros o processo tornou-se mais transparente.
- **Aplicações futuras:** Este trabalho serve como base para arquitetos de rede no desenvolvimento de soluções inovadoras de comunicação veicular e também para desenvolvedores de aplicações que poderão usufruir dos resultados para elaborar soluções de aplicativos móveis para o trânsito.
- **Incentivo à pesquisa:** Uma contribuição de muita importância é desvendar cenários com pouca pesquisa, especialmente no Brasil, pois observa-se que a maioria dos artigos e livros pesquisados tem origem por exemplo na Índia, na China, Estados Unidos e outros países. Sendo assim, é possível, a curto prazo, incentivar alunos e professores a investirem tempo e ações de pesquisa na área de comunicação veicular, melhorando assim as condições atuais através de ferramentas e técnicas de automação de tarefas de informação, entretenimento e outras possibilidades.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

No decorrer deste trabalho foram identificadas questões que ainda precisam ser solucionadas. Em seguida, alguns direcionamentos para possíveis trabalhos futuros decorrentes desta pesquisa:

- Aperfeiçoar o protocolo *ZRP* para implementar melhorias em suas características atuais a fim de obter resultados significativos com maior taxa de entrega de pacotes e maior taxa de transferência e redução de sobrecarga de roteamento para redes veiculares.
- Projetar um novo protocolo de roteamento tendo como base algumas diretrizes descritas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LYTRIVIS, P.; AMDITIS, A. *Intelligent Transport Systems Cooperative Systems Vehicular Communications*. Greece: InTech, 2012. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/wireless-communications-and-networks-recent-advances/intelligent-transport-systems-co-operative-systems-vehicular-communications>. Acesso em jul. 2015.
- [2] RILEY, M.; AKKAYA, K.; FONG, K. A survey of authentication schemes for vehicular ad hoc networks. *Security and Communication Networks*, John Wiley e Sons, Ltda., v. 4, n. 10, p. 1137–1152, 2011. ISSN 1939-0122. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/sec.239>. Acesso em ago. 2015.
- [3] PICONE, M. et al. *Advanced Technologies for Intelligent Transportation Systems*. [S.l.]: Springer, 2015. v. 139. (Intelligent Systems Reference Library, v. 139). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10668-7>. Acesso em jun. 2015. ISBN 978-3-319-10667-0.
- [4] TONNESEN, A. *Impementing and extending the Optimized Link State Routing Protocol*. Master program in Computer science — University of Oslo, 2004. Disponível em: <http://www.olsr.org/docs/report.pdf>. Acesso em ago. 2015.
- [5] DING, B. et al. An improved aodv routing protocol for vanets. In: . [S.l.]: WCSP, 2011. p. 1–5. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6093625>. Acesso em mai. 2015.
- [6] DHIMAN, N.; SINGH, J. International journal of advanced research in computer science and software engineering. *International Journal of Computer Applications*, v. 3, n. 10, 2013.
- [7] GEETHA, J.; GOPINATH, G. Performance comparison of manet protocols based on manhattan grid mobility model. *Journal of Mobile Communication*, v. 2, n. 1, p. 18–26, 2008.
- [8] NOORI, H. Realistic urban traffic simulation as vehicular ad-hoc network (vanet) via veins framework. In: . [S.l.]: 12th Conference of Open Innovations Framework Programm. FRUCT, 2012.
- [9] ISSARIYAKUL, T.; HOSSAIN, E. *Introduction to Network Simulator NS2*. 1. ed. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2008. Disponível em: <http://www.springer.com/engineering/signals/book/978-0-387-71759-3>. Acesso em ago. 2015. ISBN 0387717595, 9780387717593.
- [10] BORNIA, P. *Estatística para cursos de engenharia e informática*. São Paulo: Atlas, 2004.
- [11] KUROSE, J.; ROSS, K. W. *Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down*. 6st. ed. São Paulo: Pearson, 2013. 634 p.

- [12] GUO, H.; GUO, H. *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in Vehicular Networks and Data Exchange*. 1st. ed. Hershey, PA: Information Science Reference - Imprint of: IGI Publishing, 2009. ISBN 1605663387, 9781605663388.
- [13] RASHVAND, H. F.; CHAO, H.-C. *Dynamic Ad-Hoc Networks*. [S.l.]: Institution of Engineering and Technology, 2013. (Telecommunications). Disponível em: <http://digital-library.theiet.org/content/books/te/pbte059e>. Acesso em ago. 2015.
- [14] TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. trad. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- [15] SCOPUS. *Analyze search results for vanets*. 2015. Disponível em: <http://www.scopus.com> Acesso em set. 2015.
- [16] DENATRAN, D. N. d. T. *Estatística da Frota 2008*. 2008. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/frota/Frota2008.zip>. Acesso em fev. 2015.
- [17] IBGE, I. B. d. G. e. E. *Censo 2010*. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em mai. 2015.
- [18] PAUL, B.; IBRAHIM, M.; BIKAS, A. N. Vanet routing protocols: Pros and cons. *International Journal of Computer Applications*, v. 20, n. 3, 2011.
- [19] ZEADALLY, S. et al. Vehicular ad hoc networks vanets. *Telecommunication Systems*, Springer US, v. 50, n. 4, 2012.
- [20] LEE, K. C.; LEE, U.; GERLA, M. Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks. In: WAFTA, M. (Ed.). *Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges: Developments and Challenges*. [S.l.]: Information Science Reference, 2010. cap. 8, p. 149–170. ISBN 9781615209149.
- [21] KUMAR, R.; DAVE, M. A comparative study of various routing protocols in vanet. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, v. 8, n. 1, 2011. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1108.2094>. Acesso em set. 2015.
- [22] GUPTA, R.; HIMANSHU, A. Network density based analysis of manet routing protocols. *International Journal of Computer Applications*, v. 77, n. 10, 2013.
- [23] KAUSHIK, S. K. et al. Performance evaluation of mobile ad hoc networks with reactive and proactive routing protocols and mobility models. *International Journal of Computer Applications*, v. 54, n. 17, 2012. Disponível em: <http://research.ijcaonline.org/volume54/number17/pxc3882522.pdf>. Acesso em ago. 2015.
- [24] CLAUSEN, T.; JACQUET, P. (Ed.). *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*. United States: RFC Editor, 2003.

- [25] BHASIN, S.; GUPTA, A.; MEHTA, P. Comparison of aodv, olsr and zrp protocols in mobile ad-hoc network on the basis of jitter. *International Journal of Applied Engineering Research*, v. 7, n. 11, p. 1627–1630, 2012.
- [26] SAADI, Y. et al. Simulation analysis of routing protocols using manhattan grid mobility model in manet. *International Journal of Computer Applications*, v. 45, n. 23, p. 24–30, May 2012.
- [27] MAHAJAN, A. Urban mobility models for vanets. *In proc. of 2nd workshop on next generation wireless networks*, 2006. Disponível em: <https://www.cs.fsu.edu/research/reports/TR-051220.pdf>. Acesso em jul. 2015.
- [28] MARTINEZ, F. J. et al. A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (vanets). *Wireless Communication Mobile Computer*, John Wiley and Sons Ltda, Chichester, UK, v. 11, n. 7, p. 813–828, 2011. ISSN 1530-8669. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/wcm.859>. Acesso em ago. 2015.
- [29] DLR. *SUMO - Simulation Urban MObility*. 2001. Disponível em: <http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/> Acesso em jul. 2015.
- [30] SOMMER, C.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, IEEE, v. 10, n. 1, p. 3–15, January 2011.
- [31] SARKOHAKI, F. et al. A simulative comparison of dsdv and olsr routing protocols. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 6, n. 12, 2012. Disponível em: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2012/Nov202012/373-378.pdf>. Acesso em mai. 2015.
- [32] PATIL, V. P. Reactive and proactive routing protocol performance evaluation for qualitative and quantitative analysis in mobile ad hoc network. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 2, n. 9, 2012.
- [33] DHAKAL, D.; GAUTAM, K. Performance comparison of aodv and dsr routing protocols in mobile ad-hoc networks: A survey. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, v. 2.
- [34] SINGH, M. K.; THAKUR, S. N. Comparison of dsdv, dsr and zrp routing protocols in manets. *International Journal of Computer Applications*, v. 108, n. 13, 2014.
- [35] ZADA, S. A. *Ad Hoc Networks: Performance Evaluation Of Proactive, Reactive And Hybrid Routing Protocols In NS2*. Master program in Computer science — University West, 2010.
- [36] ABOLHASAN, M.; WYSOCKI, A.; DUTKIEWICZ, E. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 2, 2004.
- [37] DNIT, M. d. T. *Manual de estudos de tráfego*. 2006. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf Acesso em ago. 2015.

- [38] KHAIRNAR, V.; KOTTECHA, K. D. Simulation-based performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc network. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2013.
- [39] DUCATELLE, F.; CARO, G. D.; GAMBARDELLA, L. A new approach for integrating proactive and reactive routing in manets. In: *Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2008. MASS 2008. 5th IEEE International Conference on*. Atlanta, GA, USA: MASS, 2008. p. 377–383.
- [40] PERKINS, C. E. et al. Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks. *Personal Communications, IEEE*, IEEE, v. 8, n. 1, p. 16–28, 2001.
- [41] NAWAZ, A. et al. Performance analysis of proactive and reactive routing protocols in mobile ad hoc networks. v. 26, n. 4, p. 1539–1544, 2014. ISSN 1013-5316.
- [42] SHARMA, R.; GUPTA, K. Comparison based performance analysis of udp/cbr and tcp/ftp traffic under aodv routing protocol in manet. *International Journal of Computer Applications*, Foundation of Computer Science, 244 5 th Avenue, 1526, New York, NY 10001, USA, v. 56, n. 15, 2012.
- [43] KAUR, H.; SAHNI, V.; BALA, M. A survey of reactive, proactive and hybrid routing protocols in manet: A review. *Network*, Citeseer, v. 10, p. 11, 2013.
- [44] PANDEY, K.; SWAROOP, A. A comprehensive performance analysis of proactive, reactive and hybrid manets routing protocols. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, v. 8, n. 3, 2011.
- [45] MACKER, J. Mobile ad hoc networking (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations. 1999.
- [46] DEEPIKA, J.; SINGH, B. S. Irjet-performance analysis of udp/cbr e tcp/ftp traffic under reactive and proactive routing protocols in vanet. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 2, n. 4, July 2015. Disponível em: <http://www.irjet.net/archives/V2/i4/Irjet-v2i4121.pdf> Acesso em ago. 2015.
- [47] ACCEDIAN. *TCP PM Solution Brief 2015*. 2015. Disponível em: <http://accedian.com/wp-content/uploads/2015/06/Accedian-TCP-PM-Solution-Brief-2015-2Q-r3.pdf> Acesso em set. 2015.

APÊNDICE A – TELA PRINCIPAL DE ACESSO AO SISTEMA DE SIMULAÇÃO



APÊNDICE B – EXEMPLO DE CÓDIGO PARA GERAÇÃO DA MOBILIDADE DOS NODOS

```
#!/bin/bash
i=0
c1='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 1: | cut -d: -f2 '
c2='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 2: | cut -d: -f2 '
t='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 3: | cut -d: -f2 '
p='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 4: | cut -d: -f2 '
a1='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 5: | cut -d: -f2 '
a2='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 6: | cut -d: -f2 '
vel='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 7: | cut -d: -f2 '
iter='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 9: | cut -d: -f2 '

while [ $i -le $iter ]
do
rm -f movimentos/cenario1
bm -f movimentos/cenario1 ManhattanGrid -d $t -n $c1 -x $a1 -y $a2
-m $vel -u 8 -v 2
bm NSFile -f movimentos/cenario1
cp movimentos/cenario1.ns_movements
movimentos/movimento-$i-$c1.ns_movements
rm -f movimentos/cenario2
bm -f movimentos/cenario2 ManhattanGrid -d $t -n $c1 -x $a1 -y $a2
-m $vel -u 8 -v 2
bm NSFile -f movimentos/cenario2
cp movimentos/cenario2.ns_movements
movimentos/movimento-$i-$c2.ns_movements
i=$(( $i + 1 ))
done
```

APÊNDICE C – EXEMPLO DE CÓDIGO PARA GERAÇÃO DO TRÁFEGO DOS NODOS

```
#!/bin/bash
i=0
c1='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 1: | cut -d: -f2 '
c2='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 2: | cut -d: -f2 '
t='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 3: | cut -d: -f2 '
p='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 4: | cut -d: -f2 '
a1='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 5: | cut -d: -f2 '
a2='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 6: | cut -d: -f2 '
vel='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 7: | cut -d: -f2 '
iter='cat parametros.txt | grep -n ^ | grep 9: | cut -d: -f2 '

while [ $i -le $iter ]
do
ns /ns2/ns-allinone -2.34/ns-2.34/indep-utils/cmu-scen-gen/cbrgen.tcl -type tcp
-nn $c1 -seed 1.0 -mc $c1 -rate 4.0 >> trafego/trafego-$i-$c1-tcp.tcl

ns /ns2/ns-allinone -2.34/ns-2.34/indep-utils/cmu-scen-gen/cbrgen.tcl -type tcp
-nn $c2 -seed 1.0 -mc $c2 -rate 4.0 >> trafego/trafego-$i-$c2-tcp.tcl
i=$(( $i + 1 ))
done
```

APÊNDICE D – EXEMPLO DE CÓDIGO TCL DA SIMULAÇÃO DO PROTOCOLO AODV

```

set f [open "../parametros.txt"]
set values [read $f]
close $f
set c1 [lindex $values 0]
set c2 [lindex $values 1]
set nodos [expr $c2 + 1]
set t [lindex $values 2]
set p [lindex $values 3]
set a1 [lindex $values 4]
set a2 [lindex $values 5]
set pc [lindex $values 7]

set val(chan) Channel/WirelessChannel; # channel type
set val(prop) Propagation/TwoRayGround;# radio-propagation model
set val(netif) Phy/WirelessPhy; # network interface type
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 3.65262e-10 ; #250 meters
set val(mac) Mac/802_11; # MAC type
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue; # interface queue type
set val(ll) LL; # link layer type
set val(ant) Antenna/OmniAntenna; # antenna model
set val(ifqlen) $pc; # max packet in ifq
set val(rp) AODV; # routing protocol

set ns_ [new Simulator]
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid [expr $a1 + 20] [expr $a2 + 20]
set god_ [create-god $nodos]
set tracefd [open traces/validacaoAODV.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
set chan [new $val(chan)];#Create wireless channel

# Parametros dos nodos
$ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
-llType $val(ll) \
-macType $val(mac) \
-ifqType $val(ifq) \

```

```

-ifqLen      $val(ifqlen) \
-antType     $val(ant) \
-propType    $val(prop) \
-phyType     $val(netif) \
-channel     $chan \
-topoInstance $topo \
-agentTrace  ON \
-routerTrace ON \
-macTrace    OFF \
-movementTrace ON

for {set i 0} { $i < $nodos } { incr i } {
    set node_($i) [$ns_ node]
    $node_($i) random-motion 0
    $god_ new_node $node_($i)
}

source ../movimentos/movimentos.ns_movements
source ../trafego/trafego.tcl

for {set i 0} { $i < $nodos } { incr i } {
    $ns_ at [expr $t - 0.01] $node_($i) reset;
}
$ns_ at [expr $t + 0.01] puts \NS EXITING...\ ;
$ns_ halt
$ns_ at $t "stop"

proc stop {} {
    puts "Terminando..."
    global ns_ tracefd
    $ns_ flush-trace
    close $tracefd
    exit 0
}
$ns_ run

```

APÊNDICE E – CÓDIGO AUTOMATIZADO SHELL SCRIPT - EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO NS2

```
#!/bin/bash
echo > validacaoAODV-tcp.log
c1='cat ../parametros.txt | grep -n ^ | grep 1: | cut -d: -f2 '
c2='cat ../parametros.txt | grep -n ^ | grep 2: | cut -d: -f2 '
x='cat ../parametros.txt | grep -n ^ | grep 9: | cut -d: -f2 '
s=0
i=0
while [ $i -le $x ]
do
### CONEXOES TCP
#Simulacao AODV com 6 conexoes simultaneas TCP
cp ../movimentos/movimento-$i-$c1.ns_movements
../movimentos/movimentos.ns_movements
echo Fazendo simulacao $i usando AODV com $c1 conexoes TCP >>
validacaoAODV-tcp.log
cp ../trafego/trafego-$i-$c1-tcp.tcl ../trafego/trafego.tcl
ns AODV-tcp.tcl
cp traces/validacaoAODV.tr traces/validacaoAODV-$i-$c1-tcp.tr
s=$((s+1))

#Simulacao AODV com 51 conexoes simultaneas TCP
cp ../movimentos/movimento-$i-$c2.ns_movements
../movimentos/movimentos.ns_movements
echo Fazendo simulacao $i usando AODV com $c2 conexoes TCP >>
validacaoAODV-tcp.log
cp ../trafego/trafego-$i-$c2-tcp.tcl ../trafego/trafego.tcl
ns AODV-tcp.tcl
cp traces/validacaoAODV.tr traces/validacaoAODV-$i-$c2-tcp.tr
s=$((s+1))

echo Terminada simulacao $i >> validacaoAODV-tcp.log
i=$((i+1))
done
echo "Terminada_a_a_simulacao..."
echo Foram gerados $s arquivos...
```

ANEXO A – SOLICITAÇÃO DE DADOS - PESQUISA DE CAMPO

Secretaria Municipal de Garantias Individuais

ACESSO À INFORMAÇÃO : INFORMAÇÕES

Processo: SIC - ACESSO À INFORMAÇÃO 2015/8077 Vol. 1

Abertura: 16/03/2015

Solicitante: Jair José Ferronato/600.950.240-34 Telefone/email: jair.ferronato@gmail.com/5499696780

Demanda: Solicito os dados abaixo relativos ao trânsito de Passo Fundo para estudo de caso de Mestrado em Computação Aplicada na UPF:

- Local de instalação das lombadas eletrônicas
- Relatório de Fluxo de veículos por velocidade e por pista com contagens realizadas pelas lombadas eletrônicas na cidade com dados de: Número de veículos (diário), velocidades medidas nos controladores.
- O período do relatório deve ser de todo ano de 2014.

Assinatura do Atendente

Assinatura do Contribuinte

ANEXO B – FLUXO DE VEÍCULOS - CONTROLADORES ELETRÔNICOS



SKEPI - Relatório Mensal de Fluxo por Faixa Horária / Pista

Mês de Abril de 2014 (01/04/2014 a 30/04/2014)
Pistas selecionadas

Projeto: Passo Fundo

Data: 02/09/2014

Hora: 08:26:44

Ident. Pista	00-01 h	01-02 h	02-03 h	03-04 h	04-05 h	05-06 h	06-07 h	07-08 h	08-09 h	09-10 h	10-11 h	11-12 h	12-13 h	13-14 h	14-15 h	15-16 h	16-17 h	17-18 h	18-19 h	19-20 h	20-21 h	21-22 h	22-23 h	23-24 h	Total
PF032	1758	1120	667	497	442	579	1903	6934	7745	7918	8807	9992	8629	9166	9130	8781	8865	9772	10198	9294	6345	4798	4194	2217	139752
PF033	1493	904	537	359	334	498	1349	5041	5968	6557	7162	8246	7550	8534	8082	8081	7816	8429	8868	7920	5572	4219	3730	2238	119487
PF034	3569	1891	1168	938	896	1240	3320	10793	9954	10249	10382	11918	10542	11589	11202	11832	12189	13737	13087	11539	10313	9612	9767	4996	196723
PF035	4666	2976	2057	1686	1439	1995	4284	8643	9231	9765	10065	10263	10003	10637	11110	11178	10852	11875	11438	9861	8734	8617	9069	5552	185996
PF036	4078	2429	1566	1301	1308	1874	3802	11187	11131	11463	11918	12093	11456	12250	12092	12265	12248	12866	12470	11880	9771	8874	7441	5888	203451
PF037	3991	2198	1392	1099	1155	1768	4111	12551	12318	12340	12711	13566	12479	13897	13867	13170	13637	14767	14738	13433	10571	9415	7904	5854	222732
PF038	4246	2317	1467	1125	1128	1532	3393	11774	11212	11257	12184	14075	12991	13608	13079	13960	14646	16983	16078	13980	12127	11241	11474	5672	231549
PF039	3934	2460	1726	1391	1168	1691	2877	7096	7446	7800	8518	8996	7864	8611	9165	9957	10207	10978	10961	9414	8559	8006	7771	5011	161609
PF040	4150	2260	1480	1295	1314	2025	4691	12704	13384	13656	13971	14549	12104	10709	14314	13895	14073	15417	13044	12396	10356	9357	8085	5512	224741
PF041	4836	2538	1762	1373	1549	2357	6526	17408	17882	17697	18718	20027	17225	16633	20108	19746	20041	22794	20646	18887	14229	12681	10570	7380	313613
PF046	3203	1973	1456	1243	1389	1819	3394	9120	10128	11682	12655	13546	11329	13281	13132	13033	13470	15145	15249	11105	8254	6867	5783	4639	202895

ANEXO C – VELOCIDADES - CONTROLADORES ELETRÔNICOS

Ident. Pista	000-009	010-019	020-029	030-039	040-049	050-059	060-069	070-079	080-089	090-099	100- ...	Total
PF032	13234	40030	48525	34613	7340	298	16	1	0	0	0	144057
PF033	9466	35874	29719	14846	1625	75	8	0	0	0	0	91613
PF034	5169	45387	80522	46854	24777	2261	96	16	4	2	0	205088
PF035	3631	86530	84622	28939	10014	1153	50	3	2	0	0	214944
PF036	3162	73333	107485	28693	5715	410	20	5	3	0	0	218826
PF037	3385	45884	111914	59540	14952	1159	54	11	1	0	0	236900
PF038	11876	623	23174	148354	83737	1535	36	23	21	4	3	269386
PF039	710	3611	49327	116939	38029	486	20	9	4	1	0	209136
PF040	3144	6635	68873	134797	41808	903	11	5	5	1	0	256182
PF041	832	2349	33625	199742	100660	1275	38	21	8	5	7	338562
PF042	1317	791	16718	163381	123139	1682	49	24	19	7	5	307132
PF043	6844	6171	55439	111928	39314	621	20	10	1	1	1	220350
PF044	333	1581	41783	150105	65275	1316	11	16	5	3	1	260429
PF045	212	126	12072	136373	102836	1824	43	21	21	9	5	253542
PF046	14475	2050	21142	97126	48269	726	12	1	1	0	0	183802
PF047	15010	910	4180	72824	95747	1848	28	19	3	1	1	190571
PF048	1578	456	18036	144029	72049	598	33	13	2	0	0	236794
PF049	194	2061	41790	155106	55589	653	32	13	6	1	0	255445
PF050	1783	2402	18691	107375	83582	2990	72	12	6	0	1	216914
PF051	6603	206	1503	29330	44959	1927	21	8	2	0	0	84559
PF052	245	1084	14198	87630	57454	1069	25	9	5	1	2	161722
PF053	933	340	4676	80013	124370	4428	45	17	17	5	5	214849

ANEXO D – CÁLCULO DA DENSIDADE VEICULAR

Período: abril/2014				
Fluxo 5h as 6h -> Baixa densidade				
Fluxo 18h as 19h -> Alta densidade				
	18h - 19h	Total Mês	Taxa	Dia
Controlador 38	16078	231549	7%	536
Controlador 39	10961	161609	7%	365
Controlador 40	13044	224741	6%	435
Controlador 41	20646	313613	7%	688
	60729	931512		2024
	05h - 06h	Total Mês	Taxa	Dia
Controlador 38	1532	231549	1%	51
Controlador 39	1691	161609	1%	56
Controlador 40	2025	224741	1%	68
Controlador 41	2357	313613	1%	79
	7605	931512		254
Média de fluxo diário por hora soma de 4 controladores				
Densidade = Fluxo/Velocidade	Hora	Densidade	Arred	
Alta densidade	2024	50,61	51	
Baixa densidade	254	6,34	6	