

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL**

CARLOS RAFAEL GUERBER

**UMA NOVA MÉTRICA BASEADA EM OPORTUNIDADES DE
TRANSMISSÃO PARA AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE
ENCAMINHAMENTO EM REDES VEICULARES**

TESE

CURITIBA

2020

CARLOS RAFAEL GUERBER

**UMA NOVA MÉTRICA BASEADA EM OPORTUNIDADES DE
TRANSMISSÃO PARA AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE
ENCAMINHAMENTO EM REDES VEICULARES**

**A new metric based on transmission opportunities to evaluate
forwarding strategies in vehicular networks**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Mauro Sérgio Pereira
Fonseca

Coorientadora: Profa. Dra. Anelise Munaretto
Fonseca

CURITIBA

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



CARLOS RAFAEL GUERBER

UMA NOVA MÉTRICA BASEADA EM OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO PARA AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ENCAMINHAMENTO EM REDES VEICULARES.

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Telecomunicações E Redes.

Data de aprovação: 22 de Dezembro de 2020

Prof Mauro Sergio Pereira Fonseca, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Ana Cristina Barreiras Kochem Vendramin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Anelise Munaretto Fonseca, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Celio Vinicius Neves De Albuquerque, Doutorado - Universidade Federal Fluminense (Uff)

Prof Luis Henrique Maciel Kosmalski Costa, Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro (Ufrj)

Prof Thiago Henrique Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 04/03/2021.

Dedico este trabalho a quem inicia uma jornada,
e apesar das limitações, dos sentimentos e dos
resultados não desiste, e a conclui.

AGRADECIMENTOS

Há algum tempo aprendi que para obter êxito na vida, precisamos de ajuda. Aprendi que a principal ajuda é aquela dada sem interesse algum, apenas pela simples preocupação e entendimento de que faz toda a diferença. Durante o desenvolvimento deste desafio, eu obtive ajuda técnica, emocional, espiritual, gerencial, científica e motivacional.

Agradeço a minha mãe Maria Suzete, à minha noiva Patricia e ao meu irmão Eduardo por TODAS as vezes que me disseram: -Vai dar certo, acredite!", isso fez toda a diferença. As minhas irmãs Cláudia e Carmen que perguntavam: -Já terminou o doutorado, vai até quando?". Agradeço ao meu primo Marcel e ao meu amigo Edilson pelo apoio de sempre.

Mais uma vez ao Eduardo, por ser um excelente conselheiro, companheiro de estudos e viagens, co-autor e por toda competente ajuda técnica que me forneceu.

A Patricia novamente, por me mostrar a importância da fé, e por todas as vezes que me disse, nas piores horas: -Gostaria muito de poder te ajudar a fazer isso."Na verdade, ajudou muito mais que possa imaginar.

Ao professor Mauro, orientador e amigo, pela paciência, inteligência, competência, pelo conhecimento técnico e científico, compreensão e por tantas vezes, em momentos de grande desespero, conseguir me acalmar e voltar meu foco para as atividades da pesquisa.

A professora Anelise coorientadora e ao professor Thiago, colaboradores e coautores por sua contribuição, experiência e conhecimento técnico-científico.

Aos membros das bancas, pelas contribuições, pela disponibilidade e pelo aval técnico-científico.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e aos colegas do Câmpus Canoinhas (SC) pela confiança depositada durante o período de desenvolvimento do doutorado.

À UTFPR pela excelência do serviço prestado à comunidade e a UFMG por abrir as portas e pela receptividade dos colegas de laboratório.

A Deus, Nossa Senhora e meu Anjo da Guarda pela presença em todo este caminho. A todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste desafio e não pude aqui nominar.

Toda oportunidade tem um custo. Se bem aproveitada, torna-se um investimento. Se negligenciada, pode tornar-se um desperdício.

Autor desconhecido.

RESUMO

GUERBER, Carlos Rafael. **Uma nova métrica baseada em oportunidades de transmissão para avaliação de estratégias de encaminhamento em redes veiculares**. 2020. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Nas redes veiculares ad hoc (VANETs), a comunicação veículo a veículo (V2V) ocorre de forma oportunista devido à mobilidade frequente dos nós e ao tempo de contato intermitente. Nesse cenário, a avaliação de eficiência dos protocolos de encaminhamento pelo uso dos recursos existentes na rede é um desafio aberto, dadas as diferentes estratégias adotadas por tais protocolos para a escolha do próximo salto. Por meio da análise de dados de movimentação de veículos, este trabalho contribui para a análise da existência de oportunidades de transmissão com a utilização de um rádio, sua quantificação e classificação considerando as oportunidades como serial quando um veículo emissor só tem uma oportunidade para transmitir e oportunidade paralela quando o emissor tem duas ou mais oportunidades para transmitir. Foram avaliados quatro diferentes cenários, sendo três com os traços reais da mobilidade de táxis das cidades de Roma, San Francisco e Shanghai, e um com traços gerados aleatoriamente. Ainda, o alcance do sinal de rádio foi variado de 50 a 1.000 metros nos cenários avaliados. Além disso, a análise de inventário dos recursos de comunicação é feita através de três medidas: taxa de transmissão de dados, impacto de sobrecarga dos *beacons*, e eficiência de protocolos de encaminhamento - realizada através da métrica *OpTs* proposta. Este trabalho traz uma discussão sobre o impacto nos protocolos de encaminhamento pelo uso apropriado dessa métrica, e mostra que essa métrica pode ser usada para avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento ou para melhorar a qualidade do consumo de recursos em redes veiculares *ad hoc*. Essa métrica permite que os protocolos de encaminhamento de mensagem avaliem se são capazes de utilizar o máximo de recursos teórico disponíveis independentemente do cenário avaliado. Para Roma, San Francisco ou Shanghai, à medida que o alcance do sinal de rádio aumenta, a quantidade teórica máxima de recursos também aumenta. A avaliação também mostra, para os três cenários, que a sobrecarga de *beacons* não tem um impacto significativo sobre o inventário total de dados teóricos disponível. Ao aplicar a métrica *MOpTs* em protocolos de encaminhamento que utilizam diferentes estratégias para encaminhar as mensagens, foi possível observar que cada um desses protocolos consome recursos de forma diferente. A métrica também permite avaliar a eficiência geral de cada protocolo de encaminhamento em uma VANET ao medir o percentual de recurso que tal protocolo usou durante a interação entre os veículos. Com a aplicação da métrica é possível obter a eficiência de um protocolo de encaminhamento em relação ao seu consumo de recursos.

Palavras-chave: Métrica de Desempenho. Protocolos de Encaminhamento. VANETs.

ABSTRACT

GUERBER, Carlos Rafael. **A new metric based on transmission opportunities to evaluate forwarding strategies in vehicular networks**. 2020. 122 p. Thesis (PhD in Course Name) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

In ad hoc vehicle networks (VANETs), vehicle-to-vehicle (V2V) communication occurs opportunistically due to the frequent mobility of nodes and the intermittent contact time. In this scenario, assessing the efficiency of referral protocols by using existing resources on the network is an open challenge, given the different strategies adopted by such protocols for choosing the next step. Through the analysis of vehicle movement data, this work contributes to the analysis of the existence of transmission opportunities with the use of a single radio, its quantification and classification considering the opportunities as serial when a sending vehicle only has one opportunity to transmit and parallel opportunity when the issuer has two or more opportunities to transmit. Four different scenarios were evaluated, three with the real features of taxi mobility in the cities of Rome, San Francisco and Shanghai, and one with randomly generated features. Furthermore, the radio signal range was varied from 50 to 1,000 meters in the evaluated scenarios. In addition, the inventory analysis of the communication resources is done through three measures: data transmission rate, impact of overhead of the beacons, and efficiency of routing protocols - performed using the proposed *OpTs* metric. This paper discusses the impact on forwarding protocols for the appropriate use of this metric, and shows that this metric can be used to evaluate the efficiency of forwarding protocols or to improve the quality of resource consumption in ad hoc vehicular networks. This metric allows message forwarding protocols to assess whether they are able to use the maximum theoretical resources available regardless of the scenario assessed. For Rome, San Francisco or Shanghai, as the radio signal range increases, the maximum theoretical amount of resources also increases. The assessment also shows, for the three scenarios, that the overload of beacons does not have a significant impact on the total inventory of theoretical data available. When applying the metric *OpTs* in forwarding protocols that use different strategies to forward messages, it was possible to observe that each of these protocols consumes resources differently. The metric also allows to evaluate the general efficiency of each routing protocol in a VANET when measuring the percentage of resource that such protocol used during the interaction between the vehicles. With the application of the metric it is possible to obtain the efficiency of a routing protocol in relation to its consumption of resources.

Keywords: Performance Metric. Forwarding Protocols. VANETs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquiteturas de comunicação nas redes Veiculares	22
Figura 2 – Representação para o grafo variante no tempo H	42
Figura 3 – Formato dos dados de movimentação (original).	43
Figura 4 – Formato de entrada dos dados de mobilidade dos táxis (convertidos).	43
Figura 5 – Formato de entrada dos dados de ativação e desativação dos veículos (convertidos).	43
Figura 6 – Quantidade de OpTs de acordo com o raio de alcance do sinal.	49
Figura 7 – Interação de um veículo emissor com suas OpTs.	51
Figura 8 – Tipos de OpTs: Em Série e em Paralelo.	53
Figura 9 – Características de movimentação dos veículos.	58
Figura 10 – Tempo de duração do contato de um veículo emissor e suas $OpTs$	61
Figura 11 – Volume de dados por veículo emissor.	62
Figura 12 – Volume de dados teórico disponível. Calculado à taxa de 3 Mbps.	63
Figura 13 – Volume de dados teórico disponível por veículos.	64
Figura 14 – Impacto da sobrecarga de <i>beacons</i>	67
Figura 15 – Classes de veículos de acordo com o tempo de duração do contato (em segundos).	69
Figura 16 – Métrica $OpTs$ da Mensagem	76
Figura 17 – Métrica $OpTs_{REDE}$ para avaliação de eficiência.	81
Figura 18 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Mensagem</i> . Raio de alcance de sinal: 50 m.	90
Figura 19 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Mensagem</i> . Raio de alcance de sinal: 200 m.	91
Figura 20 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Mensagem</i> . Raio de alcance de sinal: 1000 m.	92
Figura 21 – Comparação da aplicação de um mesmo protocolo de encaminhamento nos diferentes cenários. Protocolo: <i>Direct Delivery</i>	93
Figura 22 – Comparação da aplicação de um mesmo protocolo de encaminhamento nos diferentes cenários. Protocolo: <i>Epidêmico</i>	94
Figura 23 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Rede</i> . Raio de alcance de sinal: 50 m.	98
Figura 24 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Rede</i> . Raio de alcance de sinal: 200 m.	100
Figura 25 – Resultados da aplicação da <i>Métrica OpTs da Rede</i> . Raio de alcance de sinal: 1000 m.	101
Figura 26 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 50 m.	103
Figura 27 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 200 m.	104
Figura 28 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 1000 m.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos protocolos de encaminhamento e métricas de avaliação.	36
Tabela 2 – Resumo das métricas de avaliação de desempenho	37
Tabela 3 – Arquivo de configuração para executar as simulações	44
Tabela 4 – Arquivos de saída obtidos do processo de simulação e aplicados para calcular os resultados deste trabalho.	45
Tabela 5 – Classes QoT - Qualidade de Tempo.	71
Tabela 6 – Distribuição de veículos em cada GVT para os três cenários.	87
Tabela 7 – Dados de configuração das simulações.	88
Tabela 8 – Organização das simulações para testar a <i>Métrica OpTs</i>	88
Tabela 9 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo. Alcance de 50 m.	95
Tabela 10 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo. Alcance de 200 m.	95
Tabela 11 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo. Alcance de 1.000 m.	96

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

SIGLAS

OpT_{sMSG}	Métrica Oportunidade de Transmissão da Mensagem
AU	Application Unit
BO	Beacon Overhead
BW	Consumo dos Beacons
CBLTR	Cluster-based Lifetime Routing
DSRC	Dedicated Short Range Communications
DTNs	Delay-Tolerant Networks
EGRS	Enhanced Geographical Source Routing
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Forwarding Protocol
ID	Identificador do Veículo
IDVR	Intersection Dynamic Forwarding Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IoV	Internet of Vehicles
ITS	Intelligent Transportation Systems
km/h	Quilômetros por hora
Mbps	Mega bits por segundo
ms	Milissegundos
OBU	On-Board Unit
OpTs	Oportunidades de Transmissão
QoT	Qualidade de Tempo
RSU	Road Side Unit
TB	Terabytes
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TTL	Time to Live
UTM	Universal Transversa de Mercator
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle

ACRÔNIMOS

A-STAR	Anchor-based Street and Traffic-aware Routing
CARTOON	Context-aware Routing in Delay and Disruption Tolerant Networks
CORA	Control Overhead Reduction Forwarding Protocol
M-GEDIR	Multimetric Geographic Routing
MAC	Medium Access Control
Métrica OpTs	Métrica Oportunidades de Transmissão
PHY	Camada Física

TDOR	Trajectory-Driven Opportunistic Routing
THE ONE	The Opportunistic Network Environment
VANETs	Vehicular Ad Hoc Networks
WAVE	Wireless Access in a Vehicular Environment
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	HIPÓTESES	18
1.2.1	Hipótese Básica	18
1.2.2	Hipóteses Secundárias	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	REDES OPORTUNISTAS	20
2.1.1	Redes Veiculares	21
2.1.2	Arquitetura	22
2.1.3	Tecnologia de acesso sem fio	24
2.1.4	Características e desafios	24
2.1.5	Encaminhamento de pacotes	25
2.1.6	Aplicação	28
2.2	TRABALHOS CORRELATOS	29
2.2.1	Estudo dos Traços Reais de Táxis e Análise de Dados	30
2.2.2	Métricas de Desempenho	32
2.2.3	Métricas de Desempenho para Estratégias de Encaminhamento e para Protocolos de Encaminhamento	32
2.3	CONSIDERAÇÕES	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	DADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS	39
3.2	DEFINIÇÃO DO GRAFO VARIANTE NO TEMPO (GVT)	40
3.3	AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ANÁLISE	41
3.3.1	Conversão dos Dados de Movimentação Calibrados	42
3.3.2	Configuração da Simulação	43
3.3.3	Processamento das Saídas da Simulação	44
3.4	CONSIDERAÇÕES	46
4	OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO (OPTS)	47
4.1	CONCEITO DE OPTS	47
4.2	OPTS EM SÉRIE E OPTS EM PARALELO	49
4.3	CONSIDERAÇÕES	53
5	AVALIAÇÃO DAS OPTS	56
5.1	CARACTERÍSTICA DA MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS	56
5.2	INVENTÁRIO DE RECURSOS	59
5.3	CONSUMO DE RECURSOS POR <i>BEACON OVERHEAD</i>	65
5.4	TEMPO DE DURAÇÃO DO CONTATO COMO INDICADOR DE QUALIDADE	68
5.4.1	Classes de Qualidade pelo tempo (QoT) e Capacidade de Pacotes	71

5.5	CONSIDERAÇÕES	72
6	MÉTRICA PROPOSTA: OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO (OPTS)	74
6.1	DESCRIÇÃO DA MÉTRICA OPTS	74
6.1.1	Métrica OpTs da Mensagem	75
6.1.2	Métrica OpTs da Rede	77
6.2	APLICAÇÃO DA MÉTRICA OPTS	84
6.2.1	Metodologia de Aplicação	84
6.2.2	Aplicação Métrica OpTs da Mensagem	89
6.2.3	Aplicação Métrica OpTs da Rede	97
6.3	CONSIDERAÇÕES	106
7	CONCLUSÕES	109
7.1	TRABALHOS FUTUROS	111
7.2	PRODUÇÃO ACADÊMICA	112
	REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, transporte de dados e aplicações *ad hoc* para troca de mensagens foram propostas em cenários onde a infraestrutura de comunicação convencional não se aplica ou pode falhar (FARRELL *et al.*, 2006). Esses cenários incluem redes veiculares, *Vehicle Adhoc Networks* (VANETs), que normalmente usam a tecnologia padrão IEEE 802.11p para comunicação sem fio entre veículos (JIANG; DELGROSSI, 2008). Essa padronização apresenta especificações, como o alcance do sinal de rádio e a taxa de transmissão de dados, importantes para o desenvolvimento de protocolos de comunicação nesses ambientes. Há duas maneiras principais de comunicação entre veículos em VANETs: comunicação veículo para infraestrutura, *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I), e comunicação veículo a veículo, *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) (JIANG; DELGROSSI, 2008) (CUNHA *et al.*, 2016).

As VANETs oferecem uma maneira inteligente de tornar o transporte de pessoas e cargas mais seguro, eficiente e confortável. Essas redes permitem que os veículos compartilhem um certo volume de informações sobre o tráfego local por meio da comunicação salto a salto (CUNHA *et al.*, 2016). As VANETs são, portanto, uma tecnologia promissora capaz de suportar aplicações para *Internet of Vehicles* (IoV) (KAIWARTYA *et al.*, 2016), *Internet of Things* (IoT) (HE *et al.*, 2014) (GERLA *et al.*, 2014), e para os sistemas inteligentes de transporte, *Intelligent Transportation Systems* (ITS). Essas aplicações incluem segurança, conforto e eficiência (ZEADALLY *et al.*, 2012) (AL-SULTAN *et al.*, 2014). As aplicações de segurança são projetadas para conscientizar os motoristas ao longo da estrada, como avisar o veículo em caso de emergência, acidentes de carro ou problemas na pista (CUNHA *et al.*, 2016) (ZEADALLY *et al.*, 2012) (AL-SULTAN *et al.*, 2014). As aplicações de conforto buscam melhorar a experiência do motorista e dos passageiros ao longo da jornada, com *downloads* de músicas, jogos, vídeos ou *streaming* de filmes (DAR *et al.*, 2010) (TONGUZ; BOBAN, 2010). As aplicações de eficiência podem ajudar a reduzir o consumo de combustível e o tempo de viagem. Além disso, podem promover o controle inteligente do fluxo de tráfego e o rastreamento de veículos (CUNHA *et al.*, 2016) (DAR *et al.*, 2010). Para suportar essas aplicações, os novos projetos de protocolos de encaminhamento para VANETS devem estar conscientes do consumo adequado dos recursos disponíveis em toda a rede (DAR *et al.*, 2010) (TONGUZ; BOBAN, 2010) (ALASMARY; ZHUANG, 2012) (LIANG *et al.*, 2015). Para medir consumo de recurso, o desempenho ou a eficiência das redes, são aplicados diferentes tipos de métricas. Os recursos neste caso, são a quantidade de dados que pode ser

gerada e consumida na rede, assim como, o tempo de duração do contato entre os veículos. Isto torna essas métricas importantes instrumentos de avaliação de protocolos de encaminhamento de mensagens. As métricas comumente utilizadas não se preocupam em medir a quantidade de recurso existente ou o consumo do recurso disponível durante a interação dos veículos, e dessa forma, avaliar o desempenho de um determinado protocolo de encaminhamento. Uma nova métrica, portanto, se faz necessária para medir o consumo de recursos e verificar a eficiência de um protocolo de encaminhamento na rede V2V no que tange o consumo de recursos.

Os principais recursos de uma VANET são provenientes dos veículos (CHEN *et al.*, 2013) (HUANG *et al.*, 2012). Qualquer evento, como a transmissão de dados por um aplicativo, só é possível devido à comunicação entre os veículos. A mobilidade frequente dos veículos, no entanto, é uma característica importante que interfere no desenvolvimento de protocolos de encaminhamento. O termo encaminhamento é utilizado em substituição ao termo roteamento, pois o roteamento refere-se ao caminho de ponta-a-ponta, e devido à conexão intermitente dos veículos é difícil obter um caminho completo, uma vez que o encaminhamento para o destino ocorre salto-a-salto, veículo a veículo (HUANG *et al.*, 2010). Por isso, a mobilidade é um fator de alto impacto que torna a ligação entre os veículos altamente dinâmica e sua comunicação oportunista (HUANG *et al.*, 2012) (CUNHA *et al.*, 2013). Portanto, dependendo do cenário o alcance do sinal de rádio pode ser um importante aspecto, que influencia variáveis como o tempo de duração do contato entre os veículos, assim como a densidade da rede (CUNHA *et al.*, 2015) (CUNHA *et al.*, 2014) (AWANG *et al.*, 2017) (MOTA *et al.*, 2014). De forma proporcional, a quantidade de recursos e as oportunidades de transmissão entre os veículos também variam.

No entendimento deste trabalho, a duração de contato entre os veículos indica a qualidade dos enlaces de comunicação (isto é, enlaces que duram mais têm maior possibilidade de troca de mensagens e podem transmitir mais dados). Da mesma forma, a taxa de transmissão de dados dada em megabits por segundo (Mbps), juntamente com o tempo de duração do contato dado em segundos (s), sugere a quantidade de dados que um veículo poderia transferir.

Dependendo da taxa de dados, atenuação do sinal e condições de interferência do ambiente, é possível determinar o tipo de aplicação que a rede suporta (por exemplo, aplicações de segurança, aplicações de entretenimento e aplicações de conforto) (HE *et al.*, 2014) (ZEADALLY *et al.*, 2012) (AL-SULTAN *et al.*, 2014) (HUANG *et al.*, 2010).

A densidade da rede também demonstra as condições de comunicação da rede. Quanto mais denso, maior é o número de veículos e maiores são as opções de comunicação entre

estes veículos. Porém, gera-se mais interferência, sendo que ao existir várias possibilidades de comunicação, somente uma poderá ser usada por vez. Esta condição de comunicação não foi considerada neste trabalho para diminuir a complexidade do modelo. Levando em conta essas opções críticas de comunicação esta pesquisa apresenta e conceitua as **Oportunidades de Transmissão**, utilizadas para:

1. Melhorar o entendimento das interações V2V nas VANETs;
2. Calcular o volume de recursos disponível na VANET;
3. Ser utilizada como métrica para avaliar a eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens em VANETs.

A criação de uma nova estratégia de encaminhamento de mensagens para um protocolo de encaminhamento não faz parte deste trabalho. Em vez disso, a motivação deste trabalho é explorar o conceito de oportunidades de transmissão como uma métrica para avaliar as condições de capacidade e uso dos recursos disponíveis na rede. Esta proposta também pode avaliar qualquer VANET ou rede Delay-Tolerant Networks (DTNs) (FALL, 2003), independentemente do cenário ou da estratégia utilizada por qualquer protocolo de encaminhamento. Em tese, qualquer protocolo de encaminhamento de mensagens aplicado em VANETs pode ser avaliado por meio da aplicação desta nova métrica. Frequentemente, em suas estratégias, os protocolos de encaminhamento se concentram na melhoria da taxa de entrega de mensagens ou redução da sobrecarga relativa (*overhead* relativo), entre outras métricas de avaliação de desempenho. No entanto, estas métricas não avaliam se a estratégia de encaminhamento usa os recursos de oportunidades de transmissão adequadamente para a aplicação pretendida. A proposta deste trabalho pode servir como uma ferramenta para avaliar protocolos de encaminhamento (novos ou existentes) ou para saber o quanto eles atingiram seu limite superior (*upperbound limit*) do consumo de recursos. É possível, portanto, avaliar qualquer protocolo em qualquer cenário utilizando a soma da taxa de dados e do uso de um conceito definido neste trabalho, as oportunidades de transmissão. Disponibiliza-se então, uma nova maneira de avaliar a qualidade dos protocolos de encaminhamento em relação ao número de recursos consumidos pela estratégia de encaminhamento. Por conceito, essas fontes de recursos receberão o nome de **Oportunidades de Transmissão (OpTs)**.

Neste trabalho não acontece a utilização de vários rádios nas rodadas de simulação. A análise das oportunidades de transmissão ocorre da perspectiva de apenas uma antena. Isso torna possível a observação de que um remetente pode ter apenas uma oportunidade de transmissão ao

mesmo tempo ou várias oportunidades de transmissão ao mesmo tempo. Assim, neste trabalho, o foco dos esforços estão na avaliação de quatro cenários diferentes, três destes cenários com traços reais de movimentação de táxis, e um de movimentação gerada de forma sintética, para demonstrar a quantidade de recursos na rede e analisar a eficiência dos protocolos de encaminhamento. Os resultados obtidos dos dados sintéticos serão comparados aos resultados obtidos nos dados com traços reais.

No trabalho desenvolvido nessa tese é demonstrado que as interações entre o veículo emissor e suas oportunidades de transmissão constituem o principal recurso nas redes veiculares *ad hoc*. Desse modo, as principais contribuições deste trabalho são as seguintes:

- Análise de dados das oportunidades de transmissão existentes e sua quantificação e classificação, considerando oportunidades como seriais quando um veículo emissor só tem uma oportunidade para transmitir em determinado tempo e oportunidade paralela quando o emissor tem duas ou mais oportunidades para transmitir ao mesmo tempo. Com isso, acontece a discussão de como os protocolos de encaminhamento devem satisfazer a condição de variação de densidade causada pela formação dinâmica de enlaces entre veículos (*capítulo 4*);
- Análise de inventário dos recursos de comunicação, avaliando a taxa de transmissão de dados e o impacto da sobrecarga de *beacons* de cada veículo sobre esse inventário. A análise das oportunidades de transmissão entre veículos para demonstrar sua importância no processo de encaminhamento e a afirmação de que o tempo de duração do contato é um indicador da qualidade do enlace para fornecer uma melhor escolha de oportunidades de transmissão em novos projetos de protocolo de encaminhamento (*capítulo 5*);
- A proposta e avaliação de uma nova métrica para a avaliação de desempenho de protocolos de encaminhamento (*capítulo 6*).

1.1 OBJETIVOS

São apresentados nesta seção o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa, considerando a motivação de utilizar os enlaces proporcionados por um único rádio como recurso para criação de uma métrica de avaliação de desempenho em VANETs.

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma nova métrica de avaliação de desempenho em VANETs, por meio da utilização do conceito de oportunidades de transmissão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Classificar e quantificar as oportunidades de transmissão para calcular o volume teórico máximo de dados suportado pela rede, variando o alcance do sinal de rádio;
- Verificar o impacto do consumo de dados causado pela sobrecarga dos beacons (*beacon overhead*);
- Classificar os veículos por duração de contato e propor esse recurso como um indicador de qualidade ao relacionar o tempo de duração do contato com a capacidade teórica máxima em transmitir pacotes de dados de acordo com cada classe obtida;
- Aplicar a nova métrica de avaliação de desempenho em diferentes protocolos de encaminhamento existentes na literatura.

1.2 HIPÓTESES

Nesta seção são apresentadas a hipótese básica e as hipóteses secundárias desta pesquisa, determinando uma forma de analisar a interação entre os veículos em VANETs.

1.2.1 Hipótese Básica

Em toda transmissão veicular *ad hoc*, independente do protocolo de encaminhamento de mensagens e da estratégia de encaminhamento utilizada por este protocolo, existe uma forma de analisar a interação entre veículos, a fim de verificar a quantidade de recursos disponíveis na rede após essa interação. Além disso, é investigada uma forma de realizar a avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento aplicáveis nessas redes.

1.2.2 Hipóteses Secundárias

1. As interações entre veículos emissores e seus possíveis pares receptores, podem apresentar contato entre os veículos em série e em paralelo, com a utilização de um rádio para comunicação entre eles, e com isso indicar aos novos projetos de protocolos de encaminhamento que há uma quantidade teórica máxima de recursos que podem ser explorados para reduzir o desperdício de recursos e melhorar a qualidade de utilização da rede.
2. A quantidade máxima teórica de recursos em uma VANET é proporcional ao raio de alcance do sinal de rádio, considerando que ocorre um aumento no número de contatos e conseqüentemente um aumento na quantidade de recurso e qualidade de transmissão de mensagens na rede veicular ad hoc. Desconsiderando a possibilidade de alcance infinito em que todos os veículos estariam dentro da mesma área de alcance e apenas um veículo estaria transmitindo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho realizado nessa tese será apresentado através da seguinte estrutura. No Capítulo 2 está apresentada a fundamentação teórica desenvolvida no trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a descrição dos recursos, metodologia e métodos aplicados para o desenvolvimento da pesquisa e obtenção dos resultados. Em seguida, o Capítulo 4 descreve o conceito de oportunidades de transmissão e sua divisão em oportunidades em série e em paralelo. O Capítulo 5 mostra os resultados da análise da OpTs, bem como a discussão acerca destes resultados.

No Capítulo 6 ocorre a apresentação das OpTs como métrica de avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento em VANETs, bem como sua aplicação. Para finalizar, o Capítulo 7 traz conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo são apresentados os principais conceitos envolvidos nesse trabalho. Esta revisão procura mostrar conceitos fundamentais acerca de redes veiculares e apresentar as pesquisas que utilizaram como fonte os mesmos traços de movimentação e apresenta as principais métricas utilizadas para avaliar protocolos de encaminhamento em VANETs.

2.1 REDES OPORTUNISTAS

Nas redes oportunistas, nenhuma afirmação é feita no que diz respeito à existência de um caminho fixo entre dois nós que desejam se comunicar. Nós de origem e destino podem nunca estar conectados a mesma rede, ao mesmo tempo. As técnicas aplicadas às redes oportunistas permitem que os nós troquem mensagens entre eles. Um mecanismo do tipo armazena-transporta-encaminha é empregado nos nós intermediários até alcançar o destino de uma mensagem. Esses nós podem armazenar mensagens de outros nós em seu buffer e transportá-las ao longo do seu caminho até que uma oportunidade de contato surja e que o encaminhamento de mensagens seja efetivado (WARTHMAN, 2003) (CERF *et al.*, 2007).

Como mencionado, as redes oportunistas ao contrário das redes *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)*, são redes propensas a frequentes desconexões e tolerantes a atrasos na comunicação. As frequentes desconexões impedem o uso de modelos clássicos de repasse de mensagens, pois os paradigmas TCP/IP utilizam o estabelecimento de um caminho previamente conhecido entre a origem e o destino (KUROSE; ROSS, 2010) (FARRELL *et al.*, 2006). Como consequência, as redes oportunistas empregam o paradigma de armazenar, manter/carregar e enviar, *store-carry-forward*, no qual os nós armazenam as mensagens até que ocorra uma oportunidade de repasse adequada (FARRELL *et al.*, 2006) (ZHANG, 2006).

A desconexão pode ser o estado mais frequente e, como tal, o nó só pode comunicar quando uma ligação é estabelecida com outro nó, assim se estabelece um contato. O nó então, envia a mensagem a ser encaminhada usando o contato recém estabelecido, de acordo com critérios estabelecidos na construção das rotinas de encaminhamento (ZHANG, 2006). O processo de armazenar uma mensagem para transmissão posterior também é conhecido como transferência de custódia (KATABI *et al.*, 2002).

As redes oportunistas apresentam características de manter movimentos conhecidos,

com isso permitem aplicações para redes que tenham movimentos que se repetem e que são conhecidos, como os sistemas de transporte coletivo urbano que possuem pontos de parada e que funcionam em *looping*, com horários e localização pré-determinados. Nessas situações há como prever os movimentos e os pontos de encontro. Da mesma forma, centrais de táxis, rodoviárias permitem aos nós da rede movimentos repetidos.

Conforme propõe Fall (2003), as redes oportunistas violam uma ou mais regras da arquitetura TCP/IP, como a existência de um caminho de ponta a ponta ou ter um tempo de ida e volta limitado entre a origem e o destino. Estas redes são classificadas por uma ou mais das seguintes características: tolerância a atrasos, desconexões frequentes, longos tempos de espera, longevidade limitada e recursos limitados. São redes que possuem mobilidade do nós, densidade esparsa ou conexões não confiáveis.

Neste caso cabe enfatizar, segundo Mota *et al.* (2014) que as *Redes Veiculares* são formadas por veículos autônomos ou não e que interagem em ambientes urbanos, rurais ou rodoviários. Estas redes podem ser aplicadas em cenários de envio de mensagens de segurança do ambiente (estradas, condições climáticas) ou alertas que possam evitar acidentes. Outra aplicação é para melhorar a experiência do condutor e motorista durante a viagem. Este tópico e outros a respeito de redes veiculares serão abordados com mais detalhes na seção 2.1.1.

2.1.1 Redes Veiculares

As MANETs são sistemas distribuídos complexos que compreendem nós móveis sem fio que podem se auto-organizar livre e dinamicamente em formações arbitrárias, formando topologias de rede temporárias, as quais permitem que pessoas e dispositivos realizem conexões em áreas sem infraestrutura de comunicação (CHLAMTAC *et al.*, 2003). Sua aplicação em ambientes urbanos e rodoviários, especificamente tendo os veículos como nós móveis estabelecendo comunicação, proporcionou a abertura de uma nova área de estudo, as redes veiculares (ZEADALLY *et al.*, 2012).

As redes veiculares, *Vehicle Ad Hoc Networks (VANETs)*, são formadas entre veículos, *Vehicle to Vehicle (V2V)* e entre veículos e a infraestrutura fixa existente às margens das autoestradas ou ambientes urbanos, *Vehicle to Infrastructure (V2I)*. Estas redes se diferenciam das MANETs e de outras redes sem fio devido ao tipo dos nós, os quais são compostos por automóveis, táxis, caminhões, ônibus, ambulâncias, entre outros, com interfaces de comunicação sem fio que devem ter a capacidade de atuar como nós roteadores de mensagens (ZEADALLY *et*

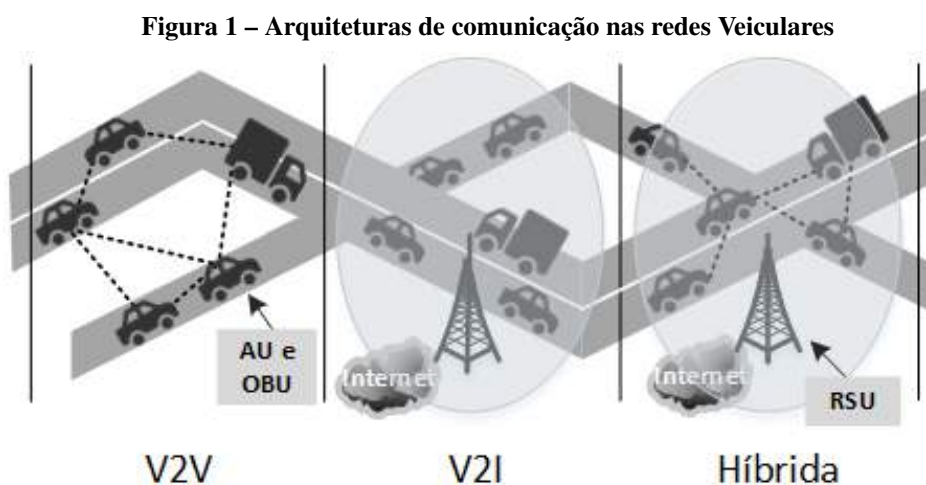
al., 2012) (WEIGLE; OLARIU, 2009).

As pesquisas em redes veiculares aumentam pela necessidade de apoiar o crescente número de dispositivos sem fio que podem ser utilizados em veículos (por exemplo, tablets, telefones móveis, notebooks, entre outros). Com a crescente demanda por dispositivos móveis e as redes de comunicação que se formam entre estes dispositivos, aplicações e desafios se apresentam para exploração das redes veiculares de acordo com as suas características.

2.1.2 Arquitetura

A comunicação em ambientes sem fio veiculares, *Wireless Access in a Vehicular Environment (WAVE)*, é definida pelos documentos do grupo de trabalho do *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* 1609 (JIANG; DELGROSSI, 2008) (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009). Os padrões de comunicação existentes nessa normatização permitem aos condutores e passageiros obter uma gama variada de informações as quais são devidamente utilizadas de acordo com a aplicação e seus requisitos.

A forma com que os nós se comunicam e se organizam define a arquitetura das redes veiculares, conforme mostra a Figura 1. O domínio de comunicação pode ser entre veículos (V2V) ou domínio *ad hoc*; entre veículos e infraestrutura, (V2I) ou domínio infraestruturado; ou ainda de forma híbrida. Seus principais componentes são: a unidade de aplicação, *Application Unit (AU)*; a unidade a bordo do veículo *On-Board Unit (OBU)* e a unidade à margem da estrada *Road Side Unit (RSU)*. Em comunicações *ad hoc*, V2V, utiliza-se AU e OBU; nas comunicações V2I utiliza-se AU, OBU e RSU (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009).



Fonte: Adaptado de Uzcátegui *et al.* (2009).

1. **OBU:** é um dispositivo instalado no veículo para troca de informações V2V ou V2I. Possui em seus recursos: processador, memória de entrada e saída para armazenamento e recuperação de informações, uma interface com o usuário e um dispositivo sem fio baseado no padrão de comunicação de rádio IEEE 802.11p para conexão com outros dispositivos OBUs ou RSUs. Sua principais funções são: acesso pelo rádio; encaminhamento de pacotes *ad hoc* e geográficos e transferência confiável de mensagens (JIANG; DELGROSSI, 2008) (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009) (WEIGLE; OLARIU, 2009).
2. **RSU:** é um dispositivo instalado à margem da estrada/rua/rodovia em locais fixos. Possui como equipamentos um dispositivo de rede para comunicação via rádio no padrão IEEE 802.11p com OBUs e outro dispositivo para comunicação com a rede infraestruturada. Suas principais funções são: estender o alcance da rede *ad hoc* redistribuindo a informação para outras OBUs e enviando a informação para outros RSUs como forma de encaminhar para outros OBUs; utilizar a comunicação I2V - Infrastructure to Vehicle como forma de fonte de informação e rede de acesso à internet para os OBUs (JIANG; DELGROSSI, 2008) (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009) (WEIGLE; OLARIU, 2009).
3. **AU:** é uma unidade física, um dispositivo instalado no veículo que utiliza a capacidade de comunicação da OBU. Uma AU pode ser um dispositivo embarcado, um telefone móvel, um tablet e outros. Sua conexão com a OBU pode ser sem fio ou com fio. A distinção entre a AU e o OBU se dá de forma lógica, a AU se comunica com a rede por meio da OBU, que por sua vez se responsabiliza pela mobilidade e também pelas funções de rede (JIANG; DELGROSSI, 2008) (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009)(WEIGLE; OLARIU, 2009).

A forma como a informação pode ser transferida entre os componentes (AU, OBU e RSU) determina os modelos de comunicação para as redes veiculares, o que impacta no desenvolvimento da aplicação (WEIGLE; OLARIU, 2009) (NAMBOODIRI; GAO, 2007):

- No modelo *unicast* o processo de comunicação ocorre entre o nó de origem e o nó destino. Neste caso, a informação é transmitida por um único caminho, sem ser replicada.
- No modelo *multicast* o processo de comunicação permite que uma mesma mensagem seja enviada para vários destinos. Os nós aos quais a informação se destina precisam pertencer ao mesmo grupo de *multicast*.

- No modelo *broadcast* o processo de comunicação se caracteriza pela difusão da informação, em que um nó da rede envia a informação a todos os outros nós que estão ao alcance do seu sinal.

2.1.3 Tecnologia de acesso sem fio

Há várias tecnologias de acesso sem fio que podem ser utilizadas para atender aos requisitos das redes veiculares. Estas tecnologias devem atender ao objetivo da aplicação e geralmente são ligadas à infraestrutura (RSU) para realizar a coordenação centralizada entre os componentes da rede veicular. Também há tecnologias que operam somente em modo *ad hoc*, assim a coordenação é distribuída entre os veículos (OBUs) (WEIGLE; OLARIU, 2009) (JAKUBIAK; KOUCHERYAVY, 2008) (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009).

Algumas tecnologias de acesso podem ser citadas: as rede de telefonia móvel, redes locais sem fio *Wireless Local Area Network (WLAN)* (WEIGLE; OLARIU, 2009) (MOUSTAFA; ZHANG, 2009), redes sem fio de acesso metropolitano *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* (BHAKTHAVATHSALAM; NAYAK, 2011) e o modelo de comunicação dedicado de curto alcance, *Dedicated Short Range Communications (DSRC)* (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009) (JIANG; DELGROSSI, 2008). Todos estes modelos podem ser utilizados para comunicação V2V ou V2I.

Toda a especificação do protocolo DSRC, incluindo o padrão 802.11p (Camada Física (PHY) e *Medium Access Control (MAC)*), é padronizada pelo grupo de trabalho IEEE 1609 e assim chamado de WAVE (UZCÁTEGUI *et al.*, 2009) (JIANG; DELGROSSI, 2008) (MOUSTAFA; ZHANG, 2009).

O padrão WAVE suporta condições nas quais os veículos possam mover-se em velocidades até de 200 Quilômetros por hora (km/h) e cobrirem áreas de comunicação de até 1000 metros quando a taxa de transferência de dados for maior que 27 Mega bits por segundo (Mbps) e estiver livre de obstáculos (JIANG; DELGROSSI, 2008) (JAKUBIAK; KOUCHERYAVY, 2008) (TOOR *et al.*, 2008).

2.1.4 Características e desafios

As redes veiculares têm suas próprias características quando comparadas com outros tipos de MANETs. Suas peculiaridades são:

- Mobilidade restrita: os nós se movem de forma randômica em diferentes direções, porém são limitados à topologia da infraestrutura viária; devem obedecer a sinalizações (código de trânsito); semáforos e a movimentação dos outros veículos (LIN *et al.*, 2010) (TOOR *et al.*, 2008) (JAKUBIAK; KOUCHERYAVY, 2008).
- Variação da densidade: a densidade da rede varia de acordo com a densidade do tráfego. A variação é sazonal, muda de acordo com o horário e quantidade de veículos em circulação (CUNHA *et al.*, 2015) (TOOR *et al.*, 2008) (YOUSEFI *et al.*, 2006).
- Conexões intermitentes: a duração da conexão entre os veículos é afetada pelo alcance do rádio de comunicação e direção em que se movimentam. A duração da conexão é mais longa para veículos que se movimentam na mesma direção. Esta característica faz com que a topologia seja altamente dinâmica e as frequentes desconexões tornam o diâmetro efetivo da rede menor, assim muitos caminhos são desconectados antes mesmo de serem utilizados (CUNHA *et al.*, 2016) (CUNHA *et al.*, 2015) (YOUSEFI *et al.*, 2006) (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008).
- Atenuação de Sinal: os objetos dispostos como obstáculos entre dois veículos podem afetar o alcance do sinal. Estes objetos podem ser outros veículos ou construções (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008).
- Protocolos de Encaminhamento: as conexões intermitentes tornam o desenvolvimento de protocolos de encaminhamento um desafio. Protocolos de encaminhamento eficientes impactam no desempenho ou na eficiência geral de uma rede veicular (CUNHA *et al.*, 2016) (SHAREF *et al.*, 2014) (CHEN *et al.*, 2011) (LIN *et al.*, 2010).

Abordar tais características e desafios gera esforços na tentativa de fornecer aplicações em redes veiculares. Tais aplicações visam oferecer aos usuários de veículos, especialmente aos motoristas, a melhora do seu comportamento e experiência na interação com as situações do trânsito.

2.1.5 Encaminhamento de pacotes

Conforme descrito nas seções anteriores a respeito da arquitetura das redes veiculares, as atividades de mobilidade e serviços de rede são de responsabilidade dos veículos (OBUs).

Por isso, o processo de transmissão de informação nó a nó é realizado pelos protocolos de encaminhamento.

O encaminhamento é um serviço executado na camada de rede para repassar pacotes de um nó de origem para um nó de destino. Os pacotes são enviados de um nó para outro até atingirem seu destino, cada envio é chamado de salto. O protocolo de encaminhamento é responsável por capacitar cada nó a compreender e escolher qual será o próximo salto para que o pacote possa atingir seu destino. Quando recebem um pacote, os protocolos de encaminhamento realizam uma decisão de repasse ao efetuarem cálculos baseados em estratégias de encaminhamento (KUROSE; ROSS, 2010).

Considerando que, em uma rede veicular, não há garantia de que exista um caminho totalmente conectado entre quaisquer dois veículos a qualquer momento, as transferências de mensagens precisam ser fornecidas pelos veículos (OBUs). Até que surja uma oportunidade para encaminhar a mensagem, um veículo pode precisar armazenar várias mensagens em seu *buffer*. Também é possível que apenas um contato esteja disponível por vez e não tenha recursos suficientes para receber todas as mensagens (VENDRAMIN *et al.*, 2012).

Vendramin *et al.* (2012) explica que os protocolos de encaminhamento precisam considerar os seguintes desafios:

- Devido à duração limitada de cada contato, é importante determinar quais e em que ordem as mensagens devem ser encaminhadas quando surge uma oportunidade;
- Se mais de um contato estiver disponível em um determinado momento, o contato mais promissor, ou os contatos mais promissores, para onde cada mensagem deve ser encaminhada deve ser determinado.
- Se um *buffer* atinge sua capacidade de armazenamento e uma nova mensagem precisa ser recebida, é importante determinar corretamente qual mensagem deve ser descartada para acomodar a nova, enquanto limita o impacto sobre a confiabilidade das mensagens descartadas.

Os protocolos de encaminhamento em redes veiculares podem ser classificados de acordo com a relação com o ambiente, conforme proposto por (MOTA *et al.*, 2014):

- Livre de Contexto: o protocolo não tem conhecimento sobre a rede, topologia ou a frequência de encontros entre os nós. O nó envia a mensagem somente com base em suas

condições.

- **Parcial:** o protocolo reúne informações sobre seus encontros com outros nós ou infere a mobilidade dos nós. Estes protocolos utilizam esta informação para selecionar o melhor nó para enviar a mensagem para o destino.
- **Ligado ao Contexto:** o protocolo utiliza a informação dos seus arredores. Além de explorar a frequência de encontros e o histórico de contatos, também pode realizar a análise das informações baseadas nos hábitos dos nós e relacionamentos entre eles.

Esta classificação é importante e deve ser acrescentada ao modo de operação para o desenvolvimento de novos protocolos de encaminhamento. De acordo com o modo de operação os protocolos são classificados como (SHAREF *et al.*, 2014) (JUNIOR; WILLE, 2015) (KUMAR; DAVE, 2011):

- **Topológicos:** funcionam em modo unicast na arquitetura V2V. Possuem dois grupos principais: proativos e reativos. Os protocolos proativos mantêm informações sobre a topologia da rede continuamente atualizadas. Quando um nó necessita enviar uma mensagem, ele sabe previamente qual rota seguir. Podem ter alta sobrecarga de mensagens de controle, pois para manter as tabelas de encaminhamento atualizadas, mensagens são periodicamente enviadas para todos os nós em suas tabelas de encaminhamento, independente do uso das rotas armazenadas.

Os protocolos reativos não mantêm informações de encaminhamento atualizadas, descobrem as rotas apenas quando um nó de origem precisa transmitir pacotes de dados para um nó de destino. Quando a origem quer enviar uma mensagem para um destino, inicia-se um processo de descoberta de rota. Quando a rota é estabelecida, ela é mantida na tabela de encaminhamento dos nós até que o destino se torne inalcançável ou a origem não deseje mais a rota. Tais protocolos apresentam sobrecarga de mensagens de controle baixa, embora aumentem a latência do procedimento de descoberta de rotas.

- **Geográficos:** trabalham em modo *unicast* na arquitetura híbrida. Caracterizam-se por encontrar o melhor caminho entre a origem e o destino com base em suas posições geográficas (latitude e longitude), fato este que obriga cada um dos nós a possuir um sistema de localização geográfica. Os pacotes são enviados ao destino por múltiplos saltos, mas para acontecer o nó precisa conhecer a posição geográfica dos seus vizinhos.

O foco destes protocolos é permitir escalabilidade em ambientes de alta mobilidade, já que não é necessário manter informação sobre as rotas de todos os nós nas tabelas de encaminhamento, pois esta informação é determinada no momento em que os pacotes devem ser transmitidos ou retransmitidos.

- **Disseminação:** os protocolos de disseminação podem ser classificados de acordo com o tipo de arquitetura em V2I ou V2V e caracterizam-se por enviar as informações em *broadcast* (para todos os veículos da rede que possam escutar o sinal) ou *geocast* (para todos os veículos de uma determinada região geográfica. Passa a transmitir quando chega nessa região).
- **Oportunísticos:** Os protocolos oportunísticos podem ser classificados de acordo com o tipo de arquitetura em V2V. Este método consiste em transportar ou armazenar as informações durante certo intervalo de tempo, voltar a transmitir quando for possível. Estes protocolos estabelecem rotas entre pares de origens e destinos em *unicast*, mas apresentam uma grande vantagem, que é aproveitar oportunidades de contato para encaminhar uma ou mais mensagens, na esperança deste contato um dia encontrar o destino da(s) mensagem(ns).
que é a possibilidade de se aproveitar da conectividade temporária entre os diversos nós da rede para o encaminhamento das mensagens.

2.1.6 Aplicação

As comunicações V2V e V2I permitem o desenvolvimento de um grande número de aplicações, e podem prover aos motoristas e passageiros várias opções de aplicação.

A integração de dispositivos embarcados com interfaces de rede, diferentes tipos de sensores e receptores de posicionamento geográfico garante aos veículos a habilidade de coletar, processar e disseminar informações sobre o próprio veículo e sobre o seu ambiente para outros veículos que estejam próximos em sua área de alcance. Isto resulta em aplicações de segurança nas estradas, conforto e entretenimento de passageiros.

Há também uma área de estudos em redes veiculares que trata da segurança, porém no sentido de invasão cibernética, ataques cibernéticos, problemas na arquitetura das VANETs (RAYA; HUBAUX, 2005) (ENGOULOU *et al.*, 2014). Contudo, neste trabalho quando ocorrem citações de aplicações de segurança em redes veiculares, estas citações não dizem respeito a este assunto.

As aplicações em redes veiculares são direcionadas a (CUNHA *et al.*, 2016) (BARBA *et al.*, 2012) (TOOR *et al.*, 2008) (JAKUBIAK; KOUCHERYAVY, 2008):

- **Conforto e Entretenimento:** são aplicações para tornar a viagem, tanto dos passageiros quanto do motorista, mais agradável e melhorar a eficiência do tráfego, diminuir a poluição ambiental e aumentar o rendimento dos veículos. Tais aplicações entregam para o usuário do veículo informações sobre o clima ou sobre o trânsito, assim como a localização detalhada de estabelecimentos (postos de combustível, restaurantes, entre outros). Caso os veículos estejam conectados à infraestrutura os usuários podem acessar a Internet.
- **Segurança:** As aplicações de segurança têm como requisito essencial a capacidade de coletar informações dos sensores do veículo ou da infraestrutura, a fim de processar e disseminar informações sob a forma de mensagens de segurança para outros veículos ou para a infraestrutura. Suas principais aplicações são para prevenção de acidentes, segurança pública, alerta sobre sinalização de trânsito, diagnóstico e manutenção de veículos e informação de outros veículos. Dois tipos de mensagens são disseminadas nas aplicações de segurança das redes veiculares. As mensagens periódicas precisam ser disseminadas frequentemente com as informações relacionadas ao tipo de aplicação. A condição extra que se apresenta é o cuidado com o consumo excessivo de banda isto é, evitar a tempestade de *broadcast*. Já as mensagens dirigidas ao evento, são mensagens de alta prioridade geradas em condições de necessidade de alerta de acordo com a aplicação. A condição extra que se apresenta é que a entrega das mensagens deve ser muito rápida e precisa ou seu uso não gera benefício (WEIGLE; OLARIU, 2009).

Nas redes veiculares, a capacidade de comunicação entre veículos é a característica mais importante. É a capacidade dos veículos em receber, processar, enviar, armazenar e encaminhar mensagens pela rede. O principal objetivo é garantir a comunicação entre os veículos e oferecer as mínimas condições para atender as aplicações que possuem diferentes requisitos e regras de negócio.

2.2 TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção possui duas partes. Na primeira, ocorre a apresentação de pesquisas que usaram os mesmos traços utilizados nesse trabalho, contudo tinham objetivos diferentes ao

analisar a mobilidade de veículos. Já na segunda, apresentam-se alguns dos principais protocolos de encaminhamento aplicados às redes tolerantes a atrasos e interrupções (DTNs) e também às VANETs, especificamente para mostrar por qual tipo de métrica de desempenho ou de eficiência tais protocolos costumam ser submetidos.

2.2.1 Estudo dos Traços Reais de Táxis e Análise de Dados

O estudo da evolução das topologias em redes veiculares, realizado por Chen *et al.* (2013), analisou a estabilidade e a variação dos componentes conectados ao longo do tempo para propor orientações que ajudem no projeto de protocolos de encaminhamento. Huang *et al.* (2012) e Huang *et al.* (2010) extraíram um modelo de mobilidade das bases reais de movimentação de veículos para capturar características microscópicas e macroscópicas e gerar modelos sintéticos para simulações.

Em sua pesquisa utilizando traços reais, Cunha *et al.* (2014) procuraram definir quão eficaz é analisar uma rede veicular por meio da percepção social e ainda usar estas percepções sociais como forma de transmitir mensagens em redes veiculares. Numa outra investigação, Cunha *et al.* (2015) usaram várias técnicas para extrair propriedades sociais e comportamentos sociais dos veículos e descobriram a existência de interesses e regularidades comuns nos encontros entre veículos. Em outro estudo, Cunha *et al.* (2014) investigaram a possibilidade de encontrar propriedades sociais em redes de veículos. Portanto, é possível encontrar tais propriedades, assim como aplicá-las na proposta de protocolos de encaminhamento, ou utilizar em estratégias de encaminhamento de mensagens em redes veiculares de forma geral.

No entanto, por mais que as pesquisas mencionadas tenham utilizado as mesmas bases de traços reais de movimentação de táxis, o propósito de investigação destas pesquisas não foi analisar as oportunidades de transmissão presentes no contato entre os táxis, e tão pouco analisou a visão individual de um veículo em relação a tais oportunidades de transmissão. Também não foi encontrada uma métrica capaz de mostrar até onde é possível avançar as pesquisas sobre DTN, isto é, que mostre o limite teórico superior que as comunicações possam chegar. Para assim mostrar para a comunidade se existe espaço na pesquisa para melhorar os protocolos de encaminhamento, ou se as propostas apresentadas já estão alcançando o resultado próximo ao máximo teórico.

Estes aspectos, que não foram abordados com a utilização das bases de traços reais, são o foco de abordagem deste trabalho.

Há um trabalho correlato desenvolvido por Dias e Costa (2016) que aborda o mesmo contexto deste trabalho, a análise da capacidade de dados de uma rede de ônibus urbanos. Dias e Costa (2016) consideram que nesse contexto as redes veiculares permitem interconectar veículos, usuários e pontos de infraestrutura e em conjunto com a tecnologia de redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN) transportar informações mesmo sem cobertura em toda a cidade. A pesquisa analisa a possibilidade de criação de redes veiculares tolerantes a atraso na cidade do Rio de Janeiro utilizando as posições reportadas pelos ônibus através das informações do *Global Position System* (GPS) (i.e. utilizam dados reais de movimentação), para determinar a viabilidade de transmissão de dados entre ônibus durante o dia.

A pesquisa realizada por Dias e Costa (2016) não utiliza o conceito de oportunidades de transmissão para avaliar a capacidade de dados e também, não propõe a criação de uma métrica para avaliação de desempenho. Na pesquisa os autores acumulam a quantidade de dados que podem ser trocados quando os ônibus estão em contato em uma parada. Em seguida medem a quantidade de dados que pode ser movido de um ponto de parada a outro. Realizaram um comparação com o uso de uma mídia removível (i.e. Memória Flash) para medir a capacidade de transporte de dados. Já neste trabalho é realizada a medição da capacidade de geração e de consumo de recursos em uma rede sem considerar locais específicos de um ponto a outro, mas sim toda a interação entre os veículos pertencente à rede durante o tempo de existência da rede. A cada interação entre os veículos, é medido o tempo de duração do contato e a capacidade de geração de dados para posteriormente calcular a eficiência dos protocolos no uso dos recursos gerados.

Em seu outro trabalho, Dias *et al.* (2018) examinaram a possibilidade da criação de uma rede veicular tolerante a atrasos na cidade do Rio de Janeiro, utilizando o sistema de transporte público como portador de dados. Dias *et al.* (2018) avaliaram a capacidade de tal rede analisando um grande conjunto de dados de mobilidade contendo as posições de GPS de 12.456 ônibus e 5.833 táxis durante um período de 24 horas. Os resultados do trabalho confirmaram a viabilidade da abordagem e revelaram que centenas de Terabytes podem circular pela cidade diariamente, ao mesmo tempo que alcançaram uma cobertura significativa da cidade. Contudo, este trabalho não se trata de uma métrica para avaliação de desempenho da rede, mas sim um forma de utilizar os modos públicos de transporte para transportar dados ao longo do ambiente urbano.

2.2.2 Métricas de Desempenho

Petz *et al.* (2009) desenvolveram um conjunto de modelos de mobilidade especificamente para DTNs. Os autores apresentam uma série de métricas que podem ser usadas para raciocinar sobre modelos de mobilidade, independentemente de quais protocolos de comunicação e padrões de tráfego de dados estejam em uso. Essas métricas podem ser usadas para comparar modelos de mobilidade existentes e também para fornecer uma visão sobre quais características dos modelos de mobilidade afetam quais aspectos do desempenho de protocolos.

Para realizar uma avaliação relevante das estratégias de roteamento em ambientes de simulação para redes DTN, Grasic e Lindgren (2012) propuseram um modelo para avaliação de estratégias de roteamento DTN que descreve as entradas mais importantes que precisam ser consideradas no processo de avaliação. Portanto, a métrica considera na sua avaliação as seguintes entradas: protocolo de roteamento, parâmetros de protocolo de roteamento, conectividade, mobilidade, tráfego de rede, recursos de nó e tempo. Como saída são avaliados dados como atraso na entrega, número de saltos e taxa de entrega. O objetivo de Grasic e Lindgren (2012) com esta métrica não é tornar todos os cenários de avaliação idênticos, mas motivar os pesquisadores de DTN a se esforçarem mais para discutir sua seleção de entradas no ambiente simulado.

Zhuo *et al.* (2011) propuseram uma nova métrica de centralidade baseada em *clusters* para avaliar a capacidade de *buffer* de cada nó dentro de uma comunidade. Os autores consideram que o impacto da limitação da duração do tempo de contato não é considerado por outras métricas para análise da capacidade de buffer e da mesma forma para a avaliação de protocolos.

2.2.3 Métricas de Desempenho para Estratégias de Encaminhamento e para Protocolos de Encaminhamento

Para descrever as principais métricas de avaliação de protocolos de encaminhamento, optou-se por escolher tipos de protocolos de encaminhamento que se encaixam na classificação abordada da seção 2.1.5, e que usam algumas das diferentes estratégias de encaminhamento disponíveis. A rigor, neste trabalho, assume-se que uma estratégia de encaminhamento é a forma como o veículo remetente usa as informações obtidas da rede para escolher o próximo salto para encaminhar pacotes de dados e assim alcançar o destino.

As estratégias de encaminhamento de mensagens, comumente aplicadas na criação de protocolos de encaminhamento para redes veiculares, escolhidas para utilização neste trabalho

têm como base: inundação, probabilidade, comportamento social, informações topológicas e geográficas. Todos esses tipos de estratégias aqui citadas, são de protocolos *beacon-based*, isto é, baseados em envio de mensagens de aviso *beacons* as quais permitem descobrir os veículos existentes na rede e passíveis de estabelecer comunicação, sem considerar redes desconectadas.

Existem, portanto, diferentes métricas de avaliação de desempenho ou eficiência de protocolos de encaminhamento. A rigor, neste trabalho, assume-se que uma métrica de avaliação de eficiência é uma medida aplicada para analisar a eficiência de uma estratégia de um protocolo de encaminhamento, e assim avaliar a qualidade dos protocolos de encaminhamento disponíveis na literatura.

Por isso, na sequência dessa seção, mostram-se os protocolos de encaminhamento de mensagens para VANETs, que usam diferentes tipos de estratégias de encaminhamento. Além disso, são mostrados diferentes tipos de métricas de avaliação de desempenho frequentemente usadas para avaliar tais protocolos. Alguns dos protocolos de encaminhamento apresentados na sequência, serão utilizados no capítulo 6 onde ocorre a apresentação das oportunidades de transmissão como métrica e por fim na seção 6.2 onde aplica-se a métrica Oportunidades de Transmissão.

É comum usar o protocolo Epidêmico como referência para a avaliação de propostas de encaminhamento (AWANG *et al.*, 2017), (VAHDAT *et al.*, 2000). O Epidêmico é um protocolo de encaminhamento baseado em inundações, e que usa como estratégia para transmitir mensagens a ideia similar de transmissão de uma doença por contágio. Um nó recebe uma mensagem e encaminha para todos os seus nós vizinhos, que repetem esse processo, inundando a rede com mensagens. Este ciclo se repete até que a mensagem chegue ao seu destino, ou até atingir um número máximo de saltos, ou ainda se o tempo de vida, Time to Live (TTL), da mensagem expirar. Algumas das métricas utilizadas para os testes de avaliação de desempenho aplicados ao Epidêmico: taxa de entrega de mensagens, latência, utilização de buffer e a contagem de saltos (VAHDAT *et al.*, 2000).

Da mesma forma, é comum usar o protocolo *Prophet* (LINDGREN *et al.*, 2003) como linha de base para avaliar novas propostas de protocolos de encaminhamento em VANETs e DTNs (AWANG *et al.*, 2017) (MOTA *et al.*, 2014). O *Prophet* usa uma estratégia probabilística de encaminhamento que indica a probabilidade de um nó de origem conseguir entregar uma mensagem para um determinado nó de destino. Esse protocolo utiliza o histórico de encontros e transitividade dos nós (LINDGREN *et al.*, 2003). Da mesma forma que o protocolo Epidêmico,

algumas das métricas utilizada para os testes de avaliação de desempenho aplicados ao *Prophet* são: taxa de entrega de mensagens, latência, utilização de buffer e a contagem de saltos.

O *BubbleRap* (HUI *et al.*, 2010) é um protocolo de encaminhamento que usa medidas de redes sociais para escolher quais nós devem retransmitir uma mensagem. Primeiro detecta as comunidades de nós e em seguida usa uma medida de centralidade para classificar um nó e torná-lo o concentrador de encaminhamento principal de uma comunidade. Se um nó de destino pertencer a sua comunidade, o nó com maior grau na comunidade receberá a mensagem. No entanto, se um nó de destino pertencer a outra comunidade, o nó concentrador principal de todas as outras comunidades conhecidas receberá uma cópia da mensagem (HUI *et al.*, 2010).

O protocolo *Trajectory-Driven Opportunistic Routing (TDOR)* (CAO *et al.*, 2018) é um protocolo de encaminhamento oportunista orientado por trajetória e aplicado a VANETs esparsas. Esse protocolo utiliza as informações de GPS do sistema de navegação de veículos para auxiliar na transmissão de dados. Ele seleciona o nó de destino com base na proximidade da trajetória e visa fornecer entrega confiável e eficiente de mensagens. As métricas de desempenho aplicadas para avaliar o protocolo TDOR foram: taxa de entrega de mensagens, latência média de entrega e taxa de sobrecarga relativa de mensagens (*overhead*) (CAO *et al.*, 2018).

Multimetric Geographic Routing (M-GEDIR) (HASSAN *et al.*, 2018) é um protocolo de encaminhamento geográfico multi-métrico para a seleção do próximo salto. Esse protocolo seleciona o próximo nó para encaminhar a mensagem em regiões de encaminhamento dinâmico e considera os principais parâmetros dos ambientes urbanos, incluindo a intensidade do sinal recebido, a posição futura dos veículos e veículos da área crítica no limite do alcance da transmissão, além da velocidade, distância e direção. Para a avaliação de desempenho do M-GEDIR, os autores utilizaram métricas de atraso de ponta-a-ponta, falha de conexão e taxa de transferência de mensagens (HASSAN *et al.*, 2018).

Context-aware Routing in Delay and Disruption Tolerant Networks (CARTOON) (OLIVEIRA *et al.*, 2016) é um protocolo de encaminhamento sensível a contexto para redes oportunistas baseado no conceito de adaptação ao contexto. Em vez de empregar uma camada de adaptação simples para detectar o contexto da rede e manipular os valores de acordo com os parâmetros, esse protocolo leva o conceito de adaptação ao seu núcleo, podendo alterar o modo de disseminação de mensagens. O CARTOON pode decidir entre o uso de disseminação probabilística ou epidêmica. Os autores avaliaram esse protocolo em múltiplos cenários diferentes e usaram como métricas de avaliação de desempenho: taxa de entrega de mensagens, o atraso

médio de ponta-a-ponta e o número de mensagens entregues.

O GeOpps-N (RIOS, 2016) é um protocolo de encaminhamento baseado em topologia híbrida para comunicações entre ônibus e centros de controle de operações em um sistema de transporte público. Este protocolo opera em VANETs com cenários de baixa densidade. O GeOpps-N procura nós de retransmissão, que podem transportar ou retransmitir com eficiência os dados para a RSU mais próxima. Para avaliação do protocolo, os autores usaram métricas como: taxa de entrega de mensagens, atraso de ponta-a-ponta e taxa de sobrecarga (*overhead*) (RIOS, 2016).

Abuashour e Kadoch (2017) apresentaram três protocolos de encaminhamento para VANETs. O *Cluster-based Lifetime Routing (CBLTR)* é um protocolo de encaminhamento baseado em agrupamentos e no tempo de vida da mensagem. Visa aumentar a estabilidade do caminho e o rendimento médio em um cenário de segmento bidirecional. O *Intersection Dynamic Forwarding Protocol (IDVR)* é um protocolo de encaminhamento dinâmico de interseção que também visa aumentar a estabilidade do caminho e a taxa de transferência média, mas também reduzir o atraso de ponta-a-ponta em uma topologia de grade. *Control Overhead Reduction Forwarding Protocol (CORA)* trata-se um protocolo que visa reduzir as mensagens de overhead de controle nos agrupamentos, desenvolvendo um novo mecanismo para calcular o número ideal de mensagens de overhead de controle entre os membros do agrupamento e o nó principal do agrupamento. Para avaliar os protocolos, os autores usaram: taxa de transferência média de mensagens, atraso de ponta-a-ponta e o número de mensagens.

Kaur *et al.* (2017) propuseram dois protocolos de encaminhamento geográfico. O *Greedy Perimeter Stateless Forwarding Protocol (GPSR)* é um protocolo baseado na técnica gulosa de encaminhamento. Já o *Anchor-based Street and Traffic-aware Routing (A-STAR)* é um protocolo de encaminhamento baseado nas condições de tráfego. Ambos foram projetados para trabalhar com mapas reais da cidade. Em termos de análise de desempenho, os autores avaliaram a taxa de transferência, a taxa de entrega de pacotes, a perda de pacotes e o atraso médio.

O *Enhanced Geographical Source Routing (EGRS)* (GOUDARZI *et al.*, 2018) é um protocolo de encaminhamento com reconhecimento de tráfego baseado na metaheurística de otimização por colônia de formigas para encontrar uma rota que possua ótima conectividade de rede. O protocolo é baseado nas condições de tráfego e não é sensível ao movimento dos nós. Ao definir uma área em torno de cada junção, chamada área de ancoragem, os veículos nessa área cooperam para encaminhar mensagens. Para avaliar esse protocolo de encaminhamento, os

autores usaram taxa de entrega, taxa de sobrecarga e perda de pacotes (GOUDARZI *et al.*, 2018).

O PA-GPSR (SILVA *et al.*, 2019) é um protocolo de encaminhamento de perímetro geográfico com reconhecimento de caminho para VANETs. Este protocolo aplica uma tabela para selecionar o melhor caminho e ignorar os nós que entregaram esses pacotes anteriores no modo de recuperação. Ele pode eliminar os *loops* de encaminhamento de pacotes, evitando a entrega do mesmo pacote ao mesmo nó vizinho. Em termos de análise de desempenho, os autores avaliaram a taxa de perda de pacote e o atraso de ponta-a-ponta (SILVA *et al.*, 2019).

Nesta seção são mostradas algumas diferentes estratégias de encaminhamento comumente aplicadas em projetos de protocolos de encaminhamento para VANETs. A Tabela 1 apresenta um resumo dos protocolos de encaminhamento e das métricas de desempenho usadas para avaliá-los.

Tabela 1 – Resumo dos protocolos de encaminhamento e métricas de avaliação.

Protocolo	Estratégia	Cenário	Métricas de avaliação
Epidemic	Inundação	Artificial	Taxa de entrega, latência e número de saltos
Prophet	Probabilístico	Artificial	Média de mensagens recebidas, média de mensagens encaminhadas e atraso médio.
BubbleRap	Social	Realístico	Taxa de entrega e custo total.
TDOR	Geográfico (GPS)	Artificial	Taxa de entrega, latência e overhead relativo.
M-GEDIR	Multi-estratégias (Geográfico, força do sinal e posição)	Artificial	Atraso fim-a-fim, falha de link e throughput.
CARTOON	Probabilístico e inundação adaptativa	Realístico	Taxa de entrega, atraso fim-a-fim e número de mensagens entregues.
GeOpps-N	Topológico	Artificial	Taxa de entrega, atraso fim-a-fim e overhead relativo.
CBLTR, IDVR and CORA	Social e Geográfico	Artificial	Throughput médio, atraso fim-a-fim e número de mensagens entregues.
A-STAR and GPSR	Geográfico	Realístico	Throughput, taxa de entrega, perda de pacotes e atraso.
EGSR	Social	Artificial	Taxa de entrega, overhead relativo e perda de pacotes.
PA-GPSR	Geographic	Artificial	Perda de pacotes e atraso fim-a-fim

Fonte: Autoria própria (2020).

Existem, portanto, várias estratégias de encaminhamento e métricas de avaliação de desempenho. Independentemente da estratégia de encaminhamento, ao menos uma métrica deve avaliar seu desempenho. Apesar disso, nenhuma das métricas citadas anteriormente utiliza o

consumo de recursos, as oportunidades de transmissão, ou o tempo de duração do contato para avaliar a qualidade de qualquer estratégia de encaminhamento. Neste trabalho, aborda-se esta questão. A Tabela 2 mostra o estado da arte das métricas de avaliação de desempenho e eficiência para protocolos de encaminhamento de forma que possa ser comparada com a novidade da proposta deste trabalho.

Tabela 2 – Resumo das métricas de avaliação de desempenho

Métrica	Descrição
Mensagens Criadas (MC)	Número total de mensagens criadas. Não inclui replicação.
Mensagens Transmitidas (MT)	Número total de transmissões bem sucedidas entre dois nós.
Mensagens Abortadas (MA) e Perda de Pacotes	Número total de transmissões de mensagens que falharam antes de concluídas. As mensagens abortadas acontecem devido à desconexão durante a transmissão entre dois nós.
Mensagens Iniciadas (MI)	Número total de transmissões iniciadas. $MI = MT + MA$.
Mensagens Descartadas (MD)	Número total de mensagens descartadas do buffer dos nós antes de serem entregues ao nó destinatário.
Mensagens Entregues (ME)	Número total de mensagens entregues com sucesso aos nós destinatários.
Taxa de Mensagens Entregues (TME)	Percentual de mensagens entregues. $TME = (ME/MC) * 100$
Overhead Relativo (OR)	Uma avaliação da eficiência da largura de banda. É o número de cópias criadas por mensagem entregue. Isso equivale ao número de réplicas necessárias para executar uma entrega bem-sucedida.
Latência	Latência média do atraso de mensagens da criação até a entrega ao destinatário.
Número de Saltos	Número médio de saltos entre o nó de origem e o nó de destino para todas as mensagens criadas e entregues.
Tempo de Uso do Buffer	Tempo médio que uma mensagem fica no buffer de cada nó.
Tamanho de Uso do Buffer	Tamanho médio de dados ocupados pelas mensagens no buffer de cada nó.
RTT	Média do Round-Trip-Time. Média de tempo da criação até a confirmação da entrega.
Atraso fim-a-fim	Tempo gasto para transmissão de mensagens através da rede desde o nó de origem até o nó de destino.
Throughput	O número de transações por segundo que um aplicativo pode manipular, a quantidade de transações produzidas ao longo do tempo durante um teste.
Falha de Link	The period of consecutive packet loss that can last for many seconds, followed by a change in delay after the link is re-established.
Oportunidades de Transmissão (Métrica OpTs)	A proporção entre a quantidade total de recursos que um protocolo poderia ter e o número real de recursos usados por este protocolo.

Fonte: Autoria própria (2020).

2.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo observou-se que uma rede veicular é composta por um conjunto de veículos que interagem a medida que estabelecem contatos, o que identifica um sistema de comunicação oportunista. Como característica, um veículo não atua na rede de maneira isolada, isto é, seu comportamento individual pode ser utilizado para propagar informação para outros

veículos na rede.

Assim, os diversos níveis na arquitetura definem a forma como os nós se organizam e se comunicam ao utilizar os seus componentes. Nestas redes cada nó é um elemento oportunista, o qual pode explorar os algoritmos de encaminhamento para se comunicar entre si, e conforme a informação se propaga nos diversos níveis da arquitetura é possível alcançar nós que estão muito distantes, sempre em função do tempo. Como exemplo, em um primeiro nível da arquitetura, haveria alguns veículos (por exemplo, táxis) com movimentação restrita a região central de uma cidade se comunicando entre si. Para que estes táxis alcancem outros táxis em outra região mais distante, um outro nível da arquitetura pode ser aplicado para ter um encaminhamento efetivo, por exemplo, a rede de ônibus da cidade.

O desempenho das VANETs depende muito do modelo de mobilidade, do protocolo de encaminhamento, da manutenção da estrada, do ambiente de direção e de muitos outros fatores. Cada cenário possui seus próprios recursos, critérios e requisitos. Ainda há a atenção às questões que envolvem a disseminação de informação, que é um dos principais problemas para as VANETs, tendo em mente, que características típicas como mudanças frequentes na topologia de rede, maior velocidade de nós, rotas de tráfego fixas e densidade de veículos dentro da rede são variáveis indispensáveis.

Este capítulo mostrou os principais conceitos clássicos pertinentes ao entendimento, aplicação e representação de redes veiculares. Da mesma forma, foram apresentados os trabalhos correlatos que justificam a proposta deste trabalho no que tange a proposição de uma nova métrica para avaliação de desempenho de protocolos de encaminhamento. A análise dos trabalhos correlatos mostrou como as bases utilizadas neste trabalho foram exploradas em outras pesquisas, porém com abordagens diferentes da proposta nesse trabalho. Isso mostra que diferentes pesquisas podem explorar um mesmo conjunto de dados com finalidades distintas e inéditas, todas de grande relevância à pesquisa acadêmica na área. Nesse mesmo assunto, ainda houve a abordagem de quais são as principais métricas utilizadas para avaliar protocolos de encaminhamento de mensagens em VANETs. A exposição destas ferramentas de avaliação tem grande importância, pois esse trabalho propõe de forma inédita uma métrica de avaliação de eficiência de redes ad-hoc veiculares que tem por base o conceito de **oportunidades de transmissão** introduzido e criado durante essa pesquisa. Na sequência, o capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa no ambiente de VANETs.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a metodologia e a descrição dos métodos aplicados no desenvolvimento deste trabalho. Na seção 3.1 são apresentados os traços de movimentação utilizados e os procedimentos para obtê-los. A seção 3.2 apresenta a definição dos GVTs para análise dos traços. Por sua vez, a seção 3.3 descreve os procedimentos de aquisição de dados para essa análise.

3.1 DADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS

Como fonte de movimentação de veículos, utilizou-se as bases de dados fornecidas por Celes *et al.* (2017). Estes arquivos contêm os dados de movimentação de táxis coletados do mundo real. São vinte e quatro horas, 1 (um) dia, referentes às cidades: Roma (Itália), San Francisco (EUA) e Shanghai (China).

As bases originais foram melhoradas a partir do preenchimento das lacunas existentes de acordo com a granularidade das leituras, tornando o conjunto de dados mais uniforme. Esta uniformização foi realizada por meio de um sistema de referência baseado em agrupamentos por meio de um método de calibração proposto por (CELES *et al.*, 2017). A calibração consiste em retirar pontos de localização dos veículos que estão fora dos limites da via devido aos erros de leitura e precisão do GPS. A calibração também diz respeito ao preenchimento de lacunas existentes entre leituras obedecendo o intervalo de leitura e registro dos pontos de localização dos veículos (CELES *et al.*, 2017).

Celes *et al.* (2017) afirmam que a aplicação do método de calibração aos registros reais de mobilidade veicular melhoram sua qualidade, levando a resultados de análises de movimentação e simulação mais confiáveis.

As vinte e quatro horas de dados calibrados e disponibilizados pelos autores da pesquisa contêm para as três bases os mesmos tipos de dados: Identificador do Veículo (ID), hora em que o dado foi coletado (Data/Hora) e posição geográfica do veículo (Latitude e Longitude). O que diferencia estas bases são: a quantidade de táxis existentes em cada uma delas e as peculiaridades de cada cidade no que diz respeito aos costumes locais, horário de trabalho, horário de descanso e regiões de maior movimento de pessoas e veículos. Para a cidade de Roma os dados do dia 04/02/2014 contêm 3.843.043 registros e 187 táxis e o intervalo de leitura é de 7 segundos. Para os dados de San Francisco o dia 20/05/2008 contém 8.327.920 registros e 468 táxis e o intervalo

de leitura é de 1 segundo. Já para Shanghai as leituras do dia 20/02/2007 contêm 13.410.782 registros e 4.252 táxis e o intervalo de leitura é de 1 segundo.

Todos os registros do posicionamento dos veículos foram obtidos por meio de equipamentos de GPS instalados no interior dos táxis.

Os traços de Roma, San Francisco e Shanghai têm sua utilização na definição das oportunidades de transmissão (capítulo 4) e no resultado da análise das oportunidades de transmissão (capítulo 5). Porém, um cenário pseudoaleatório é adicionado com base no mapa de Helsinki. Este cenário tem a mesma distribuição de grau para a quantidade de veículos do que o cenário de Roma. Enfim, no capítulo 6 utilizam-se os traços de Helsinki, Roma e San Francisco.

3.2 DEFINIÇÃO DO GRAFO VARIANTE NO TEMPO (GVT)

Neste trabalho considera-se que a formação de um encontro ocorre quando dois veículos estão no alcance de comunicação um do outro. Na padronização IEEE 802.11p o alcance de comunicação teórica do sinal de rádio pode variar de 0 a 1.000 metros. (JIANG; DELGROSSI, 2008). Por isso, durante a investigação deste trabalho aplicam-se os seguintes raios de alcance¹ 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m e 1000 m. A distância entre os veículos é obtida por meio da equação de haversine (ROBUSTO, 1957). Os dados de movimentação dos táxis estão em ambiente urbano e a velocidade dos veículos varia entre 0 e 100 km/h, com uma velocidade média para Roma de 20 km/h, para San Francisco de 25 km/h e para Shanghai de 20 km/h.

Para as redes veiculares a definição de grafos estáticos não descreve adequadamente o comportamento desses sistemas. Em redes estáticas, se um vértice u está diretamente conectado ao vértice v e v está diretamente conectado ao vértice w , então u está indiretamente conectado a w por um caminho que passa por v (WEST *et al.*, 2001). No entanto, em Grafos Variantes no Tempo (GVTs) (WEHMUTH *et al.*, 2015) (HOLME; SARAMÄKI, 2012), se a aresta $\{u,v\}$ estiver ativa somente em um instante posterior no tempo que a aresta $\{v,w\}$, então u e w estão desconectados, pois nada pode se propagar de u via v para w . Assim, o tempo é uma dimensão importante para a análise e entendimento das interações entre os vértices em uma rede veicular.

¹ Os raios de alcance nominais propostos pelo padrão IEEE 802.11p vão até 1.000 m. Por isso, manteve-se como raio máximo 1.000 m que seria o pior caso com a menor taxa de transmissão de dados teórica. Contudo Almeida *et al.* (2018) investigaram que o alcance máximo teórico de 1.000 m não tem suporte por nenhuma modulação, tanto utilizando rádios reais quanto utilizando rádios em simuladores. O alcance máximo obtido foi de 800 m aproximadamente a 6 Mbps.

Desta forma, os dados de movimentação são divididos em janelas de tempo com uma hora de duração formando os GVTs (Figura 2). Cada GVT formado é não direcionado e pode ser formalmente definido como um grafo $H = (V, E, T)$, onde V é o conjunto de veículos v_i , T é o tempo para o qual os GVT são definidos. E é o conjunto de arestas durante o intervalo T , $E \subseteq v_i \times T \times v_j \times T$. No grafo H , uma aresta existe entre os veículos $\{v_i, v_j\}$ se estes estiverem dentro do seu alcance de comunicação e se $i \neq j$. Para cada um dos dados reais de movimentação de táxis foram gerados 24 grafos H , os quais nos permitiram analisar as interações dos veículos durante as 24 horas de um dia. Durante este intervalo cada táxi é avaliado individualmente. Os dados obtidos foram calculados segundo a segundo e agregados durante o tempo do GVT conforme a técnica chamada Janela de Tempo Crescente (HOSSMANN *et al.*, 2010).

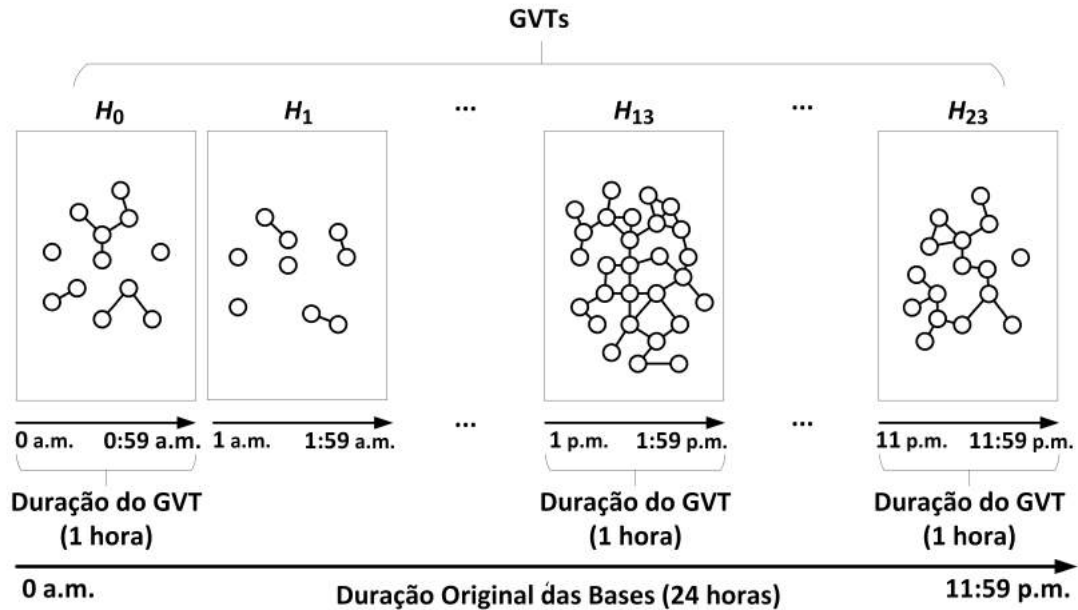
A formalização do GVT e a escolha do intervalo são práticas adotadas na análise de traços de movimentação. Não torna a janela de tempo grande demais, tão pouco condensa a informação em janelas de tempo muito menores. Com o GVT é possível formalizar um intervalo de observação e pesquisa. A divisão em GVT de 1 hora durante 24 horas fornece tempo suficiente para mostrar os momentos de transição de esparsos para densos e densos para esparsos que ocorrem no decorrer deste ciclo. É possível caracterizar a disponibilidade de recursos conforme o dia avança e também demonstrar a dinamicidade de formação dos enlaces. Este intervalo oferece uma curva com suavidade suficiente para compreensão destas mudanças de disponibilidade das **Oportunidades de Transmissão**, definição apresentada nesse trabalho no capítulo 4.

Estes GVTs representam um modelo adequado para sistemas de redes veiculares. As interações entre os vértices são intrinsecamente dinâmicas e variam ao longo do tempo. Suas conexões aparecem e desaparecem em pontos específicos no tempo e são, muitas vezes, recorrentes (WEHMUTH *et al.*, 2015) (CASTEIGTS *et al.*, 2012).

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ANÁLISE

Para aplicar os dados de movimentação apresentados na seção 3.1, e assim adquirir o material para processar e realizar todas as análises propostas neste estudo, aplicam-se esses dados como arquivos de entrada para simulação. Neste trabalho utiliza-se o simulador para DTNs *The Opportunistic Network Environment (THE ONE)* (KERÄNEN *et al.*, 2009). A aquisição de dados tem seus processos descritos na sequência (seção 3.3.1, seção 3.3.2 e seção 3.3.3).

Figura 2 – Representação para o grafo variante no tempo H .



Fonte: Autoria própria (2020).

3.3.1 Conversão dos Dados de Movimentação Calibrados

Os dados de movimentação (seção 3.1) possuem coordenadas (Latitude e Longitude) no formato decimal (extraído do GPS). Uma conversão é necessária para aplicá-las nos arquivos de entrada de dados de movimentação das simulações. Precisa converter do formato GPS para o formato *Universal Transversa de Mercator (UTM)* aceito pelo simulador *The ONE* (Figura 3).

O sistema *UTM* é um sistema de coordenadas baseado no plano cartesiano (eixos x, y) e usa o metro (m) como unidade para medir distâncias e determinar a posição de um objeto. Diferentemente das Coordenadas Geodésicas, o sistema *UTM*, não acompanha a curvatura da Terra. Por isso, seus pares de coordenadas também são chamados de coordenadas planas (LANGLEY, 1998). Neste trabalho identificam-se estas coordenadas como $UMTx$ e $UTMy$ após a conversão. Há várias propostas de como realizar esta conversão, dentre as quais as propostas em (GACOKI; ADUOL, 2002) e (WELCH; HOMSEY, 1997).

Para executar simulações com dados externos, o simulador *THE ONE* requer dois arquivos de entrada. **(a)** o arquivo de entrada com os dados de mobilidade dos táxis (Figura 4), possui em sua primeira linha o número de táxis do GVT, o horário de início, o horário de término e tamanho do mundo (parâmetro *world size*) da simulação. Além disso, para cada táxi (Táxi Id), todas as suas posições são coletadas durante todo tempo de duração do GVT. **(b)** o arquivo de entrada com o instante (Hora) de ativação e desativação do táxi no cenário de simulação (indica o

Figura 3 – Formato dos dados de movimentação (original).

Id	Time	Longitude	Latitude
12	1.236	12.49	41.90715
06	604.085	12.46361	41.92454
79	3395.456	12.481	41.89958

Fonte: Autoria própria (2020).

tempo que o veículo permanece na simulação), ver Figura 5. Esse arquivo contém a identificação do táxi (Táxi Id), o tempo de ativação e o tempo de desativação para cada veículo presente no GVT. A execução desse processo se realiza para cada um dos 24 GVTs.

Figura 4 – Formato de entrada dos dados de mobilidade dos táxis (convertidos). A = Número de táxis | B = Táxi ID | C = GVT início e fim (Hora) | D = “World Size” da Simulação | E = Hora da leitura | F = UTMz e UTMx (Coordenadas).

A	C	D
41	0.0 3599.9	271406.212 305378.383 4629548.528 4648441.127
B	E	F
0	0.0, 291019.108, 4641966.603	15.0, 291019.108, 4641966.603
	30.0, 291019.102, 4641966.603	45.0, 291019.664, 4641966.089
	...	
B	E	F
6	1.0, 271618.885, 4630652.162	15.0, 271618.885, 4630652.164
	30.0, 271618.885, 4630652.162	46.0, 271618.885, 4630652.162
	...	
B	E	F
40	1.0, 290104.353, 4641500.493	7.0, 290086.936, 4641508.782
	...	

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5 – Formato de entrada dos dados de ativação e desativação dos veículos (convertidos).

Táxi Id	Ativação (Time)	Desativação (Time)
0	0.0	3585.0
6	125.0	2851.0
12	1.0	1979.0

Fonte: Autoria própria (2020).

3.3.2 Configuração da Simulação

Para executar as simulações, se faz necessário configurar o arquivo de instalação conforme mostrado na Tabela 3. As simulações são realizadas 24 vezes (uma para cada GVT),

para cada cidade (Roma, San Francisco e Shanghai) e para cada raio de alcance de comunicação (50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m e 1000 m).

Como não há necessidade de avaliação de nenhuma estratégia de encaminhamento (isto é, protocolo de roteamento), não há configuração de nenhuma classe de roteamento no simulador (parâmetro *Group.Router*).

Portanto, o principal objetivo é obter os registros de conexão e desconexão entre veículos com apenas uma interface de rádio (ou seja, uma antena), para assim analisar os encontros dos táxis e aplicar o conceito de **oportunidades de transmissão** apresentado nesse trabalho no capítulo 4.

A execução desse processo se realiza para cada um dos 24 GVTs.

Tabela 3 – Arquivo de configuração para executar as simulações

Parâmetro	Valor Atribuído	Precisa Trocar o Valor
Scenario.simulateConnections	True	Não
highspeedInterface.transmitSpeed (Mbps)	3M	Não
highspeedInterface.transmitRange (metros)	50 to 1.000	Sim: (50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000)
Scenario.nrofHostGroups	1	Não
Group.movementModel	ExternalPathMovement	Não
Group.traceFile	Caminho para arquivo de entrada com os dados de movimentação no formato 'THE ONE' (*.csv)	Sim: (para cada um dos 24 GVTs)
Group.activeFile	Caminho para arquivo de entrada com os dados de ativação no formato 'THE ONE' (*.csv)	Sim: (para cada um dos 24 GVTs)
Group.router	Não definido	Não
Scenario.endTime (segundos)	3.6k	Não
Group.nrofHosts	2 to ∞	Sim: (De acordo com o número de veículos em cada um dos 24 GVTs)
Group.msgTtl (minutos)	60	Não
Group.nrofInterfaces	1	Não
Group.speed (mph) (intervalo entre)	2.7, 13.9	Não

Fonte: Autoria própria (2020).

3.3.3 Processamento das Saídas da Simulação

Após cada de simulação, o simulador gera dois arquivos de saída. Um desses arquivos contém logs de conectividade e o outro contém logs de adjacência entre veículos.

O arquivo com logs de conectividade contém a hora em que os veículos estabelecem a conexão e a hora em que esta conexão desaparece. Dessa forma, é possível calcular: quando e por quanto tempo uma conexão entre dois veículos dura, o tipo de oportunidade de transmissão (por

exemplo, serial ou paralela) e a quantidade máxima teórica de dados transferidos (por exemplo, para oportunidades de transmissão em série e paralela). Ainda permite classificar os veículos de acordo com a duração do tempo de contato.

O arquivo com os logs de adjacência contém todos os encontros que ocorreram entre os veículos. Dessa forma, é possível calcular a variação da quantidade de veículos hora a hora e analisar o impacto da sobrecarga de *beacons* sobre a disponibilidade total de recursos. A execução desse processo se realiza para cada um dos 24 GVTs.

Para esclarecer a compreensão desse processo, a Tabela 4 apresenta: o arquivo de saída gerado, os dados contidos nesse arquivo, o objetivo de aplicação do arquivo, e também a seção deste documento em que cada objetivo de análise de dados tem sua explicação detalhada e a discussão sobre os resultados.

Tabela 4 – Arquivos de saída obtidos do processo de simulação e aplicados para calcular os resultados deste trabalho.

Arquivo de Saída	Origem	Conteúdo	Objetivo	Seção
Logs de conectividade de cada GVT	Simulação	Início e fim de conexão entre dois veículos.	Para calcular quando dois veículos entram em contato e quanto tempo esse contato dura.	4.1, 4.2, 5.1, e 5.2
When-how-long	Este trabalho	Identificação de par de veículos, início da conexão, duração da conexão e volume de dados a 3 Mbps (do IEEE 802.11p).	Para verificar se uma oportunidade de transmissão é serial ou é paralela. Para calcular o inventário de recursos, avaliar o impacto de sobrecarga de beacons e classificar os veículos de acordo com o tempo de duração do contato.	4.1, 4.2, 5.2, 5.3, 5.4, e 6.2
When-how-msg	Este trabalho	Identificação de todas as trocas de mensagens entre os veículos. Duração e volume de dados a 3 Mbps.	Para calcular a métrica OpTs.	6.2
Logs de adjacência	Simulação	Interseções de veículos no GVT.	Para obter a densidade de veículos hora a hora e discutir as características horárias de movimentação de veículos. Para calcular o impacto de desperdício de sobrecarga de beacons. Calcular a métrica OpTs.	5.1, 5.4 e 6.2

Fonte: Autoria própria (2020).

Assim, acontece a divisão da análise em cinco partes:

1. Descrição da variação de densidade de acordo com a atividade diária dos veículos.
2. Conceitualização de oportunidades de transmissão e sua classificação em tipos seriais ou paralelos.

3. Uso da taxa de dados como exemplo de recursos disponíveis para calcular a quantidade teórica de dados que pode ser gerada pelas oportunidades de transmissão.
4. Análise do desperdício de recursos que a sobrecarga de *beacons* pode ocasionar, para assim entender seu impacto sobre a disponibilidade total dos recursos.
5. Classificação dos veículos em classes, de acordo com o tempo de duração do contato entre o veículo emissor e as oportunidades de transmissão no decorrer do GVT.

3.4 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foram abordados três tópicos importantes para o entendimento e continuidade deste trabalho. O primeiro tópico, a apresentação dos dados de movimentação de veículos, permitiu conhecer a origem dos dados utilizados sem os quais não há como realizar todas as investigações deste trabalho. O segundo tópico, a definição do grafo variante no tempo (GVT), permitiu compreender de que forma os dados de movimentação são representados para que a análise dos dados seja dividida em intervalos menores de observação.

E no terceiro e último tópico, a aquisição de dados para análise mostrou qual a metodologia seguida para obter os dados de simulação a partir dos GVTs. Da mesma forma, mostrou como os dados são processados de acordo com as saídas geradas. Tais saídas podem ser oriundas da simulação como do processamento dos dados obtidos das simulações.

Para dar continuidade no trabalho, o capítulo 4 apresenta o que são **oportunidades de transmissão**, sua formalização e classificação. Também são apresentados os resultados da quantificação destas definições, e uma discussão sobre a importância de conhecer a forma como os veículos interagem para se comunicarem.

4 OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO (OPTS)

Neste capítulo se realiza a apresentação do conceito, introduzido nesse trabalho, de oportunidades de transmissão em redes ad hoc veiculares. Doravante denominadas **Oportunidades de Transmissão (OpTs)**. O capítulo também mostra como as OpTs ficam disponíveis do ponto de vista do veículo que encaminha a mensagem, o que pode ocorrer em série ou em paralelo. As OpTs em série e as OpTs em paralelo não são o número de antenas que um veículo emissor possui, mas sim o número de contatos que um veículo pode ter ao mesmo tempo.

4.1 CONCEITO DE OPTS

Para aplicar este conceito e definir o que são OpTs, são necessárias três informações: (1) transmissão de dados através de ondas de rádio; (2) alcance do sinal de rádio; (3) tempo em que os veículos estão dentro do alcance do sinal de rádio um do outro e mantêm contato entre si.

Uma Oportunidade de Transmissão (OpT) é uma medida individual de um veículo v_i . Para definir uma $OpTs$ de um veículo v_i é preciso considerar o par de veículos $V, (v_i, v_j)$, que estão sob a área de cobertura A_{v_i} , sendo que A_{v_i} é igual ao menor alcance entre a área de alcance de sinal de rádio de dois veículos que mantêm tempo de duração do contato t entre v_i, v_j maior que o tempo necessário para a troca de mensagens de controle¹ t_{MC} . Esta definição é formalizada na Equação (1).

$$OpT_{v_i} = (v_i, V) \forall v_i \neq v_j, v_j \subset A_{v_i}, t_{v_i, v_j} > t_{MC} \quad (1)$$

Uma OpT não garante a presença de um enlace entre os veículos. Toda $OpTs$ representa uma opção, uma possibilidade de estabelecer o enlace. Aproveitar (isto é, utilizar) uma $OpTs$ depende única e diretamente da estratégia de encaminhamento, e da métrica utilizada na escolha do próximo salto para envio das mensagens vindas da aplicação.

Para cada uma das bases (seção 3.1) obteve-se o cálculo das $OpTs$ para cada veículo. A Figura 6 mostra a função de distribuição cumulativa complementar (CCDF) do total de $OpTs$ de cada veículo em todos os GVT para todos os raios de alcance de sinal avaliados. É possível observar nas três bases que a medida que o raio de alcance (A_{v_i}) aumenta, maior é o número de

¹ O tempo necessário para troca de mensagens de controle varia de acordo com a taxa de transmissão que está sendo aplicada. Nas especificações do padrão IEEE 802.11p estas mensagens consomem, a 3 Mbps, ± 3 ms (JIANG; DELGROSSI, 2008).

OpTs. Isso significa dizer que quanto maior o raio de alcance maiores são as opções de escolha de veículos possíveis de estabelecer comunicação. Conseqüentemente, a densidade de veículos tende a ser maior.

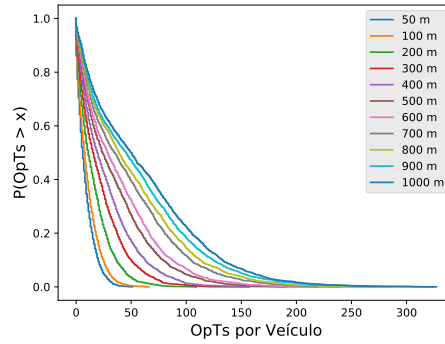
Pegando como referência o raio de alcance do sinal de 1.000 m para todos os casos, observa-se que em Roma (Figura 6(a)) 80% dos veículos possuem menos de 25 *OpTs* e menos de 20% dos veículos possuem entre 100 e 300 *OpTs*. Em San Francisco (Figura 6(b)) há uma diferença considerável em relação a Roma. 80% dos veículos possuem mais de 200 *OpTs*, *i.e.*, 8 vezes mais. Mesmo com o raio de 50 m, 60% dos veículos têm mais de 100 *OpTs*. O gráfico mostra neste cenário que a densidade entre os veículos é maior. Em San Francisco, 20% dos carros possuem entre 650 e 1400 *OpTs*. Shanghai, (Figura 6(c)), com um número de carros 24 vezes maior que Roma e 9 vezes maior que San Francisco, 80% dos carros têm cerca de 200 *OpTs* e 20% dos carros possuem entre 750 e 1750 *OpTs*. Este tipo de avaliação, para saber se cenários diferentes eram mais ou menos densos, seria difícil de ser realizado sem o uso das *OpTs*. Nestas três figuras citadas a linha mais a esquerda representa o raio de alcance de 50 m sucessivamente até a linha mais a direita, que representa o raio de alcance de 1.000 m.

Analisar a disponibilidade de *OpTs* de um veículo é importante para a compreensão do comportamento da interação entre os veículos. Isso impacta nos projetos de protocolos de encaminhamento de mensagens.

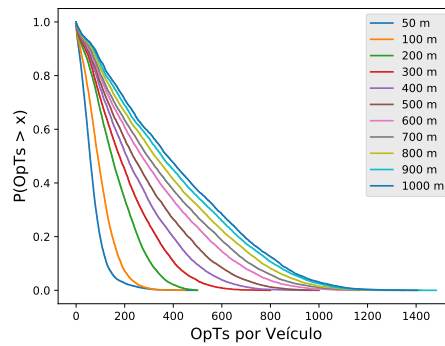
Para exemplificar essa questão é preciso utilizar a medida de centralidade de grau² de um veículo. Supondo que o protocolo de encaminhamento sempre selecione como próximo salto o veículo com maior grau. Este veículo foi selecionado por possuir várias ligações com outros veículos em uma janela de tempo qualquer. Portanto, trata-se de um veículo que possui várias *OpTs*. Isso não significa que este veículo selecionado possui as melhores *OpTs*. Tais *OpTs* podem ser de curta duração e insuficiente para transmitir os dados, ou então *OpTs* que não se conectam a outros veículos o que pode levar a expirar o tempo de vida da mensagem. Dependendo da estratégia de encaminhamento e da métrica para escolha do próximo salto, as *OpTs* podem não ser utilizadas.

² Centralidade de grau é o número de ligações incidentes de um vértice. O grau pode ser interpretado como a probabilidade que o vértice tem de receber alguma informação da rede. O grau de um veículo é o número de arestas adjacentes ao veículo (FREEMAN, 1978).

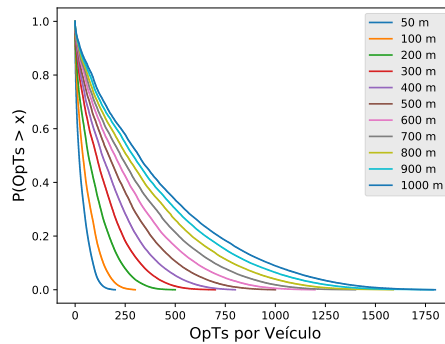
Figura 6 – Quantidade de OpTs de acordo com o raio de alcance do sinal.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

4.2 OPTS EM SÉRIE E OPTS EM PARALELO

Existe uma relação entre os tipos de *OpTs* e a maneira como o veículo que encaminha uma mensagem acessa essas oportunidades. Um veículo emissor pode ter dentro do raio de alcance de comunicação apenas uma opção para enviar uma mensagem ou mais de uma opção para fazer o mesmo. O objetivo para qualquer protocolo de encaminhamento é escolher entre as

opções existentes, uma que represente a melhor oportunidade de comunicação.

A Figura 7 ilustra o conceito de um veículo emissor e as suas *OpTs*. Para visualizar este conceito houve a escolha aleatória de um veículo de cada uma das bases (Roma, San Francisco e Shanghai), esse é o veículo emissor³. O raio de alcance utilizado para essa análise foi de 200 m. O tempo de observação foi de 900 segundos. Na Figura 7, a linha pontilhada representa o tempo (*Tempo (s)*) decorrido do carro emissor. As linhas contínuas representam as *OpTs* e o número posicionado sobre esta linha é o identificador do veículo com o qual o emissor entra em contato. O comprimento da linha contínua representa o tempo de duração do contato entre o emissor e a *OpTs*.

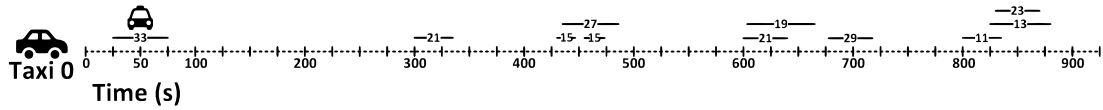
Na Figura 7(a) o emissor é o Táxi 0 o qual tem um total de 11 *OpTs*. O tempo de duração do contato entre dois veículos (i.e. o veículo emissor e cada uma das *OpTs*) tem duração entre 20 e 75 segundos aproximadamente. Nota-se que duas *OpTs* são recorrentes (a *OpTs* 15 e a *OpTs* 21) e que as demais acontecem apenas uma vez. Há momentos em que o emissor tem apenas uma opção de comunicação por exemplo, entre 25 e 75 segundos com a *OpTs* Táxi 33. Porém, há momentos em que o emissor tem mais de uma *OpTs* de comunicação ao mesmo tempo como por exemplo, entre 425 e 500 segundos (com o Táxi 15 e o Táxi 27) ou entre 600 e 675 segundos (com os táxis 21 e 19). Na Figura 7(b), o emissor é o Táxi 406, o qual possui 29 *OpTs*. O tempo de duração do contato tem duração entre 20 e 250 segundos aproximadamente. Também há *OpTs* recorrentes, assim como *OpTs* que acontecem apenas uma vez. Vale ressaltar que a maior parte das *OpTs* acontecem ao mesmo tempo, o que aumenta o número de opções que o emissor possui para enviar uma mensagem. Na Figura 7(c), o emissor é o Táxi 4, o qual tem 5 *OpTs*. O tempo de duração do contato está entre 40 e 60 segundos. Este caso se diferencia dos outros dois por não apresentar *OpTs* recorrentes e também porque em todos os momentos há somente uma opção de comunicação.

Este comportamento permite classificar as *OpTs* em dois tipos: (1) **em série**, quando o emissor possui apenas uma opção de comunicação em um determinado espaço de tempo; e (2) **em paralelo**, quando o emissor possui mais de uma opção de comunicação em um mesmo intervalo de tempo. As *OpTs* de um veículo v_i foram quantificadas para possibilitar a análise do seu comportamento conforme o raio de alcance do sinal de rádio do veículo v_i (A_{v_i}) aumente.

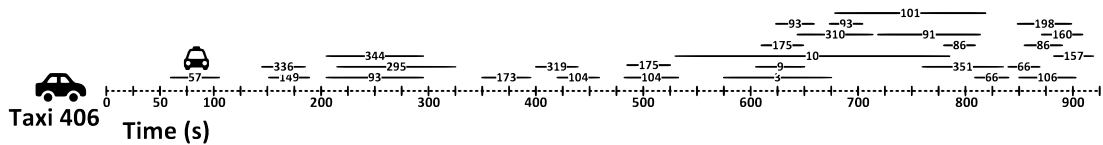
Na Figura 8 mostram-se as CCDFs para as *OpTs* em série e para as *OpTs* em paralelo de um veículo. Nas três cidades, de forma geral, a medida que o raio de alcance do sinal de

³ Para escolher estes veículos, realizou-se a análise com 30 veículos de cada base. Estas três situações se mostraram-se como as mais frequentes. Selecionaram-se então, os carros para representá-las.

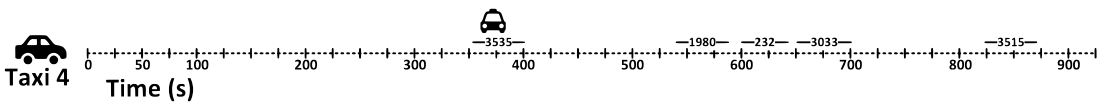
Figura 7 – Interação de um veículo emissor com suas *OpTs*. É possível observar momentos em que o emissor possui apenas uma *OpT*s e outros momentos que possui mais de uma ao mesmo tempo.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

rádio aumenta a quantidade de *OpTs* em paralelo se torna mais presente. É notável observar que quando o raio de alcance é de 50 m ou 100 m, as quantidades de *OpTs* em série e em paralelo se equivalem. Já para os raios de alcance maiores como 800 m, 900 m e 1000 m é possível observar que a quantidade de *OpTs* em paralelo é maior. Para quantificar as oportunidades de transmissão em paralelo são somadas todas as *OpTs* contidas no raio de alcance enquanto os *OpTs* estão na área de alcance do veículo emissor.

Para observar o melhor caso em função de número de *OpTs* e também observar o pior caso em relação a interferência, utiliza-se como referência o raio de alcance de 1.000 m para a análise. Em Roma, Figura 8(a), as *OpTs* em série são ≥ 1 e ≤ 100 , sendo que 80% dos veículos apresentam menos que 15 *OpTs*. Na Figura 8(b), o número de *OpTs* aumenta, são ≥ 1 e ≤ 300 . Porém, apenas 20% dos veículos têm 60 *OpTs* em paralelo. Em San Francisco, Figura 8(c), as *OpTs* em série são ≥ 1 e ≤ 350 , e 20% dos veículos possuem mais de 120 *OpTs*. Na Figura 8(d), o número de *OpTs* em paralelo é maior, ≥ 1 e ≤ 1200 . Para os mesmos 20% dos veículos, chega a mais de 600 *OpTs* em paralelo, um valor 5 vezes maior que em série. Em Shanghai, Figura 8(e), as *OpTs* em série são ≥ 1 e ≤ 600 , há uma grande quantidade de táxis nas ruas e 80% dos carros têm próximo de 100 *OpTs* em série. Na Figura 8(f), a quantidade de *OpTs* em paralelo são ≥ 1 e ≤ 1400 . Porém, os mesmos 80% dos veículos possuem menos de 100 *OpTs* e 20% dos táxis encontram mais de 500 *OpTs*.

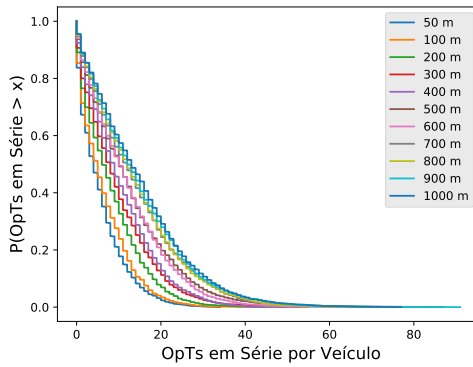
Cada uma das bases mostra diferentes comportamentos no que se refere às *OpTs* em série e às *OpTs* em paralelo. Esses comportamentos têm relação com quantidade de veículos

em cada cidade e com o ciclo diário de atividades dessas cidades e mostram que há variação da densidade no decorrer do dia. Desta forma, isso mostra que, quanto menor o alcance, menor o número de veículos que interagem entre si. Com isso a rede se torna menos densa oferecendo menos opções de comunicação. Utilizar raios de alcance maiores permite que o número de *OpTs* seja maior, contudo exige mais complexidade por parte dos protocolos para estabelecer as estratégias de encaminhamento. A maior quantidade de opções faz com que a decisão de encaminhar para o próximo salto tenha que ser melhor elaborada.

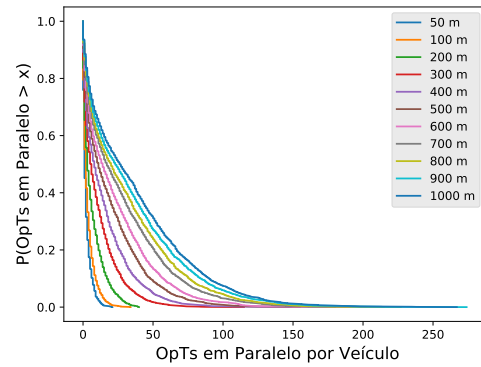
As três situações, apresentadas na Figura 7, mostram que em uma rede veicular a interação entre os veículos e as *OpTs* podem ocorrer de três formas quanto à densidade: 1) *esparsa*: pouca quantidade de veículos e maior presença de *OpTs* em série; 2) *esparsa para densa/densa para esparsa*: aumento ou decréscimo da quantidade de veículos e presença tanto de *OpTs* em série quanto *OpTs* em paralelo; e 3) *densa*: alta quantidade de veículos e maior presença de *OpTs* em paralelo. Os protocolos de encaminhamento para redes veiculares que considerarem a densidade como estratégia de encaminhamento, podem melhor adaptar-se ao cenário.

A existência de *OpTs* em série e *OpTs* em paralelo permite que diferentes estratégias de encaminhamento sejam desenvolvidas em um mesmo protocolo. Ao pensar no custo de envio de uma mensagem, é possível afirmar que em situações esparsas, em que existam muitas *OpTs* em série, quanto mais simples for o processo de transferência da mensagem, menor será o custo de entrega e melhor o aproveitamento das *OpTs*. Protocolos epidêmicos ou de primeiro contato são exemplos de protocolos aplicáveis nestes casos. Se não há opções de *OpTs*, não há por que desenvolver estratégias complexas que consomem muito tempo para decidir a quem entregar a mensagem. No outro extremo, quando a rede for densa e existirem muitas *OpTs* em paralelo é importante avaliar a necessidade de criar estratégias para decidir a qual *OpTs* entregar a mensagem. Neste caso muitas opções estarão a disposição do emissor da mensagem. Protocolos baseados em probabilidades, medidas de centralidade, redes sociais, medidas geográficas, adaptativos, ou híbridos podem ser aplicados como forma de identificar a melhor *OpTs* a ser considerada. Cabe aos protocolos de encaminhamento descobrir em que situação de densidade se encontra, para então eleger qual a melhor estratégia para escolha das *OpTs*.

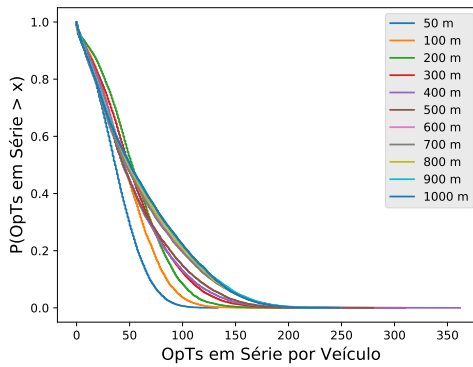
Figura 8 – Tipos de OpTs: Em Série e em Paralelo. OpTs em Série (a) Roma, (c) San Francisco e (e) Shanghai. OpTs em Paralelo (b) Roma, (d) San Francisco e (f) Shanghai.



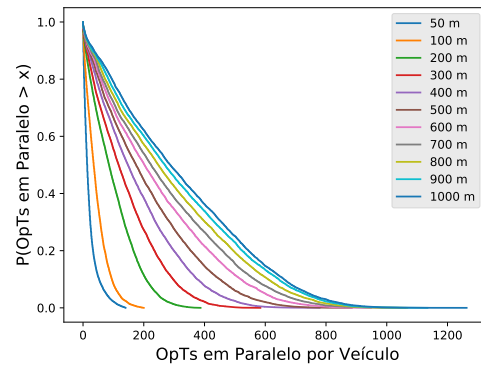
(a) Roma: OpTs em Série



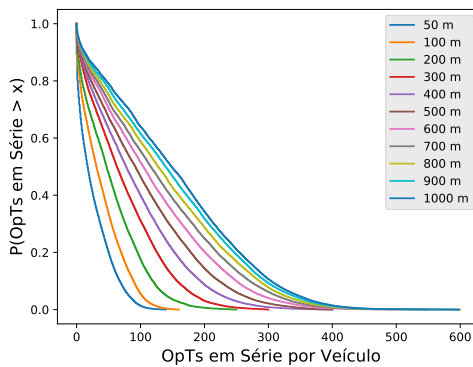
(b) Roma: OpTs em Paralelo



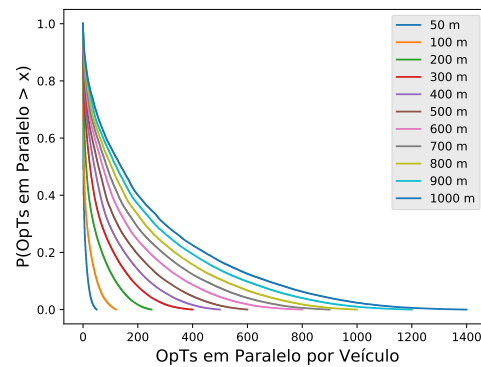
(c) San Francisco: OpTs em Série



(d) San Francisco: OpTs em Paralelo



(e) Shanghai: OpTs em Série



(f) Shanghai: OpTs em Paralelo

Fonte: Autoria própria (2020).

4.3 CONSIDERAÇÕES

Nesse capítulo foi apresentado o termo *Oportunidades de Transmissão (OpTs)*, um relevante conceito desenvolvido neste trabalho e fundamental para a compreensão do restante da tese.

A definição de $OpTs$, desenvolvida e criada durante o desenvolvimento desse trabalho, parte do princípio da possibilidade de dois veículos estabelecerem comunicação em uma VANET. Mostra-se que, durante o tempo em que um veículo circula por um ambiente urbano, este veículo possui uma variedade de opções de comunicação as quais fazem parte de um processo de escolha de caminho para circulação de mensagens através de uma rede veicular. Portanto, a definição de $OpTs$ representa uma função da variação do grau do veículo v_i no tempo, pois a quantidade de $OpTs$ de v_i , assim como a quantidade de recursos teórico, variam de acordo com o GVT (intervalo de tempo).

Uma informação interessante apresentada é a forma como possíveis contatos, ou $OpTs$, podem estar disponíveis para um veículo que deseja encaminhar uma mensagem pela rede. Estas formas recebem uma classificação de acordo com o seu tipo, que pode ser em série ou em paralelo. Essa classificação tem grande importância, pois permite que os pesquisadores da área de redes veiculares vejam claramente que os recursos variam muito, buscando estratégias diferentes para poderem lidar com o problema de forma eficiente. Em cenários extremos, ou se busca usar as $OpTs$ o mais rápido possível quando existem poucas opções, ou escolher com mais critério quando existem muitas opções de transmissão.

Assim é possível concluir que este conhecimento é de grande importância para um melhor desempenho da rede. Portanto, um projeto de comunicação entre veículos para encaminhamento de mensagens, seja no desenvolvimento de novos protocolos de encaminhamento ou de estratégias utilizadas por estes protocolos de encaminhamento, pode fazer uso da definição de $OpTs$ para melhor compreensão dos ambientes.

É muito importante ressaltar que o tempo (duração do contato) é uma variável fundamental quando se trata de comunicação em VANETs. É certo que, quanto maior for o tempo de duração do contato entre um veículo emissor e suas $OpTs$, melhor será a condição para troca de mensagens entre estes pares desde que o enlace seja de qualidade. A duração do contato entre as $OpTs$ torna-se um indicador de qualidade da rede e uma variável atrativa para determinar qual OpT utilizar. Cabe ressaltar, que o tempo de duração do contato está relacionado à velocidade dos veículos e outros fatores como a qualidade do sinal.

Por essa razão, as $OpTs$ são provedoras de recursos, fornecem o principal recurso dentro de uma rede veicular que é a possibilidade de estabelecer e manter tempo de duração do contato. Isto se deve ao fato de que a relação de contato entre os veículos tem uma duração (dimensão tempo), e quanto mais $OpTs$ houver, maior será a quantidade de recursos existentes.

A rigor, quanto mais contato, mais tempo dois veículos compartilham, quanto mais tempo esses veículos compartilharem, maior será a quantidade de recursos.

No capítulo 5 serão apresentadas análises da quantidade de recursos que as *OpTs* podem gerar tanto em paralelo quanto em série. Por meio da taxa de transmissão de 3Mbps acontece a exemplificação e demonstração do inventário de recursos (seção 5.2). Por se tratar de um investigação sobre consumo de recursos, ocorre a avaliação do impacto do *beacon overhead* sobre este inventário (seção 5.3). A duração do contato, tem grande valor na definição das *OpTs*, desde que estes veículos estejam ativos, em movimento e colaborando no processo de armazenar, carregar e encaminhar mensagens. Por isso, pode ser utilizado como um recurso indicador de qualidade (seção 5.4) de uma VANET, e conseqüentemente, da escolha de bons veículos com boas *OpTs*.

Mais adiante, no capítulo 6, as *OpTs* serão apresentadas como uma métrica de avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens para VANETs. Finalmente, uma avaliação de desempenho de diversos protocolos será então apresentada (seção 6.2) incluindo a aplicação desta nova métrica.

5 AVALIAÇÃO DAS OPTS

Neste Capítulo serão apresentados os resultados obtidos neste trabalho com a análise das *OpTs*. Inicia-se com a descrição das características gerais de movimentação dos veículos (seção 5.1). A seguir, apresenta-se a quantidade máxima teórica (seção 5.2) de recursos disponíveis de acordo com as *OpTs*, assim como uma discussão sobre a sua aplicação. A seção 5.3 mostra como a sobrecarga de *beacons* afeta o inventário de recursos. E por fim, a seção 5.4, demonstra que a duração de contato representa um indicador da qualidade do enlace para a comunicação entre veículos.

5.1 CARACTERÍSTICA DA MOVIMENTAÇÃO DE VEÍCULOS

O movimento de veículos está diretamente relacionado ao ciclo de atividades diárias das pessoas. As pessoas circulam pelas cidades e utilizam seus recursos de infraestrutura de transporte com a finalidade de trabalhar, estudar, realizar atividades de lazer ou ir para casa repousar.

Quando a cidade se torna mais ativa, em horário comercial, há um aumento no movimento de pessoas. Quanto maior for o movimento, maior a quantidade de veículos nas ruas. Conforme o movimento de pessoas diminui, fora do horário comercial, ocorre a redução do número de veículos circulando nas ruas. Há momentos com alta densidade e momentos com baixa densidade de veículos no mesmo local físico. Há também os momentos de transição, de baixa densidade para alta densidade e alta densidade para baixa densidade. Os termos “alta densidade” e “baixa densidade” se referem à duração de ativação de um veículo durante o ciclo de atividades diárias. Nos momentos de maior densidade há mais veículos ativos, enquanto nos períodos de menor densidade, há menos veículos ativos com *OpTs*. É importante salientar que se trata de uma medição comparativa. Em cada cenário e em cada GVT desses cenários a quantidade de veículos muda para mais e para menos, i.e., um GVT com um maior número de veículos é considerado mais denso. Portanto, ao comparar com os outros GVT de um cenário é possível analisar a variação da quantidade de veículos e assim inferir que há GVTs com “maior densidade” e GVTs “menor densidade”.

Silva *et al.* (2014b) mostram que a dinâmica das pessoas pode mudar de forma imprevisível em resposta a eventos que afetam as áreas urbanas onde vivem, como condições climáticas

extremas, obras em estradas principais ou a abertura de um novo local de lazer moderno. Esta dinâmica é observada em redes com alta mobilidade dos nós (e.g como as redes veiculares) e tem grande impacto na forma como as *OpTs* podem ser utilizadas e conseqüentemente na quantidade de recursos gerados e consumidos.

Entretanto, para auxiliar na análise dos resultados é importante compreender que quando há referência a “uma maior ou alta densidade” e a “uma menor ou baixa densidade”, não se trata de estabelecer um limiar numérico que defina o que é “alta densidade” ou “baixa densidade”, mas sim saber que existe variação para mais ou para menos na quantidade de veículos de acordo com o GVT e com cada cenário.

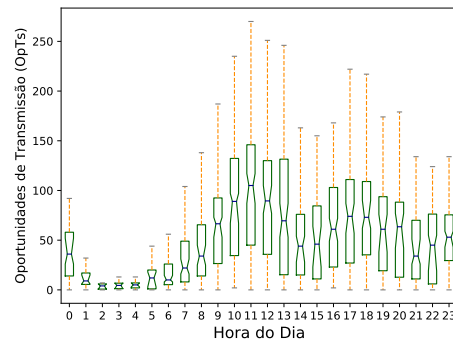
Nos dados de movimentação foi possível observar que cada cidade apresenta variações na densidade de veículos (Figura 9). O comportamento sazonal de movimento diário é bastante visível. Tanto para Roma (Figura 9(a)), San Francisco (Figura 9(b)) ou Shanghai (Figura 9(c)), durante a madrugada (entre 1 hora e 5 horas) há uma redução no movimento. À medida que o dia desperta (por volta das 6 horas) as atividades aumentam, até atingir seus horários de pico e posterior redução novamente. Isso se deve, às características que estão vinculadas as orientações culturais, sociais e econômicas de cada cidade. As bases de dados utilizadas contêm informações de cidades em três continentes diferentes.

A rotina dos cidadãos, seus padrões de movimento, seus pontos de interesse e seus aspectos culturais e econômicos impactam na dinâmica de um centro urbano (SILVA *et al.*, 2014a). Este impacto afeta a forma que os cidadãos utilizam veículo particulares e outros modais de transporte urbano, conseqüentemente afeta a interação entre as *OpTs*. Silva *et al.* (2014a) mostram que em finais de semana a dinâmica da movimentação de pessoas é diferente do que em dias úteis de semana. E Silva *et al.* (2014a) mostram também que no decorrer das horas do dia há momentos em que há maior circulação de pessoas que em outros momentos do dia. Ao fazer ligação com os resultados apresentados nas Figuras 9(a), 9(b) e 9(c) é possível confirmar esta avaliação e concluir que a quantidade de recursos consumidos, assim como a quantidade de recursos gerados pelas *OpTs* vai variar de acordo com a dinâmica das cidades.

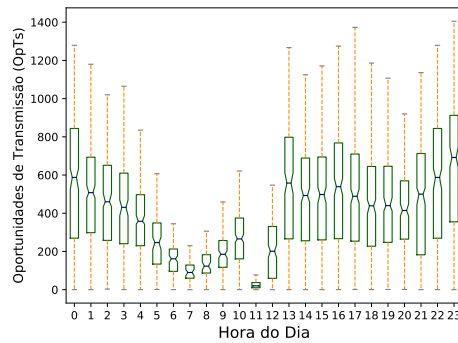
Por isso, não há um modelo único, definitivo e padronizado para movimentação dos táxis. Contudo, estes dados apresentam as condições evidentes de variação da densidade de tráfego que são úteis ao estudo das *OpTs* em redes veiculares.

O princípio fundamental da comunicação exige que ao menos dois elementos comunicadores existam, os *hosts*, e ao menos uma ligação que permita que estes *hosts* troquem

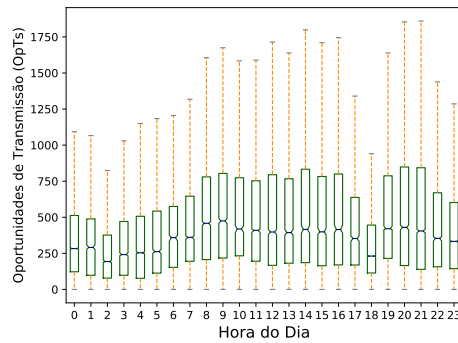
Figura 9 – Características de movimentação dos veículos. (a) Roma, (b) San Francisco e (c) Shanghai.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

informações, um enlace. É possível inferir que, quanto maior for a densidade maior será a quantidade de *hosts* e maior será a chance de formação de enlaces. Consequentemente, aumenta a capacidade de comunicação entre os *hosts* na rede ¹. Se os veículos são *hosts* na VANET, seus encontros no decorrer do tempo são as *OpTs*. Caso estes contatos sejam utilizados, enlaces são formados e mensagens são transmitidas.

¹ Não faz parte do escopo dessa tese considerar as colisões.

As *OpTs* podem ser provedoras de recursos, e o uso adequado desses recursos torna seu consumo mais eficiente. Portanto, neste capítulo realiza-se uma avaliação por meio da taxa de transmissão de dados para: exemplificar, definir e quantificar os recursos teóricos de inventário gerados pelas *OpTs*. A seção 5.2 aborda esse assunto.

5.2 INVENTÁRIO DE RECURSOS

Por definição, as redes de computadores compartilham recursos. O consumo adequado de qualquer recurso disponível em uma rede é um indicador da qualidade dos serviços da rede. As *OpTs* nas redes veiculares são provedoras de recursos, sendo a própria *OpTs* um recurso. O aproveitamento destas *OpTs* é um indicador de eficiência para protocolos de encaminhamento nestas redes dinâmicas (móveis).

Para demonstrar a quantidade de recursos que uma rede veicular pode oferecer, utiliza-se como medida a taxa de transmissão de dados. De acordo com o padrão IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008) são disponibilizadas oito taxas: 3 Mbps; 4,5 Mbps; 6 Mbps; 9 Mbps; 12 Mbps; 18 Mbps; 24 Mbps e 27 Mbps. A taxa de transmissão de dados é uma variável importante e tem relação direta com o tipo de aplicação pretendida para a VANET. Essa preocupação é também pertinente aos projetos de protocolos de encaminhamento nestes ambientes.

Para obter a quantidade ou estoque de recursos $E_{v_i v_j}$, calculou-se para todos os GVTs e individualmente para cada veículo v_i , com tempo de duração do contato $t > 0$ s, com cada uma de suas *OpTs* v_j . Isso foi realizado obedecendo aos critérios de seleção de uma *OpTs* descritos na seção 4.1. Cada tempo de duração do contato é multiplicado pela taxa de transmissão de dados tx . Por representar a situação que disponibilizaria o menor estoque teórico possível, escolheu-se $tx = 3Mbps$. O cálculo do estoque de recursos, resulta na visão do volume de dados máximo teórico que as *OpTs* são capazes de fornecer. Sua formalização é apresentada na Equação 2 a seguir.

$$\forall OpTs, E_{v_i v_j} = (v_i \times t_{v_i v_j} \times tx), t > 0 s \quad (2)$$

Como o tempo é uma variável importante para as *OpTs*, a Figura 10 mostra a CCDF para o tempo de duração do contato entre um veículo emissor e suas *OpTs*. Os resultados, obtidos da análise dos 24 GVTs, mostram para as três cidades que o tempo de duração do contato é proporcional ao raio de alcance do sinal. Utilizando o raio de 1.000 metros como referência,

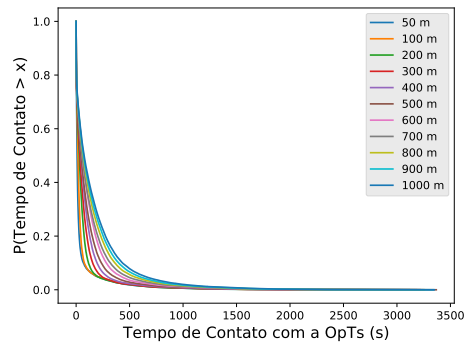
por exemplo, é possível observar no caso de Roma (Figura 10(a)) que menos de 1% dos casos tem tempo de duração do contato maior que 1.000 segundos. Aproximadamente 10% está entre 1 e 500 segundos e mais de 80% das *OpTs* está entre 0,1 e 250 segundos. Em San Francisco (Figura 10(b)), o comportamento é muito semelhante ao de Roma, mesmo possuindo 2,5 vezes mais veículos. Já em Shanghai (Figura 10(c)), mesmo com o maior número de veículos (24x Roma, 9x San Francisco), os tempos de contato são ainda menores. Menos de 1% dos casos tende a um tempo de duração com mais de 600 segundos. Cerca de 20% está entre 0,1 e 100 segundos e mais de 75% está entre 0,1 e 25 segundos.

A partir dos resultados do cálculo de estoque quantificou-se o volume máximo de dados que um veículo teria capacidade de transferir em cada GVT. A Figura 11, mostra a CCDF para a quantidade de dados possível de ser trocada por um veículo com suas *OpTs*. O volume de dados é diretamente proporcional ao raio de alcance. O volume de dados que cada veículo poderia transferir tem relação com duas variáveis: a densidade e o tempo de duração do contato. Utilizando o raio de 1.000 metros como referência, Roma (Figura 11(a)), contém o menor número de veículos e menos de 20% dos veículos mostram capacidade acima de 6 GB de dados. Em San Francisco (Figura 11(b)), sendo um cenário com maior densidade e mais contatos entre os veículos, 60% dos veículos têm capacidade próxima de 20 GB. Já em Shanghai (Figura 11(c)), como o tempo de duração do contato é menor, apenas 20% dos veículos conseguem transportar 25 GB de dados. Lembrando que estes valores são a soma de todas as informações transmitidas e recebidas, considerando dados e controle.

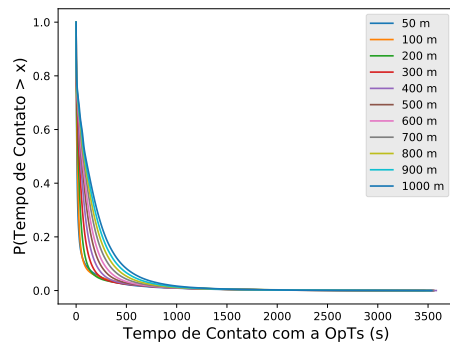
Conforme a apresentação na seção 4.2, as *OpTs* podem ser em série ou em paralelo. A Figura 12 apresenta uma comparação do volume de dados teórico total disponível para as *OpTs* em série em relação ao volume total de dados para as *OpTs* em paralelo, para cada uma das três bases. A obtenção destes valores ocorre pelo somatório dos estoques teóricos individuais de cada veículo. Nas três cidades o volume de dados chega a Terabytes (TB) para todos os raios de alcance.

Em Roma (Figura 12(a)) e em Shanghai (Figura 12(c)), para os raios de alcance de 50 m e 100 m, o estoque total teórico de recursos em série é maior que em paralelo. Em San Francisco (Figura 12(b)) o volume de dados das *OpTs* em paralelo é sempre maior que o volume de dados das *OpTs* em série. O maior volume de dados pode ser observado em Shanghai, chegando a mais de 800TB, isso por ser a cidade com maior número de táxis contribuindo no estoque de recursos.

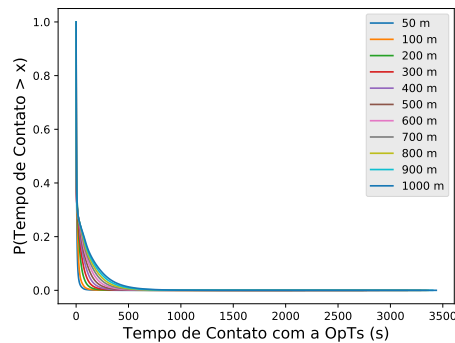
Figura 10 – Tempo de duração do contato de um veículo emissor e suas $OpTs$. (a) Roma, (b) San Francisco e (c) Shanghai.



(a) Roma



(b) San Francisco



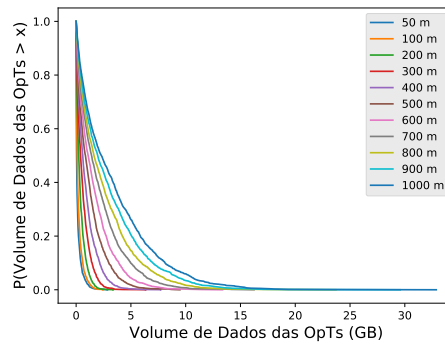
(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

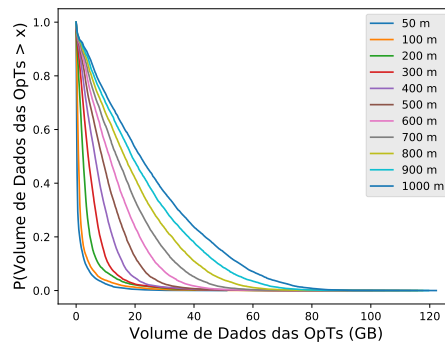
Contudo, para todas as cidades o estoque teórico total de recursos em série e em paralelo aumenta a medida que o raio de alcance aumenta. Porém, os recursos em série crescem menos em relação aos recursos em paralelo. Este comportamento mostra um maior desafio em aproveitar os recursos mais abundantes, no caso das $OpTs$ em paralelo.

A Figura 13 apresenta a distribuição do volume de dados teórico que os veículos teriam a disposição para utilização, ou seja, para aproveitar ao máximo as $OpTs$ no decorrer do dia. Esta

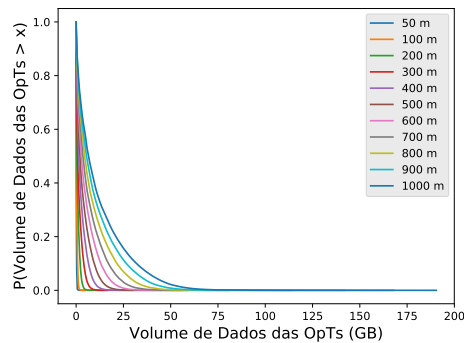
Figura 11 – Volume de dados por veículo emissor. A capacidade individual de um veículo para gerar recursos ao longo de suas *OpTs*. (a) Roma, (b) São Francisco e (c) Xangai.



(a) Roma



(b) San Francisco



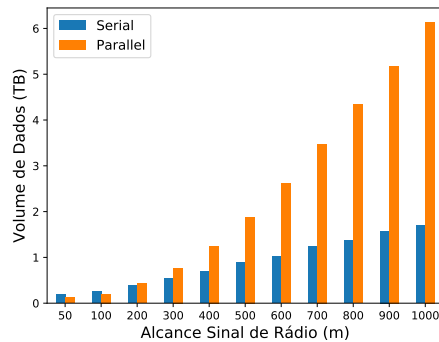
(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

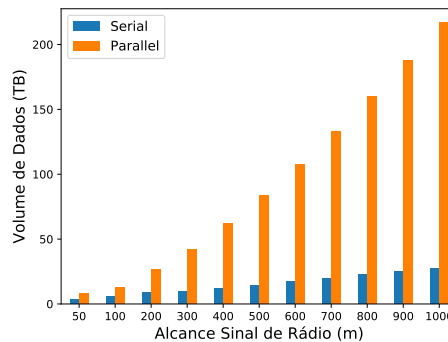
figura mostra que Roma (Figura 13(a)), San Francisco (Figura 13(b)) e Shanghai (Figura 13(c)) têm suas particularidades na movimentação hora a hora. Assim, as alternâncias entre as horas do dia com mais movimento e com menos movimento são evidenciadas.

Este resultado mostra que a quantidade de *OpTs* e consequentemente de recursos não é a mesma durante todo o dia. Mais uma vez evidencia-se a importância dos protocolos de encaminhamento em se adaptar às condições de densidade para obter resultados mais eficientes

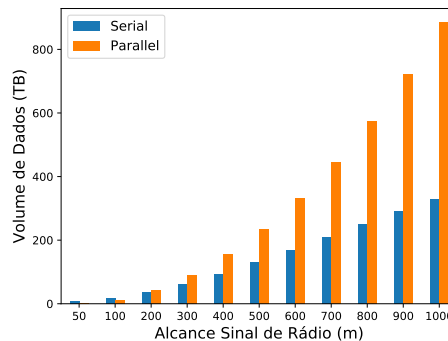
Figura 12 – Volume de dados teórico disponível. Calculado à taxa de 3 Mbps. (a) Roma, (b) São Francisco e (c) Xangai.



(a) Roma



(b) San Francisco



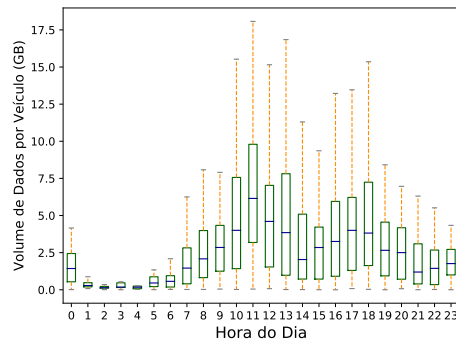
(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

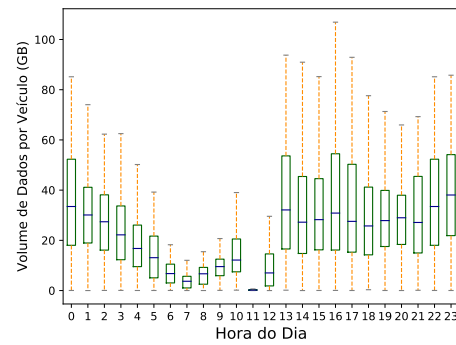
de performance.

Nesta seção, foi verificado que existe um inventário teórico de recursos disponíveis nas VANETs. No entanto, para os veículos se comunicarem, eles realizam uma troca prévia de mensagens, conhecidas como *beacons*. Estes *beacons* enviam informações sobre a situação de um determinado veículo na rede, e permite que os veículos demonstrem presença e/ou interesse em iniciar uma transmissão de dados. Como os *beacons* mensagens, eles consomem recursos na

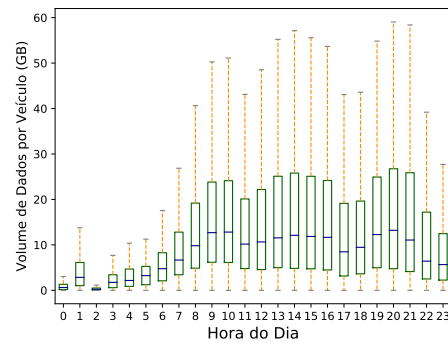
Figura 13 – Volume de dados teórico disponível por veículos com alcance de 1.000 metros e taxa de 3 Mbps durante as 24 horas do dia. (a) Roma, (b) São Francisco e (c) Shanghai.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

VANET. Portanto, na seção 5.3, será analisado o impacto dessa troca de mensagens no consumo de recursos da rede ad hoc veicular.

5.3 CONSUMO DE RECURSOS POR *BEACON OVERHEAD*

Um veículo pode transmitir *beacons* que carregam uma quantidade suficiente de informações a fim de permitir que outros veículos saibam quais serviços esse veículo que emite o beacon suporta ou fornece.

Os *beacons* são pequenos pacotes, que contêm uma mensagem trocada periodicamente entre vizinhos antes da transmissão de dados (EENENNAAM *et al.*, 2009). Esta é a razão pela qual os *beacons* podem consumir e desperdiçar parte do recurso durante o processo de transmissão.

Uma situação relacionada ao processo de transmissão de *beacons* é a sobrecarga gerada por eles, ou *Beacon Overhead (BO)*, que aumenta conforme a densidade de veículos aumenta. O Beacon Overhead (BO) é diretamente proporcional à contagem de veículos. É possível observar esta afirmação por meio desse conceito matemático simples (Equação 3) (EENENNAAM *et al.*, 2009), onde n é a contagem de veículos, S é o tamanho do *beacon* de camada 2 da pilha de protocolos ISO/OSI, e T é o intervalo periódico do período de transmissão do *beacon*.

$$BO = \frac{S \times n}{T} \quad (3)$$

Para descobrir o impacto da sobrecarga de *beacons* no consumo do estoque teórico de recursos, realizou-se a alteração da definição de *BO* para calcular a quantidade de dados consumidos pela transmissão de *beacons*.

A Equação 4 mostra a definição de Consumo dos Beacons (BW), proposta nesse trabalho. Denota-se n como o número de veículos e S é o tamanho do *beacon* de camada 2 da pilha de protocolos ISO/OSI. O intervalo médio de atraso que um veículo espera para receber outro *beacon* é $\frac{T}{2}$. R_B é a taxa de transmissão de *beacons*, e R_D é a taxa de transmissão de pacotes de dados consumida durante o processo de envio e recebimento de um *beacon* entre dois veículos. R_B e R_D são especificações IEEE 801.11p.

$$BW = \left(\frac{S \times n}{R_B} + \frac{T}{2} \right) \times R_D \quad (4)$$

O tamanho do *beacon* IEEE 802.11p é de aproximadamente $S = 400$ bytes de informação. Os *beacons* contêm informações como posição, velocidade, aceleração e direção de um veículo. A transmissão do *beacon* ocorre em um intervalo regular, a cada $T = 100$ Milissegundos (ms), para garantir que todos os nós tenham uma consciência cooperativa atualizada

(EENENNAAM *et al.*, 2009) (EENENNAAM *et al.*, 2012) (SASAKI *et al.*, 2013). A taxa de dados padrão utilizada na transmissão de *beacons* é $RB = 3$ Mbps (JIANG; DELGROSSI, 2008). Para taxa de transmissão de um pacote de dados, definiu-se o valor $RD = 3$ Mbps. A definição deste valor ocorreu porque é o melhor caso com o menor consumo de volume de dados, sendo os outros valores (4,5; 6; 9; 12; 18; 24 e 27 Mbps) proporcionais. Por fim, a contagem de veículos n depende do GVT, que varia ao longo do dia.

A Figura 14 mostra a relação proporcional entre a contagem de veículos e a sobrecarga de *beacons*. Para Roma (Figura 14(a)), San Francisco (Figura 14(b)) e Shanghai (Figura 14(c)), quanto maior o número de veículos, maior a sobrecarga de *beacons* em todas as cidades. Como esperado, Roma atinge o menor número de *beacons*, mas Shanghai atinge a maior quantidade. Isto se deve à contagem de veículos presentes em cada cidade. San Francisco e Roma apresentam mais variação na distribuição dos *beacons*, de acordo com variação do número de veículos durante o dia. Neste ponto, Shanghai mantém um alto número de geração de *beacons* na maior parte do dia.

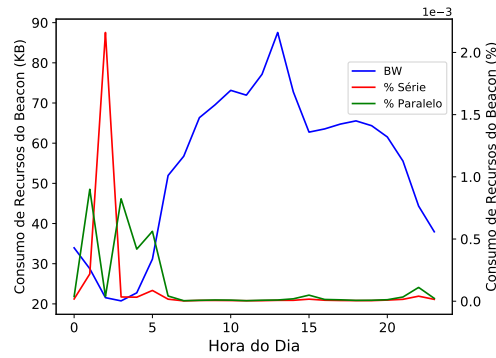
O desperdício causado pelo consumo de *beacons* varia com o tempo. Para Roma (Figura 14(a)), San Francisco (Figura 14(b)) e Shanghai (Figura 14(c)), quanto maior o número de veículos que enviam mensagens de *beacons*, maior a quantidade de dados utilizados. Estas figuras mostram a relação entre sobrecarga de *beacons* BW e seu consumo de recursos (% em Série e % em Paralelo). No eixo y primário, o consumo de recursos do *Beacon* (KB), mostra os kilobytes de *beacon* desperdiçados em uma rede em que as OpTs poderiam fornecer gigabytes de dados. O eixo y secundário, Consumo de Recursos do *Beacon* (%), mostra a percentagem relacionada ao volume teórico total de dados.

Um dos objetivos desse trabalho é revelar o impacto da sobrecarga de *beacons* sobre o recurso das OpTs em comparação com o inventário teórico total de recursos mostrado na seção 5.2, Figura 12.

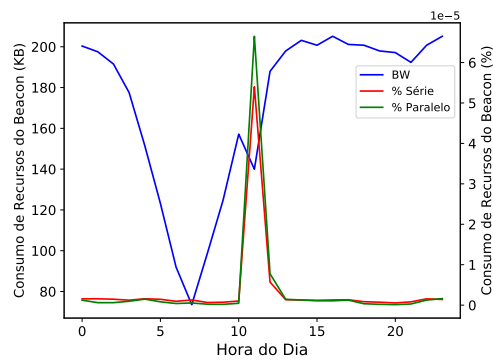
Os resultados mostram o impacto do *Beacon Overhead* sobre os recursos disponibilizados tanto pelas OpTs em série quanto pelas OpTs em paralelo. O alcance utilizado para o sinal de rádio foi de 50 m (i.e. por fornecer o número mais baixo de OpTs).

No caso do cenário de Roma, Figura 14(a), a quantidade de recursos consumida pelo envio de *Beacons* chega ao máximo de $\approx 88KB$, no GVT com maior densidade de veículos. Todavia, este valor representa em relação ao volume total teórico de dados gerado pelas OpTs apenas $\approx (2,6 \times 1E - 3)\%$. No cenário de San Francisco, Figura 14(b), o total de $\approx 200KB$ de

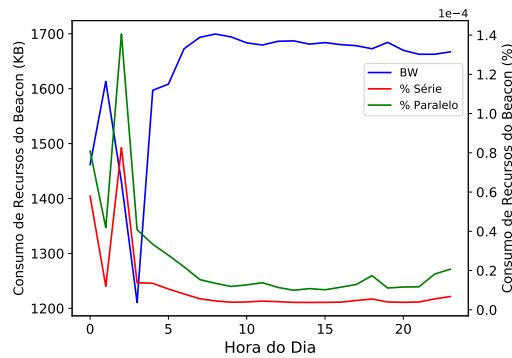
Figura 14 – Impacto da sobrecarga de *beacons*. (a) Roma, (b) San Francisco e (c) Shanghai.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

dados consumidos pelo envio de *beacons* representam o $\approx (7 \times 1E - 5)\%$ do total geral teórico de dados. No cenário de Shanghai, Figura 14(c), o maior consumo de dados feito pelos *beacons* foi de $\approx 1700KB$, e isso representa $\approx (1,4 \times 1E - 4)\%$ do total teórico de recursos.

Desta forma, com estes resultados, é possível afirmar que o consumo de beacons (*BW*) tem um impacto muito pequeno ou não-perceptível no inventário teórico geral para todas as bases de dados avaliadas.

5.4 TEMPO DE DURAÇÃO DO CONTATO COMO INDICADOR DE QUALIDADE

Antes de considerar a aplicação das *OpTs* como uma métrica, é importante observar o histograma do tempo de duração do contato dos veículos (Figura 15) para entender como o tempo de duração do contato entre as *OpTs* pode ser um indicador de qualidade.

Nessa seção, apresenta-se a análise do tempo de duração do contato para três raios de alcances de sinal de rádio: 50 m e 1.000 m (estes já utilizados anteriormente) e também o alcance de sinal de 200 m, o qual é comumente aplicado em simulações veiculares em cenários urbanos criados (MEDETOV *et al.*, 2014), (KUMAR *et al.*, 2013) e (VILLAS *et al.*, 2014).

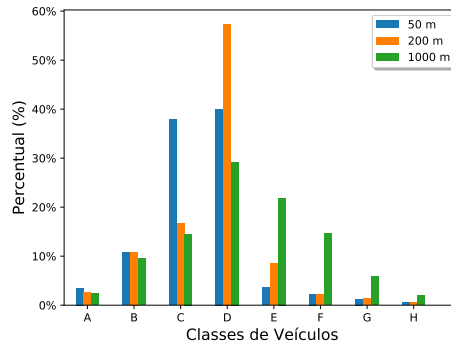
As vinte e quatro horas do dia foram consideradas. Por isso, cabe a observação dos resultados para: Roma (Figura 15(a)), San Francisco (Figura 15(b)) e Shanghai (Figura 15(c)). Esta avaliação ocorre para cada faixa de comunicação mencionada (50 m, 200 m e 1.000 m). As oito classes presentes nessa avaliação são as seguintes: (A: $\geq 0 \leq 0,1$); (B: $> 0,1 \leq 1$); (C: $> 1 \leq 10$); (D: $> 10 \leq 100$); (E: $> 100 \leq 250$); (F: $> 250 \leq 500$); (G: $> 500 \leq 1000$); (H: $> 1000 \leq 3600$).

Algumas situações se repetem nas três bases de dados. Independentemente da base de dados ou do raio de alcance de sinal utilizado, mais de 80% dos veículos têm tempo de duração do contato entre 0,1 e 250 segundos (i.e. da classe A até a classe E). Para Roma e San Francisco, é possível observar que todas as classes mantêm um comportamento semelhante. Veículos pertencentes às classes C ($> 1 e \leq 10$ segundos) e D ($> 10 e \leq 100$ segundos) são mais comuns. Em Shanghai, o comportamento sofre mudança, porém é semelhante ao das outras duas cidades, mas as classes B ($> 0,1 e \leq 1$ segundo) e C ($> 1 e \leq 10$ segundos) são as mais frequentes. As classes foram divididas desta forma utilizando a distribuição por frequência. Tais classes são uma forma de classificar os veículos de acordo com o tempo de duração do contato, o que possibilita indicar que há um grupo de veículos que poderia receber preferência como receptores de mensagens, ou seja, com um tempo de duração do contato mais propício a estabelecer conexões mais longas.

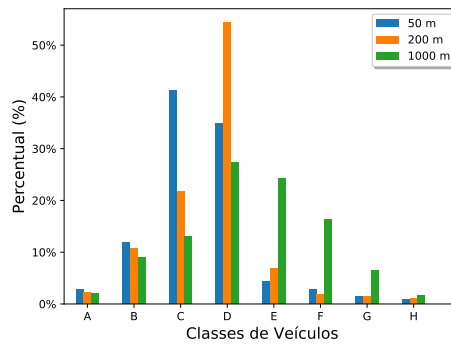
As classes também permitem classificar os veículos de acordo com a quantidade de pacotes que poderiam transmitir. Portanto, o tipo da aplicação da rede veicular pode demandar uma certa quantidade de pacotes então, o protocolo pode escolher como próximo salto veículos que pertençam a classe mais adequada a aplicação de acordo com o número de pacotes.

Portanto, conhecer esse comportamento é útil para os projetistas de protocolos de

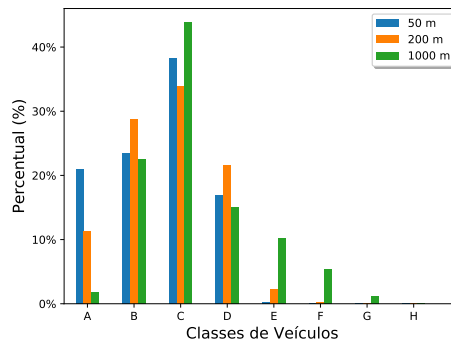
Figura 15 – Classes de veículos de acordo com o tempo de duração do contato (em segundos).(a) Roma, (b) San Francisco e (c) Shanghai.



(a) Roma



(b) San Francisco



(c) Shanghai

Fonte: Autoria própria (2020).

encaminhamento de mensagens em VANETs. Assim, podem ser consideradas em suas estratégias de encaminhamento, os veículos com maior tempo de duração do contato como opção para escolha de próximo salto.

Para Roma, San Francisco e Shanghai, as classes E (> 100 e ≤ 250 segundos), F (> 250 e ≤ 500 segundos), G (> 500 e ≤ 1000 segundos) e H (> 1000 e ≤ 3600 segundos) têm o mesmo comportamento. A frequência de veículos nestas classes diminui à medida que o

tempo de duração do contato aumenta. Em Shanghai, os veículos com mais de 1000 segundos de tempo de duração do contato têm porcentagem próxima de zero, enquanto nas outras duas cidades a representabilidade também é baixa (i.e. menos de 2%). Estes são casos de veículos que podem passar muito tempo parados, ociosos (sem movimentação) e não são OpTs recorrentes (devido aos motivos que podem fazer com que o veículo tenha baixa mobilidade). Portanto, esses carros podem não ser uma boa opção para encaminhar uma mensagem, ou servir de próximo salto. Porém, há outras abordagens (i.e. veículos parados como concentradores, ou utilizados como RSUs) para uso destes veículos, que não fazem parte do escopo deste trabalho, mas que podem ser encontradas em outras pesquisas como as realizadas por (REIS *et al.*, 2018), (SU *et al.*, 2016) (HOU *et al.*, 2016) e (ZHU *et al.*, 2017).

Para Roma e San Francisco, independentemente do raio de alcance, para a classe A (≥ 0 e $\leq 0,1$ segundos), a frequência de veículos é muito próxima e esta é a classe que tem menor impacto em relação ao tempo de duração do contato, por apresentar o tempo mais curto, quase insuficiente para estabelecer uma troca de mensagens (JIANG; DELGROSSI, 2008). Os veículos contidos nesta classe têm tempos de contato muito curtos, e mesmo permitindo a troca de poucos pacotes, eles não são uma boa opção para encaminhar uma mensagem, pois são tipos de contatos muito intermitentes.

Portanto, vale ressaltar que quanto menor o tempo de duração do contato, maior a geração de mensagens na rede (i.e. aumento do sobrecarga relativa de mensagens-*overhead relativo*). Assim, para que o processo de recebimento-armazenamento-encaminhamento das DTN ocorra corretamente, é melhor evitar a Classe A de veículos. Há situações que dependem da aplicação, por exemplo para emergência de frenagem ou para mensagem não prioritária com dados de mídia, podem ter resultados diferentes (CUNHA *et al.*, 2016) (AL-SULTAN *et al.*, 2014).

Portanto, com essa classificação dos veículos, os desenvolvedores de protocolos podem escolher, de acordo com a aplicação desejada, o tempo de duração do contato necessário para sua estratégia de encaminhamento alcançar o desempenho esperado.

Esses resultados mostram que duas situações principais podem ocorrer em ambientes urbanos. A primeira situação quando os veículos apresentam tempos de contato curtos, é possível assumir que eles se movem a velocidades mais altas e em direções opostas de tráfego, o que causa durações de tempo de duração do contato curtos, podendo ser inferiores a 1 segundo. Na segunda situação quando os veículos apresentam longos tempos de contato, é possível assumir

que eles se movem em alta ou baixa velocidade, porém na mesma direção do tráfego. Estes veículos também podem ter nenhum ou muito pouco movimento, perto o suficiente para manter contato, talvez devido a congestionamentos, ou ainda porque estacionam em seus pontos de táxis. Esse comportamento oferece *OpTs* com duração de tempo de duração do contato superior a 10 segundos, interessante para aplicações de transferência de mídia (TONGUZ; BOBAN, 2010).

5.4.1 Classes de Qualidade pelo tempo (QoT) e Capacidade de Pacotes

Para endossar a afirmação de que o tempo de duração do contato é um indicador de qualidade, a Tabela 5 apresenta a relação entre a capacidade de transmissão de pacotes e o recurso de tempo de duração do contato que uma *OpTs* é capaz de fornecer. Com os resultados discutidos na Seção 5.4, pode ser denominada a classificação de Qualidade de Tempo (QoT).

Portanto, essas oito classes de QoT (A a H) classificam veículos pelo número de pacotes (i.e. datagrama IP) com 1,5 KB que um veículo pode enviar de acordo com uma determinada classe QoT. Em resumo, os dados da Tabela 5 mostram que quanto maior o tempo de duração do contato, maior o número de pacotes que pode ser enviado, comportamento já esperado.

Tabela 5 – Classes QoT (número de pacotes que um emissor pode transmitir de acordo com o tempo de duração do contato com uma *OpTs*).

Classe QoT	Duração (s)	Número de Pacotes (1,5 KB)
A	≥ 0 e ≤ 0.1	0 a 25
B	> 0.1 e ≤ 1	> 25 a 250
C	> 1 e ≤ 10	> 250 a 2.500
D	> 10 e ≤ 100	> 2.500 a 25.000
E	> 100 e ≤ 250	> 25.000 a 62.500
F	> 250 e ≤ 500	> 62.500 a 125.000
G	> 500 e $\leq 1,000$	> 125.000 a 250.000
H	$> 1,000$ e $\leq 3,600$	> 250.000 a 900.000

Fonte: Autoria própria (2020).

Desta forma, é possível afirmar que cada aplicação pode exigir uma quantidade mínima de pacotes para atingir seus objetivos. Portanto, essa classificação permite aos projetistas de protocolo escolher sua estratégia de encaminhamento de protocolo, na qual a classe de veículos se encaixa melhor, e assim escolher os próximos saltos que mais se adequem às necessidades de desempenho da aplicação.

O tempo de duração do contato é o recurso mais valioso, o que afeta diretamente a qualidade de uma VANET. A combinação do tempo de duração do contato com outras medidas pode trazer bons resultados (por exemplo, medidas de centralidade, medidas de agrupamento e

geográficas). Assim, é possível assumir que os protocolos de encaminhamento podem fornecer a qualidade exigida pelo enlace de acordo com os objetivos da aplicação.

5.5 CONSIDERAÇÕES

Nesse capítulo, a avaliação dos recursos disponíveis em uma rede ad hoc veicular por meio das *OpTs* foi apresentada e seus resultados foram discutidos. Destacam-se neste capítulo as *OpTs* como possíveis provedoras de recursos para VANETs.

A circulação de veículos tanto em auto estradas quanto em vias urbanas está diretamente relacionada com a circulação de pessoas, e as pessoas por sua vez relacionadas às atividades econômicas. Sendo assim, nos horários de maior atividade econômica há uma maior circulação de pessoas, e desta forma uma maior circulação de meios de transporte.

Os caminhões, ônibus, trens, metrô, carros de frota ou carros particulares circulam nas vias urbanas transportando mercadorias e pessoas. Os táxis são um exemplo de um modal de transporte urbano de pessoas, e quanto maior o movimento de pessoas durante as horas do dia, maior é a necessidade de meios de transporte como os táxis.

Conforme estes veículos circulam, eles podem se cruzar. Dependendo da situação de tráfego e velocidade de locomoção nas vias, os veículos podem por alguns instantes de tempo manter contato uns com os outros. Este tempo de duração do contato pode ser longo, acima da casa de minutos, como pode ser curto, na casa de unidades de segundo ou ainda menor. Cada contato entre veículos são oportunidades de transmissão.

Contudo, uma oportunidade de transmissão só pode existir se estabelecer entre os veículos uma conexão de rádio para que os veículos se comuniquem de forma ad hoc entre si. Como há entre dois veículos (i.e. veículo emissor e as suas oportunidades de transmissão) um tempo de duração do contato, é possível utilizar estes elementos como forma de medir a capacidade de recursos em uma rede ad hoc de veículos (VANET).

Os recursos que as oportunidades de transmissão geram podem se relacionar com a quantidade de oportunidades propriamente dita, com o tempo de duração do contato entre estas oportunidades ou ainda com o volume de dados que a VANET poderia transportar. Por isso, este capítulo trouxe a apresentação dos recursos gerados, analisados pelo ponto de vista da definição de *OpTs* dada no capítulo 4.

Os resultados mostram que há um inventário de recursos (volume de dados). Este inventário está relacionado com a forma de comunicação entre as *OpTs*, mostrando que as *OpTs*

em paralelo podem oferecer um volume significativamente maior que as $OpTs$ em série. Cabe agora, aos protocolos de encaminhamento de mensagens adaptar suas estratégias de escolha de próximo salto (seção 2.1.5), e desta forma utilizar, ao máximo, a quantidade deste recurso existente na rede melhorando a qualidade da VANET e o desempenho do protocolo.

O escopo deste trabalho também abrange avaliar protocolos de encaminhamento de mensagens baseados em *beacons*. Por isso, avaliar o impacto que o *beacon overhead* pode causar no consumo dos recursos existentes na rede tem grande importância para os desenvolvedores de protocolos. As análises de dados mostraram que não há impacto significativo no inventário de dados teórico total.

Dado que as $OpTs$ estão diretamente relacionadas ao tempo de duração do contato, é importante destacar que o tempo é um recurso fundamental para comunicação em VANETs. É pertinente afirmar que quanto maior o tempo de duração do contato entre os veículos, maior será a qualidade da transmissão (i.e. do ponto de vista de intermitência), e maior será a quantidade de dados (i.e. volume de dados) transmitida. Portanto, classificar os veículos quanto ao tempo de duração do contato torna visível quais são as classes de duração de tempo de duração do contato em que os veículos são mais frequentes. Isso impacta diretamente no tipo de aplicação (seção 2.1.6) que será destinada a rede. Além disso pode impactar também na estratégia de escolha de próximo salto durante o desenvolvimento dos protocolos de encaminhamento.

No Capítulo 6 realiza-se a descrição e aplicação das $OpTs$ como métrica de avaliação de desempenho para protocolos de encaminhamento de mensagens. O simulador para redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN), “THE ONE”, possibilitou a realização dos testes.

Na seção 6.1, ocorre a apresentação da definição da Métrica Oportunidades de Transmissão (Métrica $OpTs$). Por meio da aplicação de sete protocolos de encaminhamento de mensagens na seção 6.2 realiza-se a aplicação da $MétricaOpTs$, e desta forma a avaliação do desempenho desses diversos protocolos de encaminhamento.

6 MÉTRICA PROPOSTA: OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO (OPTS)

O presente Capítulo apresenta as $OpTs$ como uma métrica para avaliar protocolos de encaminhamento em VANETs. A seção 6.1, inicia com a definição da métrica *Oportunidades de Transmissão (OpTs)*. Por fim, (seção 6.2), aplica-se a $OpTs$ como métrica para avaliar o desempenho dos protocolos de encaminhamento em VANETs e destaca-se sua relação com outras métricas existentes na literatura para analisar a eficiência dos protocolos no consumo de recursos.

6.1 DESCRIÇÃO DA MÉTRICA OPTS

Os resultados apresentados no capítulo 5 mostram que existe uma oferta de $OpTs$, bem como de recursos, disponíveis. Estes recursos e $OpTs$ precisam ser avaliados para criação de estratégias de encaminhamento em VANETs. Desta forma, nesta seção descreve-se uma nova métrica para avaliar a eficiência de protocolos de encaminhamento e calcular o uso de recursos dentro de redes ad hoc veiculares. Sua nomenclatura foi definida como métrica *Oportunidades de Transmissão*.

É possível observar que conforme o alcance da comunicação aumenta, a duração do contato entre os veículos também aumenta (seção 5.2, Figura 10). Mesmo a classe com menor duração de contato concede aos veículos tempo suficiente para enviar *beacons* (camada de enlace) e alguns pacotes de dados, conforme apresentados na seção 5.3.

Como descrito anteriormente na seção 5.4, o tempo é uma variável importante para a comunicação entre veículos. Tempos de contato mais longos podem melhorar a condição para a troca de mensagens, entretanto, cabe considerar que um enlace ruim que dura muito não permite enviar muitos dados. A duração do contato nas redes veiculares implica na qualidade da rede. Os resultados apresentados na Figura 15 mostram que a escolha por tempo de duração do contato, em função da aplicação usada e área de cobertura de transmissão, pode ser determinante para o bom desempenho da rede.

Observou-se no capítulo 4 que o número de $OpTs$ aumenta conforme o alcance da comunicação aumenta, aumentando a densidade de veículos. Portanto, é possível afirmar que a duração do contato entre os veículos é proporcional à densidade e que as altas densidades fornecem uma maior quantidade de recursos. Se estes recursos forem melhor utilizados, melhores

resultados podem ser obtidos nos projeto de protocolos de encaminhamento para as VANETs.

No entanto, usar apenas variáveis para medir a densidade local (e.g. grau do nó, coeficiente do clusterização de nós ou densidade do subgráfico), não é suficiente para se beneficiar de todos os recursos em potencial fornecidos pelas *OpTs*. De forma geral, após as investigações e leituras de outros trabalhos na literatura, é possível afirmar que a combinação de informações de densidade com outras variáveis, como: ocupação do buffer, localização do GPS ou tempo de duração do contato, resultará em melhores soluções de encaminhamento de mensagens em VANETs (i.e. soluções híbridas).

Por isso, nesse trabalho, é proposto utilizar as *OpTs* como métrica de avaliação para os protocolos de encaminhamento com o objetivo de investigar:

- Quanto recurso foi consumido na rede;
- Quanto recurso ainda resta na rede.

Para aplicar as *OpTs* como uma métrica de avaliação de eficiência, todo protocolo de encaminhamento deve responder as seguintes perguntas:

1. Qual porcentagem do total de *OpTs* é utilizada?
2. Qual é a quantidade de recursos consumidos?
3. Qual a razão de eficiência obtida em relação a uma outra métrica?

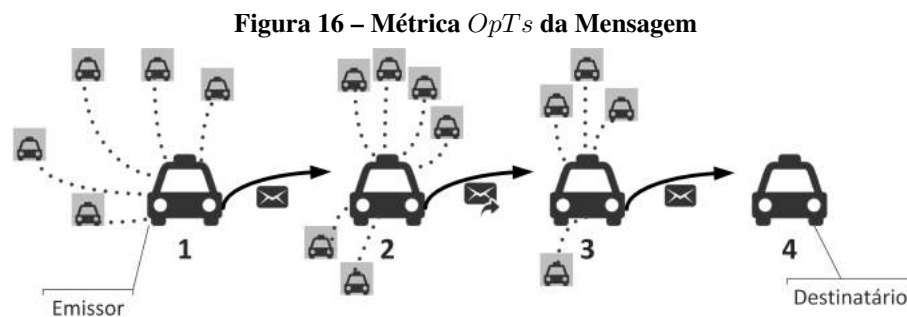
Ao aplicar as *OpTs* como métrica há duas formas de avaliar a eficiência dos protocolos de encaminhamento. Uma destas formas é microscópica e a outra é macroscópica conforme mostram as subseções 6.1.1 e 6.1.2.

6.1.1 Métrica OpTs da Mensagem

Esta aplicação das *OpTs* retorna uma visão microscópica do consumo de recursos do ponto de vista das mensagens entregues. A partir de um veículo emissor o caminho da mensagem é rastreado para saber para quais veículos esta mensagem foi encaminhada até ser entregue. Esta aplicação retorna o custo para entrega das mensagens, nos casos de sucesso.

A Figura 16 ilustra esta interação entre veículos, *OpTs* e mensagem. Nessa figura dada uma mensagem identificada pelo ícone de um envelope fechado, todos os veículos (identificados

com um ícone de um táxi e números de 1 a 4) para os quais essa mensagem foi encaminhada serão verificados. Cada um dos veículos possui diversas $OpTs$ não utilizadas, identificados na figura por ícones de táxis com fundo cinza. As linhas pontilhadas indicam as $OpTs$ de um determinado veículo. A linha contínua com uma seta indica a OpT que foi utilizada pelo veículo para encaminhar a mensagem. O veículo “táxi 1” é o emissor da mensagem e possui seis $OpTs$ as quais podem ser em série ou em paralelo, incluindo o “táxi 2” para o qual encaminhou a mensagem. O “táxi 2” possui sete $OpTs$, incluindo o “táxi 3” para o qual encaminhou a mensagem. O “táxi 3” possui 5 $OpTs$, incluindo o “táxi 4” que é o destinatário. O veículo que encaminha a mensagem não conta como OpT por ser o emissor.



Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 16 mostra que para uma determinada mensagem há uma quantidade de $OpTs$, e que algumas destas oportunidades são utilizadas, outras não. Com essa descrição é possível obter o percentual (%) de utilização do recurso $OpTs$ para entregar uma mensagem. Este percentual vai variar de acordo com:

- O protocolo de encaminhamento;
- A estratégia de encaminhamento aplicada por tal protocolo;
- A quantidade (densidade) de veículos na VANET.

A Equação 5 apresenta um exemplo de como obter este percentual e assim calcular a Métrica Oportunidade de Transmissão da Mensagem ($OpTs_{MSG}$). O numerador representa a quantidade de $OpTs$ usadas para encaminhar a mensagem até o destino e o denominador representa a soma das $OpTs$ de cada “táxi n[1,2,3 e 4]” (ver Figura 16). A razão entre estas duas grandezas retorna o percentual (%) entre 0% e 100% (i.e. valor entre 0 e 1) de recurso utilizado. No exemplo são 3 $OpTs$ usadas e 18 $OpTs$ no total, resultando num aproveitamento aproximado de 16,67% do total de recursos. Neste caso os recursos são as próprias $OpTs$.

O valor no dividendo é o número total de $OpTs$ enquanto a mensagem está ativa na rede, durante um GVT qualquer, representando as $OpTs$ que poderiam ser usadas por um determinado protocolo como escolha para encaminhar a mensagem.

$$OpTs_{MSG} = \frac{3}{6+7+5} = \frac{3}{18} = 0,16667$$

$$\therefore OpTs_{MSG} \approx 16,67\%$$
(5)

Portanto, para formalizar a métrica $OpTs_{MSG}$ aplica-se a Equação 6, em que OpT_U é cada uma das $OpTs$ usadas para entregar uma mensagem, e o somatório das OpT são todas as $OpTs$ que cada um dos n veículos i tiveram contato, porém podendo ou não terem as utilizado para que a mensagem tenha sido encaminhada.

$$OpTs_{MSG} = \frac{\sum OpT_U}{\sum_{i=1}^n OpT}$$
(6)

A seção 6.2 mostra os resultados da aplicação da $MOpTs_{MSG}$ para três diferentes cenários, variando a quantidade de veículos, e ainda avaliando sete diferentes protocolos de encaminhamento de mensagens frequentemente utilizados como base de avaliação em VANETs.

6.1.2 Métrica OpTs da Rede

Esta aplicação das $OpTs$ retorna uma visão macroscópica do consumo de recursos, onde esses recursos podem ser o tempo de duração do contato ou o volume de dados. Esta visão macroscópica pretende apresentar a quantidade de recurso disponibilizada utilizada em determinado GVT. Da mesma forma, é possível calcular quanto recurso restou.

Muitas das estratégias para encaminhamento aplicadas aos protocolos de encaminhamento são projetadas para alcançar altas taxas de entrega de mensagens de baixo custo (*overhead* relativo), conforme discussão na seção 2.2. Da mesma forma, a eficiência dos protocolos é avaliada por meio de diversas métricas, conforme mostra a Tabela 2 da seção 2.2.3.

Estas métricas são macroscópicas e não avaliam os veículos individualmente, mas sim globalmente, dando uma visão geral da eficiência do protocolo de encaminhamento na rede. Dentre as grandezas utilizadas estão:

- Número de mensagens criadas;
- Número de mensagens transmitidas;
- Número de mensagens abortadas;

- Número de mensagens iniciadas;
- Número de mensagens descartadas;
- Número de mensagens entregues;
- Número de cópias de mensagens criadas;
- Tempo para entrega da mensagem (segundos);
- Número de saltos;
- Bytes entregues;
- Transações por segundo.

Portanto, como forma de realizar uma outra abordagem para avaliar a eficiência global da rede, e de forma macroscópica, propõe-se a utilização de duas grandezas, as quais podem ser extraídas das $OpTs$ em um GVT. Estas grandezas são:

1. Duração do contato (segundos) e
2. Taxa de transmissão de dados (Mbps).

O conceito de $OpTs$ apresentado na seção 4.1 leva à compreensão de que quando um veículo estiver dentro do raio de alcance de comunicação de outro veículo, haverá um tempo de duração do contato entre eles. Este tempo de duração do contato pode durar milésimos de segundos, ou vários minutos. Conforme abordagem realizada na seção 5.4, a duração do tempo contato entre veículos vai depender de fatores como:

- Alcance do sinal de comunicação;
- Velocidade dos veículos na via;
- Ativação do veículo no GVT;
- Direção de deslocamento dos veículos.

Contudo, mesmo se o tempo de duração do contato for muito pequeno, é possível considerar esse tempo de duração do contato como sendo um recurso essencial. Sem este recurso, nenhuma outra métrica pode ser aplicada, i.e., sem tempo de duração do contato não há troca de

mensagens. Por isso, o tempo é uma variável indicadora de qualidade e quanto melhor utilizado for, melhor a qualidade da VANET e conseqüentemente melhor a eficiência do protocolo de encaminhamento.

O tempo de duração do contato entre os veículos está relacionado com o alcance do sinal de rádio propagado por cada veículo. O padrão IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008) define que o raio de alcance do sinal chegue no máximo a 1.000 m. Portanto, quanto maior o alcance de sinal, maior será a possibilidade de dois veículos permanecerem em contato, e conseqüentemente maior será o tempo de duração do contato.

O padrão IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008) define, entretanto, de forma inversa, que quanto menor o alcance do sinal, maior é a taxa de transmissão de dados (i.e. no melhor caso). Por exemplo, para um raio de alcance de 1000m as taxas de transmissão de dados serão de no máximo 3Mbps. Já para um raio de alcance de 50m a taxa de transmissão de dados que depende da relação sinal ruído e assim, da modulação que pode ser utilizada poderia chegar a 27Mbps. Esse valor vai depender da aplicação que será utilizada, do tipo de mensagem que será propagado, e da configuração dos equipamentos de rádio em cada veículo (CUNHA *et al.*, 2016) (BARBA *et al.*, 2012).

Quando os veículos ficam em contato com uma determinada taxa de transmissão de dados, é possível obter um *volume teórico* de dados transmitido entre estes veículos. Por definição, uma *OpTs* não é garantia de enlace e se não houver enlace não há tráfego de dados, por isso, volume teórico. Desta forma, esta condição permite obter a razão entre a quantidade de recurso utilizado pelas *OpTs* e a quantidade total teórica de recurso gerado pelas *OpTs*. É importante ressaltar que não foi realizado cálculo para verificar quem tem mais recurso teórico no que diz respeito ao maior raio com menor velocidade do veículo ou o contrário. A velocidade do veículo não foi utilizada como variável de forma isolada.

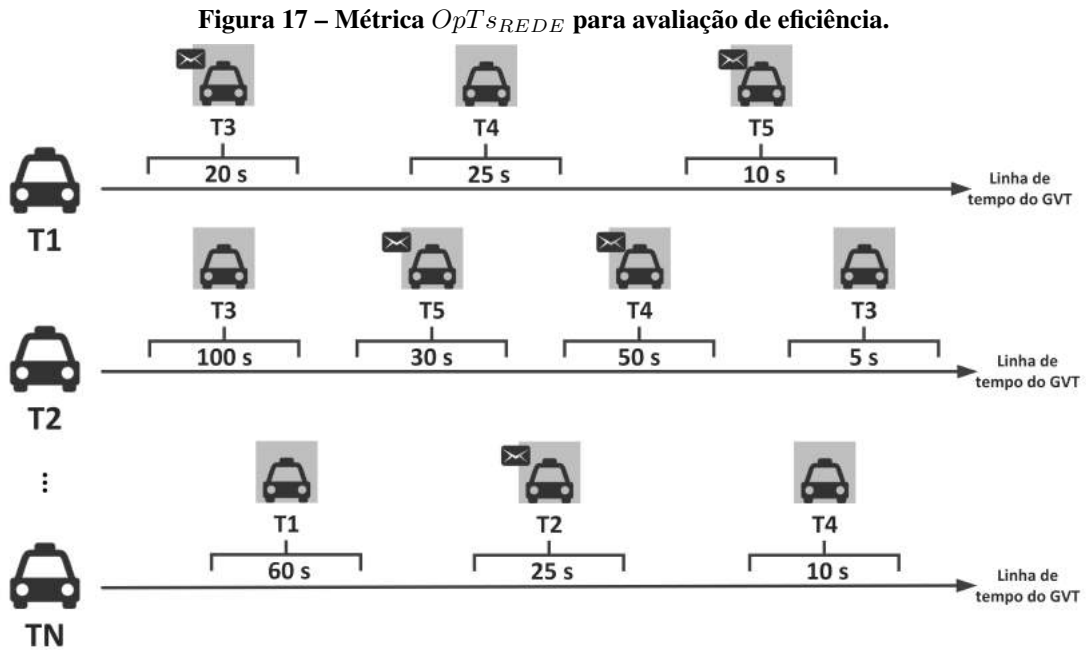
Assim, para cada *OpTs* uma quantidade de recurso é gerada, seja este o tempo de duração do contato ou o volume de dados. Portanto, no decorrer de um GVT, estes recursos serão consumidos, acarretando em um custo. Por isso, com a métrica *Oportunidades de Transmissão (OpTs)* é possível medir a qualidade da estratégia de encaminhamento de um protocolo, para avaliar se essas estratégias estão obtendo bons resultados no que tange o consumo destes recursos. Portanto, a métrica $OpTs_{REDE}$ pode ser aplicada como uma medida de comparação de desempenho entre diferentes protocolos de encaminhamento de mensagens em VANETs.

A Figura 17 ilustra a aplicação das métrica $OpTs_{REDE}$ para avaliar de forma macroscó-

pica o desempenho da rede. Os veículos de referência (i.e. veículo emissor) estão representados por um ícone de um táxi e recebem o nome de “T1”, “T2” e “TN”. A linha contínua com uma seta à direita indica a “Linha de tempo do GVT”. Os ícones de um táxi com fundo cinza são as *OpTs*. O ícone do táxi com fundo cinza e um envelope fechado indicam que é uma *OpTs* que foi usada pelo veículo emissor no decorrer de tempo. Os colchetes na horizontal representam o tempo em que o veículo emissor e a *OpTs* ficaram em contato. Para cada um dos veículos emissores tem-se:

1. **Táxi T1:** O “Táxi T1” no decorrer do tempo do GVT apresenta três *OpTs* “Táxi T3”, “Táxi T4” e “Táxi T5”. Com os quais mantém respectivamente os seguintes tempos de contato: 20s, 25s e 10s. Dessas três *OpTs*, somente duas foram usadas: “Táxi T3” e “Táxi T5”. Isto implica que o recurso do “Táxi T4” não foi usado, assim é possível assumir que este recurso não foi utilizado.
2. **Táxi T2:** O “Táxi T2” no decorrer do tempo do GVT apresenta quatro *OpTs* “Táxi T3”, “Táxi T5”, “Táxi T4” e “Táxi T3” novamente. Respectivamente mantém os seguintes tempos de contato com estes veículos: 100s, 30s, 50s e 5s. Destas quatro *OpTs*, somente duas foram usadas: “Táxi T5” e “Táxi T4”. Isto implica que o recurso do “Táxi T3” não foi usado em nenhuma das ocasiões de contato, assim é possível assumir que estes recursos não foram utilizados.
3. **Táxi TN:** O “Táxi TN” representa o *n*-ésimo veículo, pois esta verificação ocorre em todos os veículos ativos no período de tempo do GVT. Desta forma, o “Táxi TN” no decorrer do tempo do GVT apresenta três *OpTs* “Táxi T1”, “Táxi T2” e “Táxi T4”. Com os quais mantém respectivamente os seguintes tempos de contato: 60s, 25s, 10s. Destas três *OpTs*, somente uma foi usada: “Táxi T2”. Isto implica que o recurso do “Táxi T1” e o recurso do “Táxi T4” não foi usado em nenhuma das ocasiões de contato, assim é possível assumir que estes recursos não foram utilizados.

Na ilustração da Figura 17 não importa se as mensagens foram entregues, descartadas, excluídas ou expiradas. Toda e qualquer *OpTs* é usada para medir a quantidade de recursos utilizada na rede de acordo com um determinado protocolo de encaminhamento. Portanto, com estas informações é possível calcular o percentual de recursos consumidos na rede para um GVT qualquer.



Fonte: Autoria própria (2020).

A Equação 7 apresenta um exemplo de como calcular o percentual de recursos consumidos (conforme Figura 17) e assim obter a métrica *Oportunidades de Transmissão* ($OpTs$). O numerador representa a quantidade total de recursos utilizada por todos os veículos emissores e suas $OpTs$. Já o denominador representa a quantidade total de recursos, utilizada ou não, por todos os veículos emissores e suas $OpTs$. A razão entre estas duas grandezas retorna o percentual (%) de recurso utilizado, neste caso o recurso é o tempo de duração do contato, dado em segundos. A ilustração da Figura 17 serve como referência para o exemplo, no qual existem três veículos (i.e. “T1, T2 e TN”) para calcular a métrica $OpTs_{REDE}$, e de acordo com o exemplo terá o seguinte retorno:

- Total de Recursos Utilizados:** O veículo emissor “Táxi T1” usou no decorrer do GVT as $OpTs$ “T3” e “T5”, totalizando $20 + 10 = 30$ s. O veículo emissor “Táxi T2” usou as $OpTs$ “T5” e “T4”, totalizando $30 + 50 = 80$ s. Supondo que o “Táxi TN” seja o enésimo veículo, esse veículo emissor usou no decorrer do GVT a $OpTs$ “T2”, totalizando 25s. Ao final da verificação da interação dos “TN” veículos com suas $OpTs$ somou-se o total de $30 + 80 + 25 = 135$ s de recursos utilizados.
- Total Geral de Recursos Disponíveis:** Todas as $OpTs$ utilizadas ou não, formam o total geral de recursos existentes na rede para um determinado GVT. O total geral de recursos gerado entre os veículos emissores “Táxi T1”, “Táxi T2” e “Táxi TN” e suas $OpTs$

“T3”, “T4”, “T5”, “T3”, “T5”, “T4”, “T3”, “T1”, “T2” e “T4” respectivamente foi de $20 + 25 + 10 + 100 + 30 + 50 + 5 + 60 + 25 + 10 = 335 s$.

3. **Métrica OpT_{sREDE} da Rede:** O consumo de recursos para um dado GVT é de $\frac{135}{335}$ portanto, métrica $OpT_{sREDE} \approx 40,3\%$. Isso implica que $\approx 59,7\%$ do total de recurso gerado entre um veículo emissor e suas $OpTs$ não foi utilizado. Portanto, do ponto de vista da métrica OpT_{sREDE} , a estratégia de encaminhamento de um protocolo de encaminhamento qualquer é capaz de usar $\approx 40,3\%$ dos recursos existentes na rede.

Vale destacar que todos os veículos podem ser emissores e $OpTs$, de forma recorrente durante todo o tempo de duração de um GVT. A métrica OpT_{sREDE} verifica todas estas ocorrências para gerar o percentual de uso dos recursos da rede. Da mesma forma, é importante destacar que independentemente do protocolo de encaminhamento utilizado, a quantidade de recursos será a mesma. Cabe ao protocolo melhor utilizar estes recursos providos pelas $OpTs$.

$$\begin{aligned} OpT_{sREDE} &= \frac{(20+10)+(30+50)+\dots+(25)}{(20+25+10+100+30+50+5+60+25+10)} \\ OpT_{sREDE} &= \frac{135}{335} = 0,402985 \\ \therefore OpT_{sREDE} &\approx 40,3\% \end{aligned} \quad (7)$$

Na Equação 7 o recurso utilizado para calcular a OpT_{sREDE} foi o tempo de duração do contato, dado em segundos. Contudo, há a possibilidade de utilizar o volume de dados teórico como grandeza para medir a quantidade utilizada de recursos. Para isso, é preciso aplicar a taxa de transmissão de dados de acordo com o que fundamenta o padrão IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008), não podendo ser múltiplas taxas, como acontece quando a camada de enlace adapta a taxa de transmissão de acordo com o nível de sinal dado o seu respectivo alcance. Basta multiplicar o tempo de duração do contato por uma das taxas disponibilizadas (e.g. $3Mbps$, $4,5Mbps$, $6Mbps$, $9Mbps$, $12Mbps$, $18Mbps$, $24Mbps$ e $27Mbps$). A Equação 8 exemplifica esta aplicação a uma taxa de $3Mbps$ conforme a Figura 17.

$$\begin{aligned} OpT_{sREDE} &= \frac{[(20+10)+(30+50)+\dots+(25)] \times 3}{(20+25+10+100+30+50+5+60+25+10) \times 3} \\ OpT_{sREDE} &= \frac{135 \times 3}{335 \times 3} = \frac{405}{1005} = 0,402985 \\ \therefore OpT_{sREDE} &\approx 40,3\% \end{aligned} \quad (8)$$

O resultado da aplicação da métrica OpT_{sREDE} mostrado na Equação 8 possibilita descobrir qual o volume total de dados utilizados, e qual o volume total geral teórico de dados (i.e. dados usados mais dados não usados). Neste caso basta realizar uma simples conversão para

GB, e nesse caso o volume total de dados usados seria de $\approx 0,05GB$ ou $\approx 50MB$. Já o volume total geral de dados seria de $\approx 0,125GB$ ou $125MB$.

Desta forma, os projetistas de protocolos podem utilizar a métrica $OpTs_{REDE}$ para calcular os recursos totais da rede. Após a execução da simulação de teste do protocolo de encaminhamento, verificou-se a quantidade total de recursos utilizadas por todos os veículos que estiverem incluídos e ativos em um cenário, obtendo assim o percentual (%) de uso no valor entre 0% e 100% (i.e. valor entre 0 e 1). A métrica $OpTs_{REDE}$ é formalizada por meio da Equação 9, onde o somatório total de recursos usados $OpTs_U$ por cada veículo i é dividido pela soma do total geral teórico de recursos gerados por todas as $OpTs_j$ que tenham sido estas usadas ou não. A variável n indica o número de veículos i , enquanto o valor j indica todas as m $OpTs$ de i :

$$OpTs_{REDE} = \frac{\sum_{i=1}^n OpTs_U_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m OpTs_j} \quad (9)$$

Na necessidade de calcular o consumo de recursos utilizando a taxa de transmissão de dados, basta aplicar a Equação 10, em que Tx é a taxa de transmissão de dados de acordo com o padrão IEEE 802.11p aplicado à rede. As demais variáveis são as mesmas da Equação 9:

$$OpTs_{REDE} = \frac{[\sum_{i=1}^n OpTs_U_i] \times Tx}{[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m OpTs_j] \times Tx} \quad (10)$$

Para descobrir o volume de dados utilizados (V_U) basta aplicar a Equação 11, em que TC_U é o tempo total de contato entre as $OpTs$ usadas, Tx é a taxa de transmissão de dados de acordo com o padrão IEEE 802.11p e 8.000 é a constante de conversão de megabits para gigabytes.

$$V_U = \frac{TC_U \times Tx}{8000} \quad (11)$$

Para descobrir o volume total (representado por GT) de dados gerados (V_{GT}), basta aplicar a Equação 12, em que TC_{GT} é o tempo de duração do contato entre todas as $OpTs$ (usadas ou não), Tx é a taxa de transmissão de dados de acordo com o padrão IEEE 802.11p e 8.000 é a constante de conversão de megabits para gigabytes.

$$V_{GT} = \frac{TC_{GT} \times Tx}{8000} \quad (12)$$

Após a verificação de como a métrica $OpTs_{REDE}$ é aplicada, é importante fixar porque trata-se de uma avaliação de eficiência em que é possível verificar, por exemplo, quantas mensagens foram entregues de acordo com a quantidade de recursos utilizados, pois a eficiência é uma

medida que mostra o aproveitamento dos recursos utilizados. Exemplificando: um protocolo de encaminhamento pode usar 10% do recurso para entregar 90% de mensagens ou ainda, pode usar 50% dos recursos para entregar 15% das mensagens. A combinação da métrica $OpTs$ com outras métricas mostra como é o desempenho de um protocolo de encaminhamento em relação ao consumo de recursos.

Contudo, a métrica $OpTs$ não dependeria de simulador e poderia ser implementada para testar qualquer protocolo de encaminhamento, sem se preocupar com a redução de eficiência da estratégia personalizada e proposta em cada trabalho. Os dados necessários (e.g. tempo de duração do contato e número de contatos), os quais são valores de entrada para aplicação desta métrica são facilmente obtidos através da troca de *beacons* entre dois veículos. Esses dados possibilitam observar quantas mensagens foram enviadas para saber o quanto foi usado de recurso e qual a eficiência de cada protocolo de encaminhamento.

Os *beacons* de camada de enlace podem conter muitas informações. Somente será possível aplicar a métrica $OpTs$ se os protocolos de encaminhamento forem baseados em *beacon*, ou se o tempo de duração do contato puder ser extraído de outra forma nos simuladores.

Portanto, com a métrica $OpTs$ devidamente apresentada, se faz necessário utilizar protocolos de encaminhamento de mensagens conhecidos como forma de testar a aplicação da nova métrica. A seção 6.2 mostra os resultados da aplicação da métrica $OpTs$, bem como a discussão acerca desses resultados.

6.2 APLICAÇÃO DA MÉTRICA OPTS

Nesta seção ocorre a apresentação dos resultados obtidos com a aplicação da métrica $OpTs$ para avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens em VANETs. Na primeira parte apresentam-se a metodologia utilizada bem como, a indicação dos protocolos que foram utilizados para testar a métrica. Na segunda parte mostram-se os resultados obtidos para *Métrica $OpTs$ da Mensagem* (seção 6.2.2) e por fim *Métrica $OpTs$ da Rede* (seção 6.2.3).

6.2.1 Metodologia de Aplicação

Para testar a métrica $OpTs$ são necessários ao menos: um protocolo de encaminhamento de mensagens, um cenário de simulação, um GVT e um ambiente de simulação. Nesse trabalho utilizam-se sete protocolos de encaminhamento, quatro cenários de simulação, e vinte e quatro

GVTs.

A escolha dos protocolos de encaminhamento tem como base o modo de operação (seção 2.1.5) e sua classificação. O modo de operação está relacionado com a estratégia de encaminhamento que um determinado protocolo aplica para escolher a quem encaminhar a mensagem. Por isso, de acordo com o modo de operação, os protocolos de encaminhamento utilizados são:

- **Epidêmico:** O protocolo de encaminhamento *Epidêmico* (VAHDAT *et al.*, 2000) é um protocolo que mantém uma relação livre de contexto com o cenário em que se insere, e utiliza o modo de operação de **disseminação**. Implementa a estratégia *epidêmica* de encaminhamento de mensagens, não faz controle do número de cópias.
- **Spray and Wait:** O protocolo de encaminhamento *Spray and Wait* (SPYROPOULOS *et al.*, 2005) é um protocolo que mantém uma relação livre de contexto com o cenário em que se insere, e que utiliza o modo de operação **oportunistico**. Implementa a estratégia *epidêmica* de encaminhamento de mensagens, porém com controle do número de cópias que são lançadas na rede.
- **Prophet:** O protocolo de encaminhamento *Prophet* (LINDGREN *et al.*, 2003) mantém uma relação ligada ao contexto em que se insere e utiliza o modo de operação **oportunistico**. Implementa a estratégia *probabilística* de encaminhamento de mensagens.
- **BubbleRap:** O protocolo de encaminhamento *BubbleRap* (HUI *et al.*, 2010) é um protocolo que mantém uma relação ligada ao contexto com o cenário em que se insere, e que utiliza o modo de operação **topológico**. Implementa a estratégia baseada em análise de redes sociais para encaminhamento de mensagens.
- **VRGeo:** O protocolo de encaminhamento *VRGeo* (DILLON; ZNATI, 2009) é um protocolo que mantém uma relação ligada ao contexto com o cenário em que se insere, e que utiliza o modo de operação **geográfico**. Implementa a estratégia *geográfica* de encaminhamento de mensagens.
- **Direct Delivery:** O protocolo de encaminhamento *Direct Delivery* (SONG; KOTZ, 2007) é um protocolo que mantém uma relação livre de contexto com o cenário em que se insere, e que utiliza o modo de operação **oportunistico**. Implementa a estratégia *entrega direta* de encaminhamento de mensagens.

- **First Contact:** O protocolo de encaminhamento *First Contact* (SOCIEVOLE *et al.*, 2011) é um protocolo que mantém uma relação livre de contexto com o cenário em que se insere, e que utiliza o modo de operação **oportunistico**. Implementa a estratégia *direta* de encaminhamento de mensagens.

Para os cenários de simulação utilizam-se dois cenários com dados realísticos de movimentação de veículos oriundos das cidades de Roma (Itália) e San Francisco (EUA), conforme descrito na seção 3.1. No terceiro cenário de simulação, os dados de movimentação são sintéticos oriundos do mapa da cidade de Helsinki (Finlândia). Estes três cenários têm as seguintes características acerca do número de veículos e do tipo de movimentação destes veículos:

- **Roma:** São 187 veículos e modo de movimentação baseado em coordenadas UTM¹ com origem no arquivo fonte que contém os dados de movimentação.
- **San Francisco:** São 468 veículos e modo de movimentação baseado em coordenadas UTM com origem no arquivo fonte que contém os dados de movimentação.
- **Helsinki GR:** São 187 veículos e modo de movimentação baseado no mapa de caminho mais curto (EKMAN *et al.*, 2008). Não foram criados pontos de interesse. Os veículos escolhem um ponto de forma aleatória e se encaminham para este ponto no mapa utilizando o caminho mais curto (KERÄNEN *et al.*, 2009).

Para cada um dos cenários citados, existem 24 GVTs com duração de 3.600 segundos (i.e. cada hora de um dia). Em cada um desses GVTs há um número específico de veículos. A Tabela 6 mostra como é esta distribuição.

O ambiente de simulação utilizado é o *ONE Simulator* (KERÄNEN *et al.*, 2009), apresentado na seção 3.3. A Tabela 7 mostra os dados de configuração das simulações.

Nos cenários de Roma e San Francisco utiliza-se os seguintes protocolos de encaminhamento de mensagens nas simulações (i.e. parâmetro *Group.router* Tabela 7): *Epidêmico*, *Spray and Wait*, *Prophet*, *DirectDelivery* e *FirstContact*. Não foi possível rodar os sete protocolos,

¹ Sistema referencial de localização terrestre baseado em coordenadas métricas definidas para cada uma das 60 zonas UTM, múltiplas de 6 graus de longitude, na Projeção Universal Transversal de Mercator e cujos eixos cartesianos de origem são o Equador, para coordenadas N (norte) e o meridiano central de cada zona, para coordenadas E (leste), devendo ainda ser indicada a zona UTM da projeção. As coordenadas N (norte) crescem de S para N e são acrescidas de 10.000.000 (metros) para não se ter valores negativos ao sul do Equador que é a referência de origem; já as coordenadas E (leste) crescem de W para E, acrescidas de 500.000 (metros) para não se ter valores negativos a oeste do meridiano central (LANGLEY, 1998).

Tabela 6 – Distribuição de veículos em cada GVT para os três cenários.

GVT	Roma	San Francisco	Helsinki R
0	42	459	42
1	32	451	32
2	13	432	13
3	11	400	11
4	16	335	16
5	46	265	46
6	95	189	95
7	108	142	108
8	125	204	125
9	133	269	133
10	137	347	137
11	138	331	138
12	153	428	153
13	187	450	187
14	146	464	146
15	120	460	120
16	118	468	118
17	122	457	122
18	119	456	119
19	116	452	116
20	113	447	113
21	106	437	106
22	75	453	75
23	52	466	52

Fonte: Autoria própria (2020).

pois os protocolos BubbleRap e VRGeo não permitiam utilizar os arquivos de dados reais de movimentação como entrada de dados para a simulação. No cenário de Helsinki utiliza-se todos os sete protocolos de encaminhamento de mensagens nas simulações. Por isso a Tabela 8 mostra como as simulações estão organizadas, de acordo com os protocolos utilizados (sua classificação quanto ao modo de operação e estratégia de encaminhamento), os raios de alcance, cenários.

Conforme apresentação realizada na seção 3.3.3, na Tabela 4, após o processo de simulação ocorre a criação de arquivos de saída. Esses arquivos de saída são úteis na análise de dados. Nessa seção, os arquivos de saída têm aplicação para avaliar a aplicação da *Métrica OpTs*.

Desta forma, dois arquivos são necessários para avaliar as *OpTs* como métrica. O primeiro arquivo de saída, arquivo *when-howlong*, contém as informações do tempo de duração dos contatos entre veículos. O segundo arquivo de saída, arquivo *when-howlong-msg*, contém as informações de todas as vezes que uma mensagem é encaminhada (ver Tabela 4). O primeiro arquivo permite obter a quantidade total de recursos, já o segundo arquivo permite obter as informações do consumo de recursos para encaminhamento.

Nas seção 6.2.2 e na seção 6.2.3 são apresentadas as características de aplicação de cada uma das variações da *Métrica OpTs*.

Tabela 7 – Dados de configuração das simulações. R= Roma, SF= San Francisco e H= Helsinki.

Parâmetro	Cenário	Valor Atribuído	Precisa Trocar o Valor
Scenario.simulate Connections	R, SF, H	True	Não
highspeedInterface. transmitSpeed (Mbps)	R, SF, H	3M	Não
highspeedInterface. transmitRange (metros)	R, SF, H	50, 200 e 1.000	Sim: (50, 200, 1.000)
Scenario.nrofHostGroups	R, SF, H	1	Não
Group.movementModel	R, SF, H	ExternalPathMovement (Roma e San Francisco) ShortestPathMapBasedMovement (Helsinki)	Sim
Group.traceFile	R, SF	Caminho para arquivo de entrada com os dados de movimentação no formato ‘THE ONE’ (*.csv)	Sim: (para cada arquivo de movimentação para cada um dos 24 GVTs)
Group.activeFile	R, SF	Caminho para arquivo de entrada com os dados de ativação no formato ‘THE ONE’ (*.csv)	Sim: (para cada arquivo de ativação para cada um dos 24 GVTs)
Group.router	R, SF, H	Não definido	Sim
Scenario.endTime (s)	R, SF, H	3.6k	Não
Group.nrofHosts	R, SF, H	de mínimo até o máximo	Sim: (De acordo com o número de veículos em cada um dos 24 GVTs)
Group.msgTtl (minutos)	R, SF, H	60	Não
Group.nrofInterfaces	R, SF, H	1	Não
Group.speed (mph)	R, SF, H	2.7, 13.9	Não
Group.bufferSize	R, SF, H	1 GB	Não
Events1.size (Tam. msg)	R, SF, H	1M,100M	Não

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 8 – Organização das simulações para testar a Métrica OpTs. R= Roma, SF= San Francisco e H= Helsinki.

Protocolo	Modo Operação	Classificação Estratégia	Alcance (m)			Cenário		
			50	200	1000	R	SF	H
Epidêmico	Disseminação	Epidêmica	X	X	X	X	X	X
Spray n’ Wait	Oportunístico	Epidêmica	X	X	X	X	X	X
Prophet	Oportunístico	Probabilística	X	X	X	X	X	X
BubbleRap	Topológico	Social	X	X	X			X
VRGeo	Geográfico	Geográfica	X	X	X			X
Direct Delivery	Oportunístico	Direta	X	X	X	X	X	X
First Contact	Oportunístico	Direta	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria (2020).

6.2.2 Aplicação Métrica OpTs da Mensagem

Nesta aplicação é possível observar a relação (%) entre a quantidade de *OpTs* utilizadas e a quantidade total de *OpTs* disponíveis por mensagem entregue. Este resultados seguem a definição de *Métrica OpTs da Mensagem* (seção 6.1.1).

Após a execução das simulações com 24 GVTs, sete protocolos no cenário de Helsinki e cinco no cenário de Roma e San Francisco e para os três raios de alcance, é possível observar os resultados. O objetivo de utilizar a métrica *Métrica OpTs da Mensagem* para avaliar a eficiência dos protocolos de encaminhamento do ponto de vista microscópico foi atingido.

Os resultados da aplicação da métrica para os protocolos são mostrados em uma plotagem do tipo *BoxPlot* e com os dados apresentados de forma sintética. Sempre que se tratar do cenário de Helsinki serão sete protocolos de encaminhamento. Para os cenários de Roma e San Francisco serão cinco protocolos de encaminhamento.

A Figura 18 mostra os resultados para o raio de alcance de 50 metros, a Figura 19 para o raio de alcance de 200 metros e a Figura 20 para o raio de alcance de 1000 metros. De forma holística, independente do cenário ou do raio de alcance os protocolos apresentam desempenhos diferentes do ponto de vista do consumo de *OpTs*².

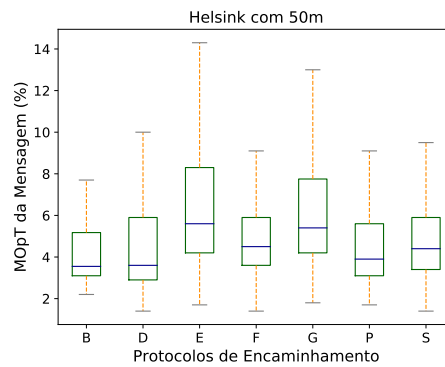
Todos os cenários forneceram aos protocolos o mesmo número de veículos e as mesmas condições de avaliação. Contudo, dados os seus diferentes modos de operação (Tabela 8), e a forma como interagem com as *OpTs* durante a duração dos GVTs, isso leva a um uso distinto da rede, isto é, dos recursos da rede. Outra observação interessante de como os protocolos atuam de maneira diferente e de que a métrica mostra isso, se dá devido ao *MOpT da Mensagem (%)* ser diferente em cada cenário. Nota-se que quanto maior o raio de alcance, menor passa a ser o percentual e isso se deve ao aumento de *OpTs* conforme aumenta o raio (ver Capítulo 4). Os cenários de Helsinki e Roma, mesmo contendo a mesma quantidade de veículos nas simulações trazem resultados diferentes. Já o cenário de San Francisco, apresenta os menores percentuais de utilização de recursos. Novamente, há uma quantidade maior de veículos indicando que há um maior número de recursos disponíveis, e que ainda há muito recurso para ser explorado pelos protocolos de encaminhamento.

Os dados apresentados nas Figuras 18, 19 e 20 mostram que a quantidade de veículos

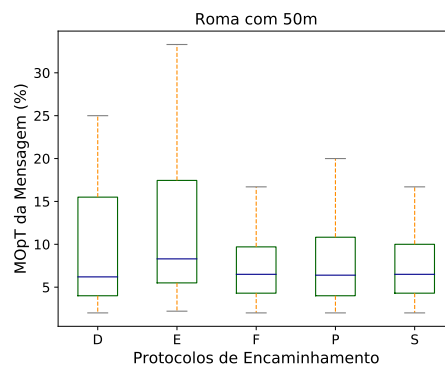
² É importante ressaltar que este trabalho não tem por objetivo discutir, de acordo com cada resultado, o porquê de cada protocolo de encaminhamento obter um diferente consumo de recurso. Desta forma, o objetivo é demonstrar que dado diferentes modos de operação e diferentes estratégias de encaminhamento, o consumo de recursos na VANET é diferente.

e o raio de alcance são dados sensíveis para analisar o desempenho dos protocolos. E vale adicionar que, tudo vai depender da aplicação, da mesma forma que vai depender do cenário em que determinado protocolo de encaminhamento é aplicado. Em cada Figura a seguinte legenda deve ser respeitada, protocolos: B= BubbleRap, D= Direct Delivery, E= Epidêmico, F= First Contact, G= VRGeo, P= Prophet e S= Spray and Wait. (a) Helsinki (b) Roma e (c) San Francisco.

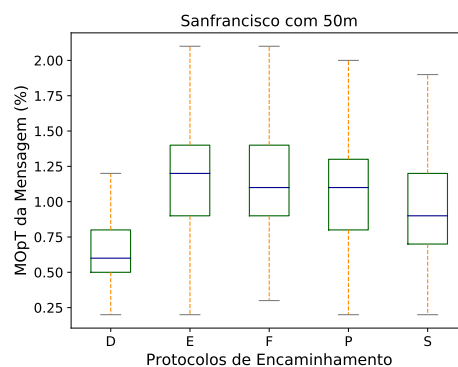
Figura 18 – Resultados da aplicação da Métrica *OpTs da Mensagem*. Raio de alcance de sinal: 50 m.



(a) Helsinki



(b) Roma

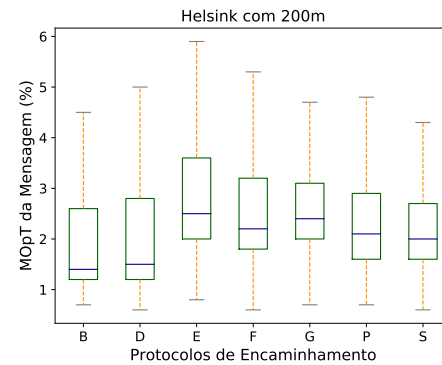


(c) San Francisco

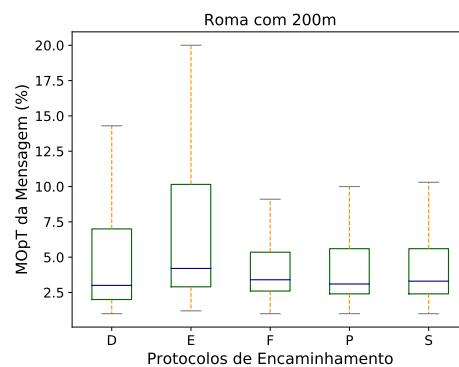
Fonte: Autoria própria (2020).

Um mesmo protocolo de encaminhamento pode ser aplicado em diferentes cenários. Da

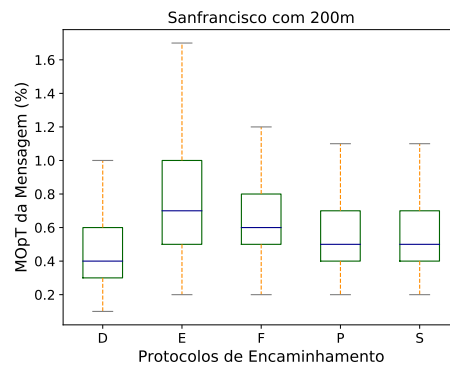
Figura 19 – Resultados da aplicação da Métrica *OpT*s da Mensagem. Raio de alcance de sinal: 200 m.



(a) Helsinki



(b) Roma



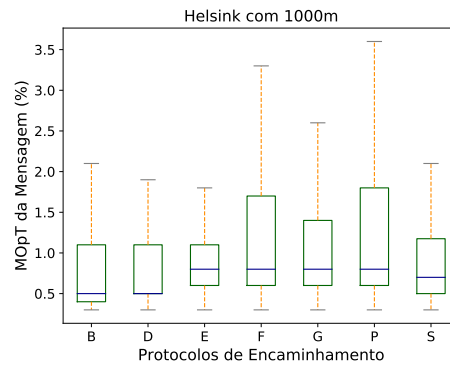
(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

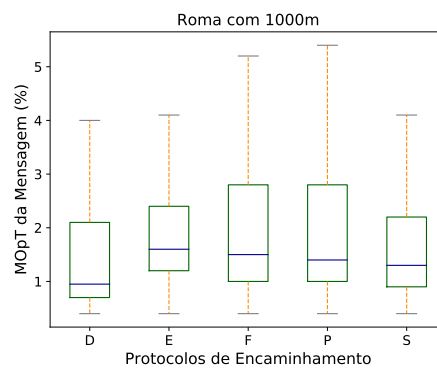
mesma forma, este protocolo pode ser avaliado utilizando a métrica para verificar sua eficiência. Optou-se por incluir nesse documento apenas os resultados dos protocolos Epidêmico e *Direct Delivery*, visto que os demais apresentaram o mesmo comportamento.

As plotagens, do tipo *Boxplot* e com os dados apresentados de forma sintética, compararam a eficiência de um mesmo protocolo nos três cenários (Helsinki, Roma e San Francisco). A Figura 21 apresenta os resultados para o protocolo *Direct Delivery* e a (Figura 22) para o

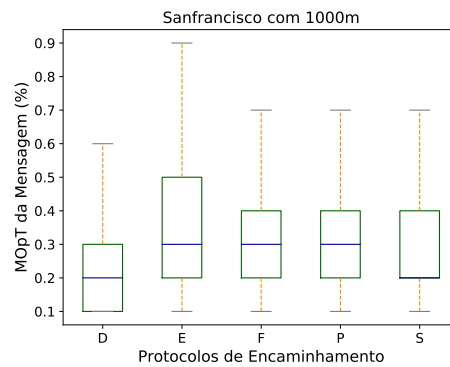
Figura 20 – Resultados da aplicação da Métrica OpT s da Mensagem. Raio de alcance de sinal: 1000 m.



(a) Helsinki



(b) Roma



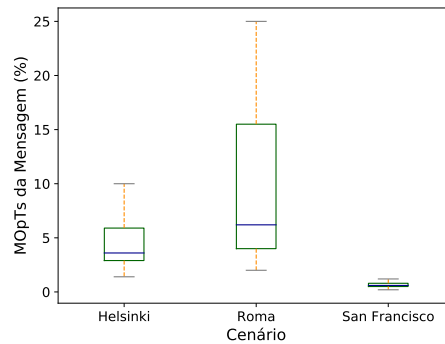
(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

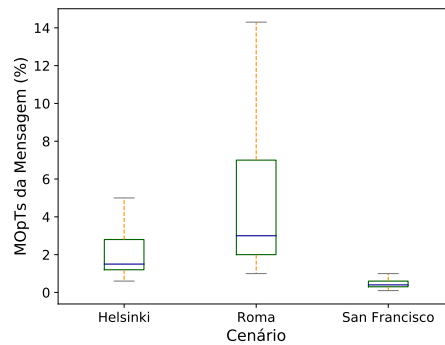
protocolo *Epidêmico*. Os resultados mostram que o uso de recurso por um mesmo protocolo é diferente em cada cenário. Mostra também que o raio de alcance, bem como o número de veículo de cada cenário influencia na forma como os recursos da VANET são utilizados.

Uma das métricas utilizadas para avaliar os protocolos de encaminhamento é a Taxa de Entrega (%). Conforme visto na seção 2.2.3, a métrica em questão retorna a razão entre as mensagens entregues e a quantidade total de mensagens enviadas. Desta forma, para entregar um

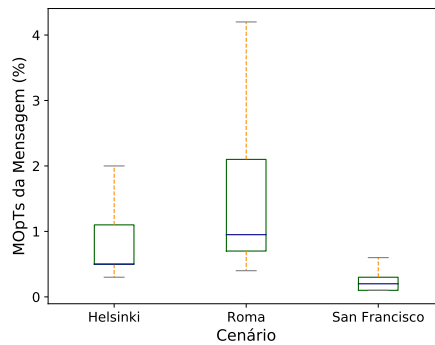
Figura 21 – Comparação da aplicação de um mesmo protocolo de encaminhamento nos diferentes cenários. Protocolo: *Direct Delivery*



(a) Alcance 50 m



(b) Alcance 200 m



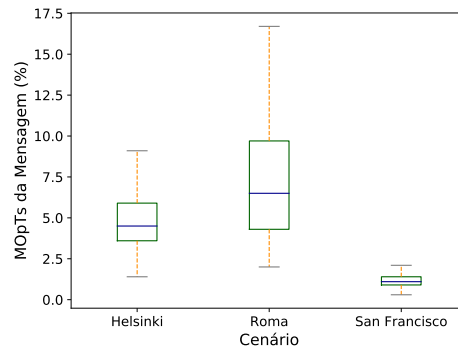
(c) Alcance 1000 m

Fonte: Autoria própria (2020).

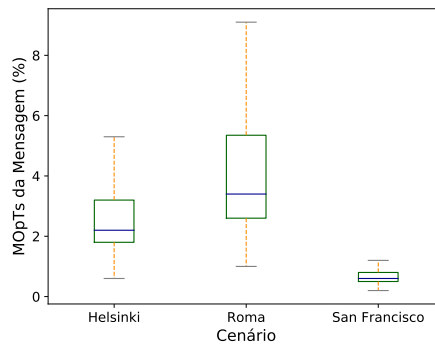
certo montante de mensagens, é necessário o consumo de determinada quantidade de recurso.

Por isso, as Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 mostram respectivamente para o alcance de sinal de 50 metros, 200 metros e 1.000 metros, a quantidade de recurso utilizado (*Métrica OpTs (%)*) por cada um dos protocolos de encaminhamento para obter sua taxa de entrega de mensagens (*Ent (%)*). Com a *Métrica OpTs* e com a *Taxa de Entrega* é possível obter a eficiência do protocolo ao obter a razão (equação 13) entre estes dois valores. Essa razão retorna como

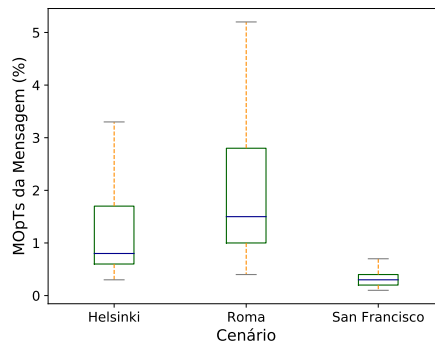
Figura 22 – Comparação da aplicação de um mesmo protocolo de encaminhamento nos diferentes cenários. Protocolo: Epidêmico



(a) Alcance 50 m



(b) Alcance 200 m



(c) Alcance 1000 m

Fonte: Autoria própria (2020).

unidade de medida a quantidade de mensagem entregue por contato usado, visto que o resultado da *Métrica OpTs* é o percentual de *OpTs* usadas. Estes dados são dos três cenários Helsinki, Roma e San Francisco.

$$Efic = \frac{Ent.(%)}{OpTs_{REDE}(\%)} \quad (13)$$

Nas Tabelas 9, 10 e 11 é possível observar que cada protocolo de encaminhamento

apresenta sua eficiência. Esses resultados mostram que existe recurso *OpTs* disponível para consumo, e ao calcular a eficiência é possível observar que quanto maior for a taxa de entrega e menor for a quantidade de recurso consumida, melhor será a eficiência do protocolo de encaminhamento avaliado.

Ao analisar os dados obtidos no cálculo da eficiência é possível observar que conforme o alcance aumenta, devido ao maior número de *OpTs*, também aumenta a quantidade de recursos. No entanto, devido ao número de mensagens permanecer o mesmo, e independentemente do alcance, o consumo de recurso diminui de forma incisiva o que aumenta as entregas e mostra que há um aumento na eficiência dos protocolos.

Tabela 9 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo ao relacionar a Média dos consumo de recursos (Métrica *OpTs* da mensagem) (M (%)) com a média da taxa de entrega de mensagens (Ent. (%)). Alcance de 50 m.

Prot.	Helsinki			Roma			San Francisco		
	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.
BubbleRap	0,19	3,49	0,05	-	-	-	-	-	-
Direct Delivery	3,53	3,91	0,90	1,22	9,62	0,13	3,94	0,62	6,35
Epidêmico	12,12	5,52	2,20	1,73	7,63	0,23	8,96	1,23	7,28
First Contact	4,24	4,51	0,94	1,18	6,17	0,19	4,63	1,15	4,03
VRGeo	1,47	5,12	0,29	-	-	-	-	-	-
Prophet	7,22	3,92	1,84	1,43	6,12	0,23	7,27	1,1	6,61
Spray and Wait	4,09	4,82	0,85	1,64	6,01	0,27	7,99	0,88	9,08

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 10 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo ao relacionar a Média dos consumo de recursos (Métrica *OpTs* da mensagem) (M (%)) com a média da taxa de entrega de mensagens (Ent. (%)). Alcance de 200 m.

Prot.	Helsinki			Roma			San Francisco		
	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.
BubbleRap	2,23	1,2	1,86	-	-	-	-	-	-
Direct Delivery	9,22	1,3	7,09	2,72	2,21	1,23	11,56	0,41	28,20
Epidêmico	22,52	5,08	4,43	2,44	3,75	0,65	20,87	0,72	28,99
First Contact	15,16	2,12	7,15	2,52	8,92	0,28	9,96	0,59	16,88
VRGeo	6,19	4,98	1,24	-	-	-	-	-	-
Prophet	22,26	2,03	10,97	4,14	2,38	1,74	20,58	0,52	39,58
Spray and Wait	34,4	1,99	17,29	2,36	8,81	0,27	26,58	0,51	52,12

Fonte: Autoria própria (2020).

No cenário de Helsinki com raio de alcance de 50 m (Tabela 9), por exemplo, protocolos com estratégias de encaminhamento social como o *BubbleRap*, direta como o *Direct Delivery* e probabilística como o *Prophet* mostraram resultados semelhantes para seus *Métrica OpTs* (3,49%, 3,91% e 3,92%). No entanto, estes mesmo protocolos apresentaram percentuais de entrega de mensagens diferentes, o que fez com que a eficiência de cada um desses protocolos tenha sido diferente, tendo o protocolo *Prophet* apresentado a melhor eficiência entre eles e o

Tabela 11 – Eficiência (Efic.) de cada protocolo ao relacionar a Média dos consumo de recursos (*Métrica OpTs da mensagem*) (M (%)) com a média da taxa de entrega de mensagens (Ent. (%)). Alcance de 1.000 m.

Prot.	Helsinki			Roma			San Francisco		
	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.	Ent. (%)	M (%)	Efic.
BubbleRap	38,86	0,5	77,72	-	-	-	-	-	-
Direct Delivery	28,28	0,52	54,38	13,92	0,98	14,20	31,26	0,2	156,30
Epidêmico	67,73	0,76	89,12	20,58	1,42	14,49	39,15	0,32	122,34
First Contact	56,74	0,74	76,68	16,01	1,32	12,13	25,44	0,29	87,72
VRGeo	28,52	0,67	42,57	-	-	-	-	-	-
Prophet	53,41	0,66	80,92	15,97	1,26	12,67	28,49	0,28	101,75
Spray and Wait	56,31	0,62	90,82	20,1	1,24	16,21	41,68	0,21	198,48

Fonte: Autoria própria (2020).

protocolo *BubbleRap* a pior. É importante destacar que os cenários escolhidos não favorecem o protocolo *BubbleRap* que utiliza informações do comportamento social dos nós para entregar mensagens.

Um exemplo bastante evidente, dada a característica epidêmica de encaminhamento adotada pelo *Protocolo Epidêmico*, o torna o maior consumidor de recursos em todos os cenários. Ainda utilizando o protocolo *Epidêmico* como exemplo e ao observar o cenário com 200 m (Tabela 10), por exemplo, nota-se que por mais que o protocolo *Epidêmico* consuma mais recursos que os demais protocolos, em nenhum dos cenários ele apresentou maior eficiência, sendo superado neste quesito por protocolos que utilizam estratégias probabilística como o *Prophet* ou epidêmica como o *Spray and Wait* e o *First Contact*. O protocolo *Epidêmico* gera muito tráfego de mensagens na rede, logo, o buffer dos nós logo fica sobrecarregado e ocorrerão descartes de mensagens o que causa essa perda na eficiência.

Ao analisar os três cenários com raio de alcance de 1.000 m (Tabela 11), por exemplo, é possível observar que os protocolos com estratégia de encaminhamento epidêmica, como os protocolos *Epidêmico* e *Spray and Wait*, conforme esperado, obtiveram a melhor eficiência. Isto se deve ao aumento da densidade de veículos que permite que a partir de um maior número de *OpTs*, em relação a raios de alcance menores, tenha um consumo de recurso muito baixo e uma taxa de entrega mais elevada.

Esses resultados da eficiência mostram que os protocolos de encaminhamento podem ser avaliados e podem apresentar diferentes resultados utilizando a *Métrica OpTs*. Mostrar que com a aplicação da *Métrica OpTs* é possível verificar a melhora na eficiência dos protocolos de uma forma que antes não era possível utilizando outro tipo de métrica de avaliação.

A primeira aplicação da métrica *Métrica OpTs da Mensagem* mostra o resultado do uso dos recursos de forma microscópica, isto é, quando se observa o elemento mensagem. Determina

que um certo percentual de recurso é utilizado para os casos de sucesso, i.e., em que as mensagens foram entregues.

6.2.3 Aplicação Métrica OpTs da Rede

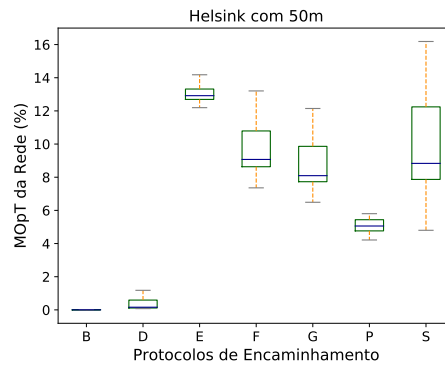
A segunda forma de avaliação de desempenho dos protocolos de encaminhamento é por meio da métrica *Métrica OpTs da Rede*. Esta métrica retorna a razão (em %) entre a quantidade utilizada de recursos e a quantidade total de recursos disponível na rede. Obedece a definição demonstrada na seção 6.1.2.

Após a execução das simulações nos três cenários propostos (com 24 GVTs cada), para cada um dos sete protocolos e para os três raios de alcance, é possível observar os resultados que vêm a seguir. O objetivo é utilizar a métrica *Métrica OpTs da Rede* para avaliar a eficiência dos protocolos de encaminhamento do ponto de vista macroscópico considerando o consumo de recursos. Assim, analisando os resultados mostra-se que o objetivo foi atingido.

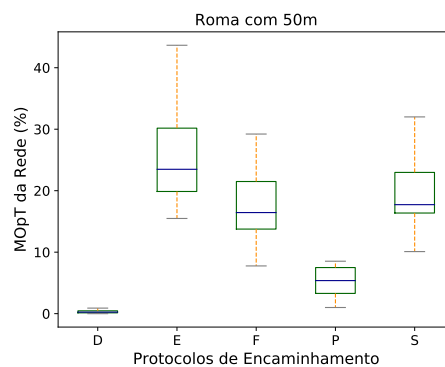
A Figura 23 mostra os resultados da aplicação da *Métrica OpTs da Rede* com raio de alcance de 50 m para os sete protocolos avaliados (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *First Contact*, *Epidêmico*, *VRGeo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) nos três cenários, Helsinki, Roma e San Francisco. A seguinte legenda é utilizada nos gráficos para os protocolos: B= *BubbleRap*, D= *Direct Delivery*, E= *Epidêmico*, F= *First Contact*, G= *VRGeo*, P= *Prophet* e S= *Spray and Wait*. (a) Helsinki (b) Roma e (c) San Francisco. Nota-se que independente do cenário ou do raio de alcance a quantidade de recurso consumida por cada um dos protocolos de encaminhamento é diferente³. O protocolo *BubbleRap* (com estratégia social) tem o pior consumo de recursos entre todos os protocolos com um consumo próximo de 1%, no cenário de Helsinki. Da mesma forma, o protocolo *Direct Delivery* com consumo médio perto de 1% apresenta pior resultado nos cenários de Roma e San Francisco. Por outro lado, o protocolo *Epidêmico* (com estratégia epidêmica) tem o maior consumo de recursos, cerca de 13% para o cenário de Helsinki, 23% para o cenário de Roma e 27% para o cenário de San Francisco. Os outros protocolos ficam com desempenho entre os demais citados. No cenário de Helsinki nenhum protocolo ultrapassou 17% de consumo de recursos. Já em Roma com um consumo um pouco maior não chegou a 50%. Em San Francisco, o maior consumo chegou próximo a 40%.

³ É importante ressaltar que este trabalho não tem por objetivo discutir, de acordo com cada resultado, o porquê de cada protocolo de encaminhamento obter um diferente consumo de recurso. O objetivo é demonstrar que considerando os seus diferentes modos de operação e as suas estratégias de encaminhamento, o consumo de recursos na VANET é diferente.

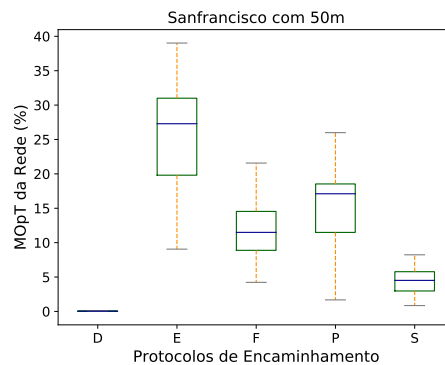
Figura 23 – Resultados da aplicação da Métrica *OpTs da Rede*. Raio de alcance de sinal: 50 m.



(a) Helsinki



(b) Roma



(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

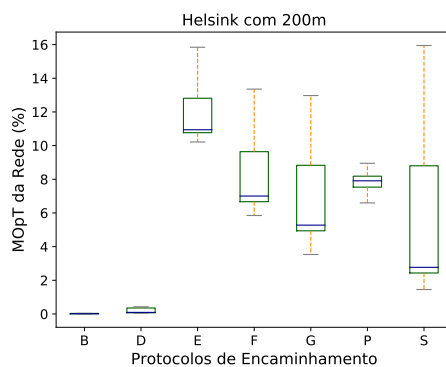
A Figura 24 mostra os resultados da aplicação da *Métrica OpTs da Rede* com raio de alcance de 200 m para os sete protocolos avaliados (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *First Contact*, *Epidêmico*, *VRGEo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) nos três cenários, Helsinki, Roma e San Francisco. Nota-se que independente do cenário ou do raio de alcance a quantidade de recurso consumida por cada um dos protocolos de encaminhamento é diferente. O protocolo *BubbleRap* (com estratégia social) faz a pior utilização de recurso entre todos os protocolos com um consumo

próximo de 1%, no cenário de Helsinki. Da mesma forma, o protocolo *Direct Delivery* com consumo médio perto de 1% apresenta pior consumo nos cenários de Roma e San Francisco. Por outro lado, o protocolo *Epidêmico* (com estratégia epidêmica) tem o maior consumo de recursos, cerca de 11% para o cenário de Helsinki, 18% para o cenário de Roma e 21% para o cenário de San Francisco. Os outros protocolos ficam com desempenho entre os demais citados. No cenário de Helsinki nenhum protocolo ultrapassou 16% de consumo de recursos. Já em Roma com um consumo um pouco maior não chegou a 25%. Em San Francisco, o maior consumo chegou próximo a 30%.

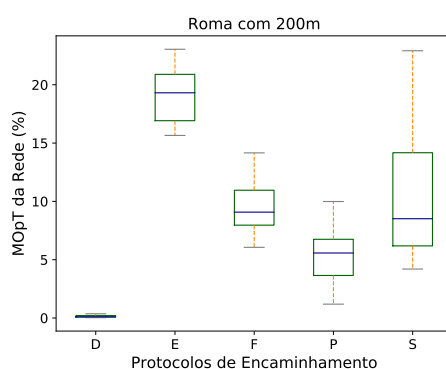
A Figura 25 mostra os resultados da aplicação da *Métrica OpTs da Rede* com raio de alcance de 1000 m para os sete protocolos avaliados (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *First Contact*, *Epidêmico*, *VRGEo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) nos três cenários, Helsinki, Roma e San Francisco. Nota-se que independente do cenário ou do raio de alcance a quantidade de recurso consumida por cada um dos protocolos de encaminhamento é diferente. O protocolo *BubbleRap* (com estratégia social) tem a pior resposta entre todos os protocolos com um consumo próximo de 1%, no cenário de Helsinki. Da mesma forma, o protocolo *Direct Delivery* com consumo médio perto de 1% apresenta pior resultado nos cenários de Roma e San Francisco. Por outro lado, o protocolo *Epidêmico* (com estratégia epidêmica) tem o maior consumo de recursos, cerca de 5% para o cenário de Helsinki, 15% para o cenário de Roma e 5% para o cenário de San Francisco. Os outros protocolos ficam com desempenho entre os demais citados. No cenário de Helsinki nenhum protocolo ultrapassou 13% de consumo de recursos. Já em Roma com um consumo um pouco maior não chegou a 18%. Em San Francisco, o maior consumo chegou próximo a 18%.

Em síntese, analisando os resultados apresentados nas Figuras 23, 24 e 25 para os três raios de alcance, conforme aumenta o alcance de sinal de rádio, diminui a quantidade de consumo de recursos na rede. Isto se deve ao aumento da quantidade de veículos e desta forma, como visto no capítulo 4, quanto mais veículos disponíveis ocorre um aumento no número de *OpTs* que cada veículo emissor tem para utilizar. Como os protocolos têm seu modo de operação (ver Tabela 8) como uma característica independente do cenário, eles operam conforme sua estratégia de encaminhamento. Isso endossa, portanto, a ideia de que os protocolos podem ter sua eficiência avaliada de acordo com o consumo de recursos em relação a quantidade de mensagens entregues, como mostrado nas Tabelas 9, 10 e 11, pois de forma análoga o mesmo princípio que é aplicado para as *Métrica OpTs da Mensagem* pode ser aplicado para as *Métrica OpTs da Rede*.

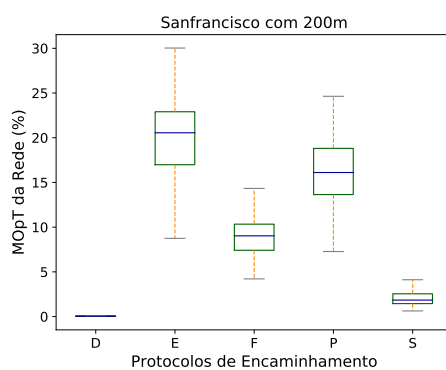
Figura 24 – Resultados da aplicação da Métrica *OpTs* da Rede. Raio de alcance de sinal: 200 m.



(a) Helsinki



(b) Roma

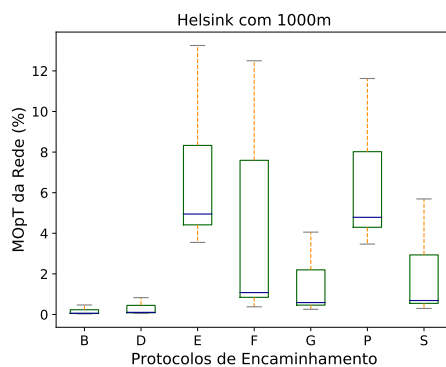


(c) San Francisco

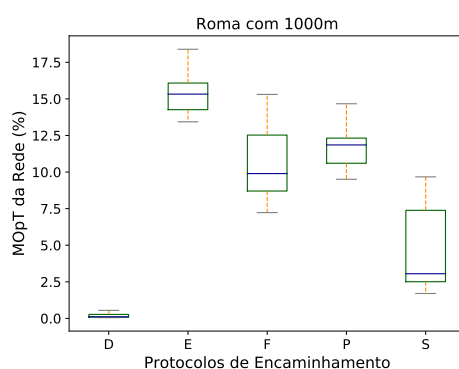
Fonte: Autoria própria (2020).

Cabe destacar que um consumo de 100% dos recursos não indica que um protocolo é excelente, tão pouco se o consumo for 1% que o protocolo é péssimo. Esta avaliação vai depender do objetivo da aplicação a que o protocolo de encaminhamento se destina e também do objetivo de aplicação da VANET. Por isso, é importante avaliar o consumo de recurso utilizando a *Métrica OpTs*, mas sempre observando outras medidas como por exemplo a taxa de mensagens entregues para obter o coeficiente de eficiência. Para responder, desta forma, a pergunta: Para

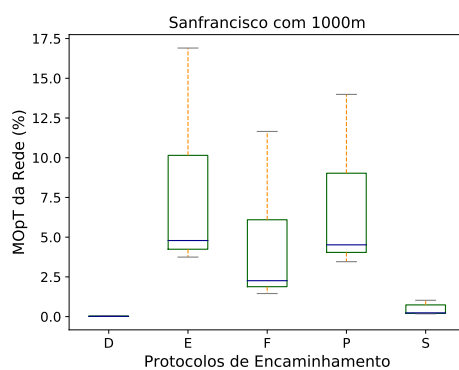
Figura 25 – Resultados da aplicação da Métrica OpT_s da Rede. Raio de alcance de sinal: 1000 m.



(a) Helsinki



(b) Roma



(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

que foi utilizada determinada quantidade de recurso?

Em cada GVT há um volume máximo teórico de recursos, isto é uma capacidade máxima teórica (estoque de recursos). Os protocolos de encaminhamento consomem parte destes recursos durante sua atuação da rede conforme visto nesta seção. Portanto, visualizar este estoque de recursos em relação ao que cada protocolo consumiu permite abordar outra interpretação para os resultados obtidos com a aplicação da Métrica OpT_s . Esta outra interpretação é conhecer

qual é a capacidade máxima desta rede, e com posse desta informação descobrir o quanto um protocolo de encaminhamento ainda pode explorar de recurso na rede, como forma de melhorar sua eficiência.

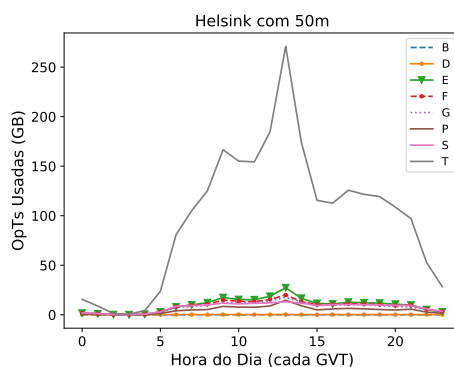
A Figura 26 mostra o consumo máximo de recursos para cada GVT (do GVT_0 ao GVT_{23}), em relação ao consumo de cada protocolo de encaminhamento (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *Epidêmico*, *First Contact*, *VRGeo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) com raio de alcance de $50m$ para os três cenários (Helsinki, Roma e San Francisco). A seguinte legenda é utilizada nos gráficos para identificar os protocolos: B= *BubbleRap*, D= *Direct Delivery*, E= *Epidêmico*, F= *First Contact*, G= *VRGeo*, P= *Prophet* e S= *Spray and Wait*. T= Total de Recursos disponíveis. Para os três cenários fica fácil identificar que a capacidade máxima de recursos é peculiar de cada cenário e varia de GVT para GVT. Em todos os cenários é possível observar que entre a curva do total de recursos disponíveis (T) e as curvas de cada protocolo existe uma diferença. Helsinki e Roma possuem a mesma quantidade de veículos e GVT, porém as relações entre as quantidades máximas de recursos são diferentes. Em Helsinki é possível observar volumes que ultrapassa $250GB$ enquanto o consumo fica abaixo dos $30GB$. Em Roma o consumo máximo chega a $9GB$, enquanto que o estoque máximo pode chegar acima de $40GB$. San Francisco apresenta uma capacidade $900GB$ e o consumo máximo de $70GB$.

A Figura 27 mostra o consumo do estoque máximo de recurso para cada GVT (do GVT_0 ao GVT_{23}), em relação ao consumo de cada protocolo de encaminhamento (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *Epidêmico*, *First Contact*, *VRGeo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) com raio de alcance de $200m$ para os três cenários (Helsinki, Roma e San Francisco). Para os três cenários fica fácil identificar que a capacidade máxima de recursos é peculiar de cada cenário e varia de GVT para GVT. Em todos os cenários é possível observar que a amplitude (diferença de valores) entre os valores da curva do total de recursos disponíveis (T) e os valores das curvas de cada protocolo é grande.

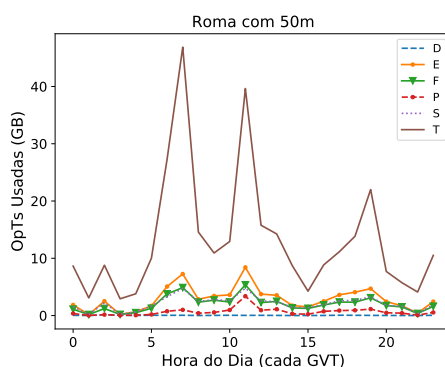
Esta área indica a quantidade não utilizada pelos protocolos de encaminhamento. Helsinki e Roma possuem a mesma quantidade de veículos e cada GVT, porém as relações entre as quantidades máximas de recursos são diferentes. Em Helsinki é possível observar volumes acima $1000GB$ enquanto o consumo fica abaixo dos $100GB$. Em Roma o consumo máximo chega a $25GB$, enquanto o estoque máximo pode chegar acima de $200GB$. San Francisco apresenta uma capacidade de $2200GB$ e o consumo máximo de $250GB$.

A Figura 28 mostra o consumo (do estoque) máximo de recurso para cada GVT (do

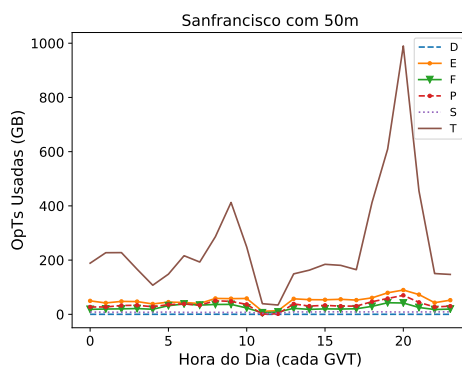
Figura 26 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 50 m. (a) Helsinki (b) Roma e (c) San Francisco.



(a) Helsinki



(b) Roma

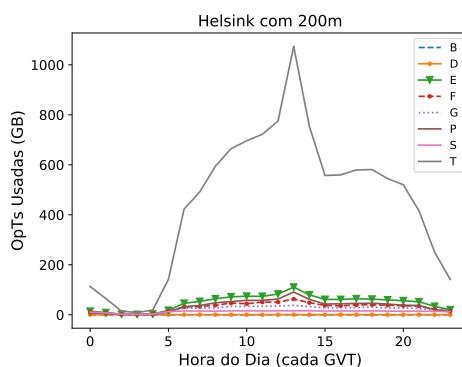


(c) San Francisco

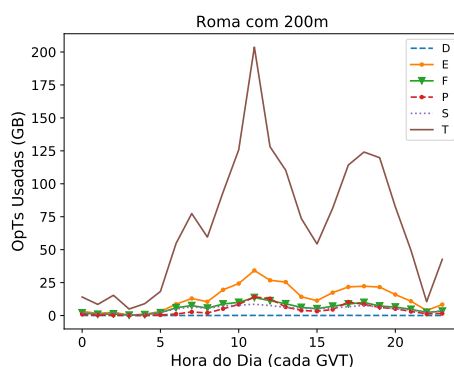
Fonte: Autoria própria (2020).

GVT_0 ao GVT_{23}), em relação ao consumo de cada protocolo de encaminhamento (*BubbleRap*, *Direct Delivery*, *Epidêmico*, *First Contact*, *VRGeo*, *Prophet* e *Spray and Wait*) com raio de alcance de $1000m$ para os três cenários (Helsinki, Roma e San Francisco). Para os três cenários fica fácil identificar que a capacidade máxima de recursos é peculiar de cada cenário e varia de GVT para GVT. Em todos os cenários é possível observar a amplitude (diferença de valores) entre os valores da curva do total de recursos disponíveis (T) e os valores das curvas de cada

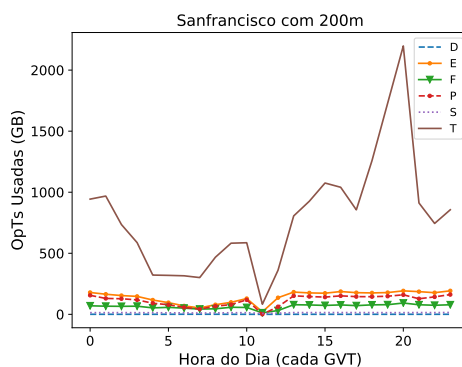
Figura 27 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 200 m. (a) Helsinki (b) Roma e (c) San Francisco.



(a) Helsinki



(b) Roma



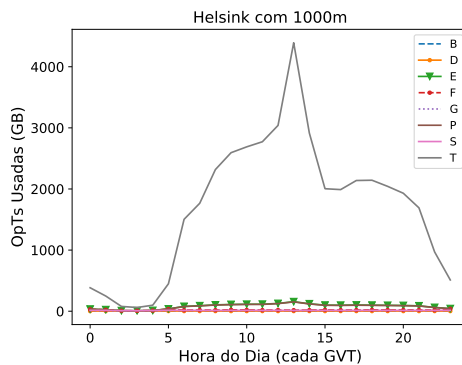
(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

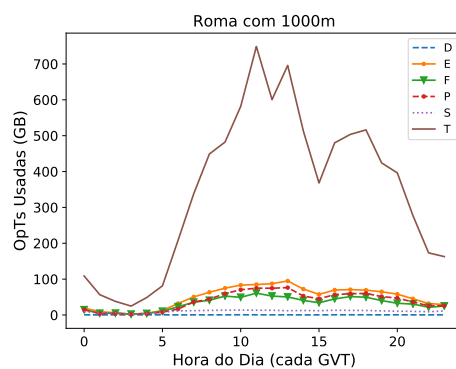
protocolo é grande. Esta área indica a quantidade de recursos desperdiçados (i.e. não usados) pelos protocolos de encaminhamento. Helsinki e Roma possuem a mesma quantidade de veículos e cada GVT, porém, as relações entre as quantidades máximas de recursos são diferentes. Em Helsinki é possível observar volumes acima $4000GB$ enquanto o consumo fica abaixo dos $200GB$. Em Roma o consumo máximo chega a $90GB$, enquanto que o estoque máximo pode chegar acima de $700GB$. San Francisco apresenta uma capacidade de $8300GB$ e o consumo

máximo de 300GB.

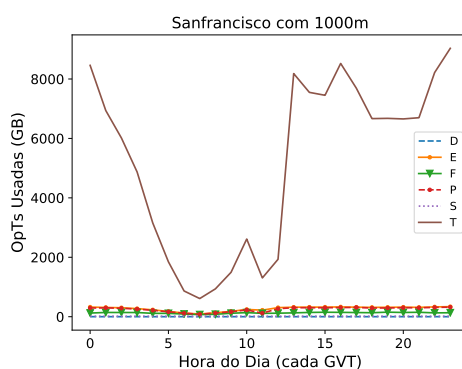
Figura 28 – Consumo de recurso de acordo com cada protocolo de encaminhamento para os 24 GVTs. Raio de alcance de sinal: 1000 m. (a) Helsinki (b) Roma e (c) San Francisco.



(a) Helsinki



(b) Roma



(c) San Francisco

Fonte: Autoria própria (2020).

Em síntese, analisando os resultados apresentados nas Figuras 26, 27 e 28 para os três raios de alcance, é possível observar a presença de GVTs em que o consumo de recursos está muito próximo ao estoque total de recursos. Isto se deve à quantidade de *OpTs* existentes e o estabelecimento de contato entre elas. Quanto mais veículos, mais movimentação, mais interação, portanto mais *OpTs* (ver capítulo 4). Se há pouco estoque de recurso significa que há pouca

interação entre os veículos geradores de oportunidades na rede e menos veículos geram menos recursos também. Mais uma vez, a avaliação e interpretação dos resultados vai depender qual aplicação (ver seção 2.1.6) para a VANET o protocolo de encaminhamento vai atender. Outro ponto importante a mencionar é que a medida que o raio de alcance aumenta, aumenta o estoque total de recursos nos três cenários. Portanto, devido à maior presença de veículos em contato, e quanto maior o tempo de duração do contato entre as *OpTs*, maior é a geração de recursos na rede.

Para a *Métrica OpTs* um valor baixo significa que é possível enviar mais mensagens. Já o valor alto significa que ou tem espaço para melhorar o protocolo de encaminhamento ou tem muita mensagem na rede. Essa situação deve sempre ser verificada com outra métrica, por exemplo, se usar um percentual muito alto de recurso e entregar poucos pacotes precisa melhorar o protocolo de encaminhamento. Assim, para obter a eficiência do protocolo de encaminhamento basta combinar uma outra métrica com a *Métrica OpTs* (e.g. taxa de entrega de mensagens, consumo de buffer, overhead relativo). O contrário também é verdadeiro, se entregar bastante mensagem com pouco recurso utilizado uma melhora no protocolo pode não trazer nenhum benefício. A avaliação da eficiência vai depender de cenário para cenário.

Entende-se que esta métrica deve ser independente de cenário, mesmo que estes cenários tenham características semelhantes ou até iguais.

6.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo ocorreu a apresentação das *OpTs* como métrica de avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens em VANETs. Esta métrica é nomeada como *Métrica OpTs: Métrica Oportunidades de Transmissão*.

Após descrever a *Métrica OpTs* e apresentar o objetivo e motivação para sua aplicação, foi apresentada uma explicação de dois tipos de aplicação de métrica de avaliação: a *Métrica OpTs da Mensagem* e a *Métrica OpTs da Rede*. De forma didática apresenta-se a análise da dinâmica de transmissão de mensagens, análise esta que propicia definir uma modelagem a fim de estabelecer a forma como as duas variações da métrica podem ser aplicadas. Exemplos numéricos são apresentados.

Na sequência do capítulo a aplicação da métrica em diferentes cenários recebe destaque. Primeiro apresenta-se a metodologia de aplicação, na qual descreve-se quais protocolos de encaminhamento são testados, qual a configuração dos cenários e quais os parâmetros de

avaliação. Então, apresentam-se e discutem-se os resultados de aplicação das duas variações da métrica proposta neste trabalho para obtenção da quantidade de recurso utilizado e da eficiência obtida por cada protocolo de encaminhamento.

No entanto é importante ponderar o que significa utilizar esta métrica. Por isso, dada a proposição de que o tempo é um elemento precioso, então, aproveitar os recursos (i.e. evitar o desperdício de recursos) da melhor forma é uma tarefa pertinente aos protocolos de encaminhamento. Neste caso, aproveitar melhor o tempo faz referência com a utilização adequada das *OpTs*. Se um determinado veículo tem a oportunidade de se comunicar com outro veículo, isso deve ser aproveitado. E caberá ao protocolo de encaminhamento e sua estratégia de encaminhamento decidir quando usar uma *OpTs*.

Por isso, do ponto de vista de desempenho da rede e no que tange o uso de *OpTs*, a métrica *Métrica OpTs* pode ser interpretada da seguinte forma:

- Quanto maior for o valor obtido ao calcular a eficiência do protocolo utilizando o percentual das *Métrica OpTs*, tanto da **mensagem** quanto da **rede**, melhor é a eficiência do protocolo. Melhor ele consegue utilizar as *OpTs* (recurso) disponíveis durante as interações na VANET.
- A ideia de melhor desempenho e melhor uso das *OpTs* também estará relacionada com a aplicação da VANET (ver seção 2.1.6). Neste caso sua interpretação deve estar associada aos resultados esperados para uma determinada aplicação.
- Para a interpretação dos resultados de desempenho de um determinado protocolo de encaminhamento, dada a aplicação, é preciso verificar o limiar de desempenho desejado para a aplicação do protocolo na VANET. Em seguida verificar qual o percentual de *OpTs* foi utilizado para atingir os resultados desejados da aplicação. Caso não tenha atingido o limiar desejado, modificar a estratégia de encaminhamento para que possa aumentar o percentual de *OpTs* utilizado. Repetir isso até que o limiar seja atingido para o protocolo. Ver as Tabelas 9, 10 e 11.

Os resultados da aplicação da métrica *Métrica OpTs* permitem concluir que há um estoque de recursos, os quais neste trabalho recebem o nome de **Oportunidades de Transmissão (*OpTs*)**. Do total destes recursos, um percentual é utilizado e outro não aproveitado. Isso implica que a VANET possui uma capacidade máxima conhecida, e a métrica *Métrica OpTs* permite saber o quanto desta capacidade ainda está disponível para ser usada na rede, servindo como

limite para considerar se adianta tentar usar mais recursos na rede através de aplicações ou escolha melhor de rotas.

No capítulo 7 apresentam-se as considerações finais sobre este trabalho. Da mesma forma são apresentadas as limitações e perspectivas de trabalhos futuros para que esta métrica evolua e possa ser aplicada como forma de avaliar a eficiência de protocolos de encaminhamento em redes *ad hoc* veiculares.

7 CONCLUSÕES

Neste capítulo acontece a finalização do trabalho com respostas às hipóteses especificadas na introdução. Também é relatado o ponto de vista sobre os resultados obtidos. Por fim, alguns tópicos são identificados como relevantes e são sugeridos para serem explorados como temas de novas pesquisas.

Neste trabalho apresentou-se uma nova nova métrica baseada em oportunidades de transmissão para análise de eficiência de protocolos de encaminhamento em redes veiculares *ad-hoc* (VANETs).

Com a criação da definição de **Oportunidades de Transmissão (*OpTs*)** foi possível investigar e confirmar que todo contato de forma *ad-hoc* entre veículos é capaz de gerar ou consumir recursos na rede. E que estas *OpTs* podem ser aplicadas para medir a quantidade de recursos disponíveis na rede, e ainda medir qual quantidade destes recursos é consumida.

Ao avaliar diferentes protocolos de encaminhamento de mensagens utilizando a nova métrica, chamada de *Métrica OpTs*, observou-se que cada um destes protocolos independente do cenário ou do raio de alcance utilizado para comunicação consomem recursos de forma diferente. Tal consumo de recurso relacionado com a taxa de entrega de mensagem apresenta a eficiência de cada protocolo. Com a criação da métrica, foi possível atingir tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos.

No entanto, é importante ponderar o que significa utilizar esta métrica. Por isso, dada a proposição de que o tempo é um elemento precioso, então, aproveitar da melhor forma é uma tarefa pertinente aos protocolos de encaminhamento. Neste caso, aproveitar melhor o tempo faz referência à utilização adequada das *OpTs*. Se um determinado veículo tem a oportunidade de se comunicar com outro veículo, isso deve ser aproveitado. E caberá ao protocolo de encaminhamento e sua estratégia de encaminhamento decidir quando usar uma *OpTs*.

Há distinção entre as aplicações da métrica, onde independentemente do protocolo de encaminhamento que esteja sendo utilizado, ou de sua estratégia de encaminhamento ou seu modo de operação, os resultados retornados não se assemelham e são únicos e exclusivos de cada cenário.

Uma contribuição desta pesquisa é que por meio da análise das Oportunidades de Transmissão (*OpTs*) é possível quantificá-las e classificá-las em oportunidades de transmissão em série e em paralelo. Esta contribuição permite aos projetistas de protocolos de encaminha-

mento compreender como os veículos interagem enquanto permanecem ativos em uma VANET. Esta condição mostra que os protocolos devem se preocupar em adaptar-se à variação de densidade causada pela formação dinâmica de enlaces entre veículos. Isso permitirá um melhor aproveitamento das *OpTs* durante o encaminhamento de mensagens.

Outra contribuição é a exposição de que existe um inventário de recursos de comunicação. Ao utilizar o tempo de contato entre as *OpTs* e também a taxa de transmissão de dados é possível verificar que há uma capacidade máxima teórica de dados em qualquer VANET. A utilização desta capacidade de dados vai depender da abordagem utilizada pelos protocolos de encaminhamento para encaminhar uma mensagem e também da aplicação que será dada a esta rede veicular.

O trabalho contribui também, com a análise das oportunidades de transmissão entre veículos para demonstrar sua importância no processo de encaminhamento e na afirmação de que a duração do tempo de contato é um indicador da qualidade (dadas as devidas restrições de qualidade do enlace) para servir como uma melhor opção de escolha de oportunidades de transmissão para projetos de novos protocolos de encaminhamento. Para isso, os veículos foram distribuídos em classes de qualidade de tempo (QoT). Cada uma dessas classes identifica os veículos da rede de acordo com o tempo de duração entre contatos, então de acordo com a aplicação e a quantidade de dados que precisam ser transportados um veículo pode ser escolhido dada sua classificação.

A última contribuição é a proposta e apresentação de uma nova métrica de avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens. Esta métrica pode ser associada as outras para melhorar o desempenho de tais protocolos. O mais interessante é que esta métrica permite conhecer qual é a capacidade máxima que uma VANET tem, no que se refere à quantidade de recursos. Ao mostrar o quanto de recurso um protocolo de encaminhamento consome, também mostra o quanto de recurso deixou de ser consumido. Neste caso, se o protocolo ainda não atingiu a sua máxima eficiência de acordo com a aplicação a que se destina, é possível melhorar o uso dos recursos para verificar se há melhora em sua eficiência.

Neste trabalho a abordagem principal esteve em mostrar o conceito de oportunidades de transmissão, e por meio deste conceito propor uma métrica de avaliação de eficiência de protocolos de encaminhamento de mensagens. O objetivo da pesquisa assim como sua hipótese de pesquisa foram satisfeitos.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abre oportunidades de investigação acerca das oportunidades de transmissão para:

1. Com foco nos protocolos de encaminhamento, independente de seu modo de operação, adaptar as estratégias de encaminhamento para que utilizem de forma mais adequada as *OpTs* existentes e possam verificar se há efetivamente uma melhora em seu desempenho. Tudo isso de acordo com a aplicação desejada para a VANET.
2. Verificar qual é o comportamento da métrica ao se aumentar o número de mensagens enviadas. E da mesma forma se adicionar ou remover o número de veículos para verificar as implicações na rede.
3. Analisar o estoque de recursos ao levar em consideração as limitações físicas, qualidade do enlace, custos de gerenciamento da rede, veículos sobrecarregados, para que possa chegar em um valor mais exato do estoque de recursos existente na rede.
4. Propor uma atualização do cálculo da quantidade de recursos, afim de considerar a velocidade do veículo dentro da área de cobertura e também a direção dos veículos nas vias. Para isso propor um modelo mais sofisticado de avaliação que considere estas duas variáveis. Expandir a avaliação da proposta, para além do uso de *snapshots* da rede e assim testar em tempo real com a utilização de janelas deslizantes no tempo que sobrescrevem os dados da relação entre as *OpTs* atualizando os GVTs por meio de um parâmetro de tempo ajustável (i.e. a cada 10s, a cada minuto, etc).
5. Como o tempo de duração de contato é um dos recursos mais preciosos entre as *OpTs*, se faz necessário estudar se a relação entre a duração do tempo de contato e a classificação dos veículos quanto à duração do tempo de contato é um indicador de qualidade da rede. Verificar se veículos que se enquadram em uma determinada categoria de duração de tempo de contato podem ser utilizados como candidatos ideais para receber a mensagem como próximo salto no caminho até o destinatário.

O trabalho realizado deve gerar publicações, para que a comunidade científica tenha acesso e se julgar útil e interessante aplicar em suas pesquisas. Na seção 7.2 apresentam-se os

trabalhos publicados com autoria e coautoria, assim como outras produções realizadas durante a execução dessa pesquisa.

7.2 PRODUÇÃO ACADÊMICA

Durante o período de desenvolvimento do doutorado, no grupo de pesquisas *Laboratório de Sistemas de Comunicações (LabSC)* este trabalho originou as seguintes publicações como autor principal:

1. GUERBER, Carlos Rafael, GOMES, Eduardo Luis, FONSECA, Mauro Sérgio Pereira, FONSECA, Anelise Munaretto, SILVA, Thiago Henrique. Transmission opportunities: A new approach to improve quality in v2v networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2019.
2. GUERBER, Carlos Rafael, GOMES, Eduardo Luis, FONSECA, Mauro Sérgio Pereira, FONSECA, Anelise Munaretto. Oportunidades de transmissão: Nova métrica para otimização de recursos em redes veiculares. In: SBC. Anais Principais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Gramado, RS, 2019.
3. GUERBER, Carlos Rafael, GOMES, Eduardo Luis, FONSECA, Mauro Sérgio Pereira, FONSECA, Anelise Munaretto. Classificação geosocial de contatos para disseminação de dados em redes veiculares oportunistas. In: SBC. Anais Principais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Campos do Jordão, SP, 2018.
4. **Em produção:** Como Medir a Eficiência de Protocolos de Encaminhamento em Redes Veiculares utilizando Oportunidades de Transmissão.

Ainda como autor principal, está em fase de finalização o artigo para submissão a uma revista, com título provisório *Measuring the maximum capacity of a VANET*.

Como co-autor dentro do mesmo grupo de pesquisa as seguintes pesquisas tiveram artigo publicado:

1. GOMES, Eduardo Luis, GUERBER, Carlos Rafael, FONSECA, Anelise Munaretto, FONSECA, Mauro Sérgio Pereira. Etiquetas rfid passivas e aprendizagem de máquina para sistema de localização indoor de alta precisão. In: SBRC. Anais Principais do XXXVIII do

Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Rio de Janeiro, RJ, 2020.

2. GOMES, Eduardo Luis, GUERBER, Carlos Rafael, FONSECA, Anelise Munaretto, FONSECA, Mauro Sérgio Pereira. Arquitetura rf-miner-uma solução para localização indoor. In: SBC. Anais do XXII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços. Belém, PA, 2017.

Ainda como co-autor, há um artigo com o título de *RFID passive tags and machine learning for high precision indoor location system*. Submetido à revista *Expert Systems With Applications*. Está em fase final de revisão.

REFERÊNCIAS

ABUASHOUR, Ahmad; KADOCH, Michel. Performance improvement of cluster-based routing protocol in vanet. **IEEE Access**, IEEE, v. 5, p. 15354–15371, 2017.

AL-SULTAN, Saif; AL-DOORI, Moath M; AL-BAYATTI, Ali H; ZEDAN, Hussien. A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. **Journal of network and computer applications**, Elsevier, v. 37, p. 380–392, 2014.

ALASMARY, Waleed; ZHUANG, Weihua. Mobility impact in IEEE 802.11 p infrastructureless vehicular networks. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 222–230, 2012.

ALMEIDA, Thales T; GOMES, Lucas de C; ORTIZ, Fernando M; JÚNIOR, José Geraldo R; COSTA, Luís Henrique MK. Análise de desempenho do IEEE 802.11 p: Simulações versus experimentos reais. *In*: SBC. **Anais Principais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. Campos do Jordão, 2018.

AWANG, Azlan; HUSAIN, Khaleel; KAMEL, Nidal; AÏSSA, Sonia. Routing in vehicular ad-hoc networks: A survey on single-and cross-layer design techniques, and perspectives. **IEEE Access**, IEEE, v. 5, p. 9497–9517, 2017.

BARBA, Carolina Tripp; MATEOS, Miguel Angel; SOTO, Pablo Reganas; MEZHER, Ahmad Mohamad; IGARTUA, Mónica Aguilar. Smart city for vanets using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. *In*: IEEE. **Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE**. Alcalá de Henares, Spain, 2012. p. 902–907.

BHAKTHAVATHSALAM, R; NAYAK, Starakjeet. Operational inferences on vanets in 802.16 e and 802.11 p with improved performance by congestion alert. *In*: IEEE. **Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE**. Las Vegas, 2011. p. 467–471.

CAO, Yue; KAIWARTYA, Omprakash; ASLAM, Nauman; HAN, Chong; ZHANG, Xu; ZHUANG, Yuan; DIANATI, Mehrdad. A trajectory-driven opportunistic routing protocol for vcp. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, IEEE, v. 54, n. 6, p. 2628–2642, 2018.

CASTEIGTS, Arnaud; FLOCCHINI, Paola; QUATTROCIOCCI, Walter; SANTORO, Nicola. Time-varying graphs and dynamic networks. **International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems**, Taylor & Francis, v. 27, n. 5, p. 387–408, 2012.

CELES, Clayson; SILVA, Fabricio A; BOUKERCHE, Azzedine; ANDRADE, Rossana Maria de Castro; LOUREIRO, Antonio AF. Improving vanet simulation with calibrated vehicular mobility traces. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, IEEE, v. 16, n. 12, p. 3376–3389, 2017.

CERF, Vinton; BURLEIGH, Scott; HOOKE, Adrian; TORGERSON, Leigh; DURST, Robert; SCOTT, Keith; FALL, Kevin; WEISS, Howard. Delay-tolerant networking architecture. RFC 4838, April, 2007.

CHEN, Wai; GUHA, Ratul K; KWON, Taek Jin; LEE, John; HSU, Yuan-Ying. A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks. **Wireless Communications and Mobile Computing**, Wiley Online Library, v. 11, n. 7, p. 787–795, 2011.

CHEN, Yingwen; XU, Ming; GU, Yu; LI, Pei; CHENG, Xiuzhen. Understanding topology evolving of vanets from taxi traces. **Adv. Sci. Technol. Lett**, v. 42, n. Mobile and Wireless, p. 13–17, 2013.

CHLAMTAC, Imrich; CONTI, Marco; LIU, Jennifer J-N. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. **Ad hoc networks**, Elsevier, v. 1, n. 1, p. 13–64, 2003.

CUNHA, Felipe; VIANNA, Aline Carneiro; MINI, Raquel A; LOUREIRO, Antonio A. Is it possible to find social properties in vehicular networks? *In: IEEE. 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. Madeira, Portugal, 2014. p. 1–6.

CUNHA, Felipe D; ALVARENGA, Davidysson A; VIANA, Aline C; MINI, Raquel AF; LOUREIRO, Antonio AF. Understanding interactions in vehicular networks through taxi mobility. *In: Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*. New York: ACM, 2015. p. 17–24.

CUNHA, Felipe Dias; VIANNA, Aline Carneiro; MINI, Raquel AF; LOUREIRO, Antonio Alberto. How effective is to look at a vehicular network under a social perception? *In: IEEE. Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013 IEEE 9th International Conference on*. Lyon, France, 2013. p. 154–159.

CUNHA, Felipe D; VILLAS, Leandro; BOUKERCHE, Azzedine; MAIA, Guilherme; VIANA, Aline; MINI, Raquel AF; LOUREIRO, Antonio AF. Data communication in vanets: Protocols, applications and challenges. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 44, p. 90–103, 2016.

DAR, Kashif; BAKHOUYA, Mohamed; GABER, Jaafar; WACK, Maxime; LORENZ, Pascal. Wireless communication technologies for its applications [topics in automotive networking]. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 48, n. 5, p. 156–162, 2010.

DIAS, Daniel S; COSTA, Luís Henrique MK. Análise da capacidade de dados de uma rede de Ônibus urbanos. *In: SBRT (Ed.). Anais do SBRT2016*. Santarém, PA: SBC, 2016. p. 1–5.

DIAS, Daniel Souza; COSTA, Luís Henrique MK; AMORIM, Marcelo Dias de. Data offloading capacity in a megalopolis using taxis and buses as data carriers. **Vehicular communications**, Elsevier, v. 14, p. 80–96, 2018.

DILLON, PJ; ZNATI, Taieb. Virtual repositories in delay tolerant networks. **VirtualRepositories. Department of Computer Science, University of Pittsburgh**, p. 1–9, 2009.

EENENNAAM, Martijn Van; WOLTERINK, Wouter Klein; KARAGIANNIS, Georgios; HEIJENK, Geert. Exploring the solution space of beaconing in vanets. *In: IEEE. 2009 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*. Tokio, Japan, 2009. p. 1–8.

EENENNAAM, Martijn van; VENIS, Anne van de; KARAGIANNIS, Georgios. Impact of ieee 1609.4 channel switching on the ieee 802.11 p beaconing performance. *In: IEEE. 2012 IFIP Wireless Days*. Dublin, 2012. p. 1–8.

EKMAN, Frans; KERÄNEN, Ari; KARVO, Jouni; OTT, Jörg. Working day movement model. *In: Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*. Hong Kong, China: ACM, 2008. p. 33–40.

ENGOULOU, Richard Gilles; BELLAÏCHE, Martine; PIERRE, Samuel; QUINTERO, Alejandro. Vanet security surveys. **Computer Communications**, Elsevier, Alexandria, VA, USA, v. 44, p. 1–13, 2014.

FALL, Kevin. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. *In: ACM. Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. New York, NY, USA, 2003. p. 27–34.

FARRELL, Stephen; CAHILL, Vinny; GERAGHTY, Dermot; HUMPHREYS, Ivor; MCDONALD, Paul. When tcp breaks: Delay-and disruption-tolerant networking. **IEEE Internet Computing**, IEEE, v. 10, n. 4, p. 72–78, 2006.

FREEMAN, Linton C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social networks**, North-Holland, v. 1, n. 3, p. 215–239, 1978.

GACOKI, TG; ADUOL, FWO. Transformation between gps coordinates and local plane utm coordinates using the excel spreadsheet. **Survey Review**, Taylor & Francis, v. 36, n. 284, p. 449–462, 2002.

GERLA, Mario; LEE, Eun-Kyu; PAU, Giovanni; LEE, Uichin. Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. *In: IEEE. 2014 IEEE world forum on internet of things (WF-IoT)*. Seoul, Korea, 2014. p. 241–246.

GOUDARZI, Forough; ASGARI, Hamid; AL-RAWESHIDY, Hamed S. Traffic-aware vanet routing for city environments—a protocol based on ant colony optimization. **IEEE Systems Journal**, IEEE, v. 13, n. 1, p. 571–581, 2018.

GRASIC, Samo; LINDGREN, Anders. An analysis of evaluation practices for dtn routing protocols. *In: Proceedings of the seventh ACM international workshop on Challenged networks*. New York City, EUA: ACM, 2012. p. 57–64.

HARTENSTEIN, Hannes; LABERTEAUX, LP. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. **IEEE Communications magazine**, IEEE, v. 46, n. 6, 2008.

HASSAN, Ahmed Nazar; ABDULLAH, Abdul Hanan; KAIWARTYA, Omprakash; CAO, Yue; SHEET, Dalya Khalid. Multi-metric geographic routing for vehicular ad hoc networks. **Wireless Networks**, Springer, v. 24, n. 7, p. 2763–2779, 2018.

HE, Wu; YAN, Gongjun; XU, Li Da. Developing vehicular data cloud services in the iot environment. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, IEEE, v. 10, n. 2, p. 1587–1595, 2014.

HOLME, Petter; SARAMÄKI, Jari. Temporal networks. **Physics reports**, Elsevier, v. 519, n. 3, p. 97–125, 2012.

HOSSMANN, Theus; SPYROPOULOS, Thrasyvoulos; LEGENDRE, Franck. Know thy neighbor: Towards optimal mapping of contacts to social graphs for dtn routing. *In: IEEE. 2010 Proceedings IEEE INFOCOM*. San Diego, CA, USA, 2010. p. 1–9.

HOU, Xueshi; LI, Yong; CHEN, Min; WU, Di; JIN, Depeng; CHEN, Sheng. Vehicular fog computing: A viewpoint of vehicles as the infrastructures. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, IEEE, v. 65, n. 6, p. 3860–3873, 2016.

HUANG, Hongyu; ZHANG, Daqiang; ZHU, Yanmin; LI, Minglu; WU, Min-You. A metropolitan taxi mobility model from real gps traces. **J. UCS**, v. 18, n. 9, p. 1072–1092, 2012.

HUANG, H; ZHU, Yanmin; LI, Xu; LI, Minglu; WU, Min-You. Meta: A mobility model of metropolitan taxis extracted from gps traces. *In: IEEE. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE*. Sydney, Australia, 2010. p. 1–6.

HUI, Pan; CROWCROFT, Jon; YONEKI, Eiko. Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, IEEE, v. 10, n. 11, p. 1576–1589, 2010.

JAKUBIAK, Jakub; KOUCHERYAVY, Yevgeni. State of the art and research challenges for vanets. *In: IEEE. Consumer communications and networking conference, 2008. CCNC 2008. 5th IEEE.* Las Vegas, NV, USA, 2008. p. 912–916.

JIANG, Daniel; DELGROSSI, Luca. Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. *In: IEEE. Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE.* Singapore, 2008. p. 2036–2040.

JUNIOR, Joilson Alves; WILLE, Emilio CG. Improving vanets connectivity with a totally ad hoc living mobile backbone. **Journal of Computer Networks and Communications**, Hindawi Publishing Corp., v. 2015, p. 3, 2015.

KAIWARTYA, Omprakash; ABDULLAH, Abdul Hanan; CAO, Yue; ALTAMEEM, Ayman; PRASAD, Mukesh; LIN, Chin-Teng; LIU, Xiulei. Internet of vehicles: Motivation, layered architecture, network model, challenges, and future aspects. **IEEE Access**, IEEE, v. 4, p. 5356–5373, 2016.

KATABI, Dina; HANDLEY, Mark; ROHRS, Charlie. Congestion control for high bandwidth-delay product networks. **ACM SIGCOMM computer communication review**, ACM, v. 32, n. 4, p. 89–102, 2002.

KAUR, Harinder *et al.* Analysis of vanet geographic routing protocols on real city map. *In: IEEE. 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT).* Bangalore, 2017. p. 895–899.

KERÄNEN, Ari; OTT, Jörg; KÄRKKÄINEN, Teemu. The one simulator for dtn protocol evaluation. *In: ICST (INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING). Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques.* Helsinki, Finland, 2009. p. 55.

KUMAR, Neeraj; CHILAMKURTI, Naveen; PARK, Jong Hyuk. Alca: agent learning–based clustering algorithm in vehicular ad hoc networks. **Personal and ubiquitous computing**, Springer, v. 17, n. 8, p. 1683–1692, 2013.

KUMAR, Rakesh; DAVE, Mayank. A comparative study of various routing protocols in vanet. **arXiv preprint arXiv:1108.2094**, 2011.

KUROSE, J.F.; ROSS, K.W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down.** ADDISON WESLEY BRA, 2010. ISBN 9788588639973. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=raZtQwAACAAJ>.

LANGLEY, Richard B. The utm grid system. **GPS world**, v. 9, n. 2, p. 46–50, 1998.

LIANG, Wenshuang; LI, Zhuorong; ZHANG, Hongyang; WANG, Shenling; BIE, Rongfang. Vehicular ad hoc networks: architectures, research issues, methodologies, challenges, and trends. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 11, n. 8, p. 745303, 2015.

LIN, Yun-Wei; CHEN, Yuh-Shyan; LEE, Sing-Ling. Routing protocols in vehicular ad hoc networks: A survey and future perspectives. **J. Inf. Sci. Eng.**, v. 26, n. 3, p. 913–932, 2010.

LINDGREN, Anders; DORIA, Avri; SCHELÉN, Olov. Probabilistic routing in intermittently connected networks. **ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review**, ACM New York, NY, USA, v. 7, n. 3, p. 19–20, 2003.

MEDETOV, Seytkamal; BAKHOUYA, Mohamed; GABER, Jaafar; ZINEDINE, Khalid; WACK, Maxime; LORENZ, Pascal. A decentralized approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks. **Journal of network and computer applications**, Elsevier, v. 46, p. 154–165, 2014.

MOTA, Vinícius FS; CUNHA, Felipe D; MACEDO, Daniel F; NOGUEIRA, José MS; LOUREIRO, Antonio AF. Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. **Computer Communications**, Elsevier, v. 48, p. 5–19, 2014.

MOUSTAFA, Hassnaa; ZHANG, Yan. **Vehicular networks: techniques, standards, and applications**. New York, NY, USA: Auerbach publications, 2009.

NAMBOODIRI, Vinod; GAO, Lixin. Prediction-based routing for vehicular ad hoc networks. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, IEEE, v. 56, n. 4, p. 2332–2345, 2007.

OLIVEIRA, Etienne CR de; SILVA, Edelberto Franco; PASSOS, Diego; NAVES, Juliano; MUCHALUAT-SAADE, Débora Christina; MORAES, Igor M; ALBUQUERQUE, Célio. Context-aware routing in delay and disruption tolerant networks. **International Journal of Wireless Information Networks**, Springer, v. 23, n. 3, p. 231–245, 2016.

PETZ, Agoston; ENDERLE, Justin; JULIEN, Christine. A framework for evaluating dtn mobility models. *In: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Rome, Italy: ICST, 2009. p. 1–8.

RAYA, Maxim; HUBAUX, Jean-Pierre. The security of vehicular ad hoc networks. *In: Proceedings of the 3rd ACM workshop on Security of ad hoc and sensor networks*. Alexandria, VA, USA: ACM, 2005. p. 11–21.

REIS, Andre Braga; SARGENTO, Susana; TONGUZ, Ozan K. Smarter cities with parked cars as roadside units. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, IEEE, v. 19, n. 7, p. 2338–2352, 2018.

RIOS, Miguel. Geopps-n: Opportunistic routing for vanet in a public transit system. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 14, n. 4, p. 1630–1637, 2016.

ROBUSTO, C C. The Cosine-Haversine Formula. **Source: The American Mathematical Monthly**, v. 64, n. 1, p. 38–40, 1957. ISSN 00029890. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2309088> \backslash\$nhttp://about.jstor.org/terms.

SASAKI, Yuya; LEE, Wang-Chien; HARA, Takahiro; NISHIO, Shojiro. On alleviating beacon overhead in routing protocols for urban vanets. *In: IEEE. 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management*. Rome, Italy, 2013. v. 1, p. 66–76.

SHAREF, Baraa T; ALSAQOUR, Raed A; ISMAIL, Mahamod. Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey. **Journal of network and computer applications**, Elsevier, v. 40, p. 363–396, 2014.

SILVA, Andrey; REZA, Niaz; OLIVEIRA, Aurenice. Improvement and performance evaluation of gprs-based routing techniques for vehicular ad hoc networks. **IEEE Access**, IEEE, v. 7, p. 21722–21733, 2019.

SILVA, Thiago H; MELO, Pedro OS Vaz De; ALMEIDA, Jussara M; LOUREIRO, Antonio AF. Large-scale study of city dynamics and urban social behavior using participatory sensing. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, New York, NY, EUA, v. 21, n. 1, p. 42–51, 2014.

SILVA, Thiago H; MELO, Pedro OS Vaz de; ALMEIDA, Jussara M; SALLES, Juliana; LOUREIRO, Antonio AF. Revealing the city that we cannot see. **ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)**, ACM New York, NY, USA, New York, NY, USA, v. 14, n. 4, p. 1–23, 2014.

SOCIEVOLE, Annalisa; RANGO, Floriano De; COSCARELLA, Carmine. Routing approaches and performance evaluation in delay tolerant networks. *In: IEEE. 2011 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*. New York, NY, USA, 2011. p. 1–6.

SONG, Libo; KOTZ, David F. Evaluating opportunistic routing protocols with large realistic contact traces. *In: Proceedings of the second ACM workshop on Challenged networks*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 35–42.

SPYROPOULOS, Thrasyvoulos; PSOUNIS, Konstantinos; RAGHAVENDRA, Cauligi S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. *In: Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. Philadelphia, Pennsylvania, USA: ACM, 2005. p. 252–259.

SU, Zhou; HUI, Yilong; GUO, Song. D2d-based content delivery with parked vehicles in vehicular social networks. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 23, n. 4, p. 90–95, 2016.

TONGUZ, Ozan K; BOBAN, Mate. Multiplayer games over vehicular ad hoc networks: A new application. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 8, n. 5, p. 531–543, 2010.

TOOR, Yasser; MUHLETHALER, Paul; LAOUITI, Anis. Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues. **IEEE communications surveys & tutorials**, IEEE, v. 10, n. 3, 2008.

UZCÁTEGUI, Roberto A; SUCRE, Antonio Jose De; ACOSTA-MARUM, Guillermo. Wave: A tutorial. **IEEE Communications magazine**, IEEE, v. 47, n. 5, 2009.

VAHDAT, Amin; BECKER, David *et al.* **Epidemic routing for partially connected ad hoc networks**. Durham, NC, USA: Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.

VENDRAMIN, Ana Cristina Kochem; MUNARETTO, Anelise; DELGADO, Myriam Regattieri; VIANA, Aline Carneiro. Grant: Inferring best forwarders from complex networks' dynamics through a greedy ant colony optimization. **Computer Networks**, Elsevier, USA, v. 56, n. 3, p. 997–1015, 2012.

VILLAS, Leandro Aparecido; BOUKERCHE, Azzedine; MAIA, Guilherme; PAZZI, Richard Werner; LOUREIRO, Antonio AF. Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. **Computer Networks**, Elsevier, v. 75, p. 381–394, 2014.

WARTHMAN, Forrest. Delay-tolerant networks (dtns) a tutorial. <http://ipnsig.org/reports/DTNTutorial11.pdf>, 2003.

WEHMUTH, Klaus; ZIVIANI, Artur; FLEURY, Eric. A unifying model for representing time-varying graphs. *In: IEEE. Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2015. 36678 2015. IEEE International Conference on.* Shanghai, China, 2015. p. 1–10.

WEIGLE, Michele C; OLARIU, Stephan. **Vehicular networks: from theory to practice**. Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC, 2009.

WELCH, R; HOMSEY, A. Datum shifts for utm coordinates. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, [Falls Church, Va.] American Society of Photogrammetry., v. 63, n. 4, p. 371–375, 1997.

WEST, Douglas Brent *et al.* **Introduction to graph theory**. New York, NY, USA: Prentice hall Upper Saddle River, 2001. v. 2.

YOUSEFI, Saleh; MOUSAVI, Mahmoud Siadat; FATHY, Mahmood. Vehicular ad hoc networks (vanets): challenges and perspectives. *In: IEEE. ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on.* Chengdu, China, 2006. p. 761–766.

ZHADALLY, Sherali; HUNT, Ray; CHEN, Yuh-Shyan; IRWIN, Angela; HASSAN, Aamir. Vehicular ad hoc networks (vanets): status, results, and challenges. **Telecommunication Systems**, v. 50, n. 4, p. 217–241, Aug 2012. ISSN 1572-9451. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11235-010-9400-5>.

ZHANG, Zhensheng. Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 8, n. 1, p. 24–37, 2006.

ZHU, Xiangming; LI, Yong; JIN, Depeng; LU, Jianhua. Contact-aware optimal resource allocation for mobile data offloading in opportunistic vehicular networks. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, IEEE, v. 66, n. 8, p. 7384–7399, 2017.

ZHUO, Xuejun; LI, Qinghua; CAO, Guohong; DAI, Yiqi; SZYMANSKI, Boleslaw; PORTA, Tom La. Social-based cooperative caching in dtns: A contact duration aware approach. *In: IEEE. 2011 IEEE Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*. Washington DC, EUA, 2011. p. 92–101.