

**Uma Avaliação da Influência da Velocidade dos Nós no Estabelecimento
de Caminhos em Redes Ad Hoc Veiculares**

Dayro Augusto Barahona Hernandez

PEE / COPPE / UFRJ

Dissertação submetida para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica
ao Programa de Engenharia Elétrica/COPPE/UFRJ

UMA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DOS NÓS NO
ESTABELECIMENTO DE CAMINHOS EM REDES AD HOC VEICULARES

Dayro Augusto Barahona Hernandez

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Miguel Elias Mitre Campista
Aloysio de Castro Pinto
Pedroza

Rio de Janeiro
Março de 2015

UMA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DOS NÓS NO
ESTABELECIMENTO DE CAMINHOS EM REDES AD HOC VEICULARES

Dayro Augusto Barahona Hernandez

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
ELÉTRICA.

Examinada por:

Prof. Miguel Elias Mitre Campista, D.Sc.

Prof. Aloysio de Castro Pinto Pedroza, Dr.

Prof. Igor Monteiro Moraes, D.Sc.

Prof. Célio Vinicius Neves Albuquerque, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2015

Hernandez, Dayro Augusto Barahona

Uma Avaliação da Influência da Velocidade dos Nós no Estabelecimento de Caminhos em Redes Ad Hoc Veiculares/Dayro Augusto Barahona Hernandez. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XIV, 51 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Miguel Elias Mitre Campista

Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 48 – 51.

1. Probabilidades de transição. 2. K-Vizinhança. 3. Estados. 4. Linhas de Tempo. 5. NS-3. 6. OLSR. 7. Contatos Oportunistas. I. Campista, Miguel Elias Mitre *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*À minha família. Ao meu pai
Dayro Antonio (in memoriam).*

Agradecimentos

Agradeço à minha família, em especial, agradeço a mea maí e aos meus irmãos, pelo apoio que me dão em todos os momentos e por sempre me motivarem a seguir em frente.

Agradecimento especial a Dianne Medeiros pela ajuda na realização desta dissertação.

Agradeço aos amigos, em especial, Rodrigo de Souza Couto, Vitor Borges, Diogo Menezes, Martin Andreoni, Alyson Santos, Marcus Braga, Fabio Vieira, Lyno Ferraz pela amizade e companheirismo e por tornarem o mestrado uma experiência repleta de aprendizagem e boas lembranças. Agradeço, também, a todos os amigos que fiz no Grupo de Teleinformática e Automação, pois sempre contribuíram positivamente para a conclusão desse trabalho.

Agradeço, ainda, a todos os professores que participaram da minha formação. Em especial, agradeço ao meus orientadores, professor Miguel Elias Mitre Campista e professor Aloysio de Castro Pinto Pedroza, por todos os conselhos, dedicação e principalmente paciência, durante a orientação no mestrado. Gostaria de agradecer também aos professores Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa e Otto Carlos Duarte do GTA/UFRJ.

Agradeço aos professores Igor Monteiro Moraes e Célio Vinicius Neves Albuquerque pela participação na banca examinadora.

Agradeço aos funcionários do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ, Maurício, Daniele, Rosa e Solange pela presteza no atendimento na secretaria do Programa.

Agradeço a todos que participaram de forma direta ou indireta da minha formação profissional. Por fim, agradeço a CNPq, CAPES e FAPERJ pelo financiamento deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DOS NÓS NO ESTABELECIMENTO DE CAMINHOS EM REDES AD HOC VEICULARES

Dayro Augusto Barahona Hernandez

Março/2015

Orientadores: Miguel Elias Mitre Campista
Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Programa: Engenharia Elétrica

O aproveitamento dos contatos em redes móveis sem-fio depende do conhecimento dos padrões de mobilidade dos nós. Apesar dessa premissa parecer trivial, muitos protocolos de comunicação assumem que caminhos compostos por múltiplos saltos podem existir, ignorando a frequência com a qual isso de fato ocorre. Nessa direção, este trabalho avalia a influência da velocidade dos nós no estabelecimento de caminhos, sejam eles de um único ou de múltiplos saltos. O objetivo é avaliar o quanto da sobrecarga dos protocolos de comunicação poderia ser reduzida, caso a velocidade dos nós fosse levada em conta. Os resultados são obtidos a partir de análises sobre traços reais e sintéticos de redes veiculares e a partir de simulações de um estudo de caso. Enquanto a análise revela que os contatos se concentram a apenas um salto já a partir de velocidades relativamente baixas, as simulações mostram que procedimentos de inundação para descoberta de caminhos tendem a ser ineficientes em redes móveis com elevada mobilidade.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF NODE SPEED INFLUENCE ON PATH ESTABLISHMENT
IN VEHICULAR AD HOC NETWORKS

Dayro Augusto Barahona Hernandez

March/2015

Advisors: Miguel Elias Mitre Campista
Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Department: Electrical Engineering

Contacts exploitation in mobile wireless networks depends on the knowledge of nodes mobility patterns. This assumption seems trivial, but many communication protocols admit the existence of multihop paths, disregarding how often this event indeed occurs. In this direction, this paper evaluates the influence of nodes speed on path establishment, whether they are single or multihop paths. The objective is to evaluate how much of communication protocols overload could be reduced, if nodes speed was considered. Results are obtained through analysis of vehicular network traces, both real and synthetic, and via a case study simulation. While the analysis reveals that contacts are concentrated at a single hop already from relatively low speeds, the simulation shows that flooding procedures aiming path discovery tend to be inefficient in mobile wireless networks with high mobility.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
Lista de Abreviaturas	xiv
1 Introdução	1
2 Notações e Definição do Problema	5
2.1 Notações	5
2.1.1 Contato	5
2.1.2 k -vizinhança	6
2.1.3 Estado	7
2.1.4 Linha de Tempo	8
2.2 Definição do Problema	10
3 Análise da Vizinhança	13
3.1 Interpretação dos Traços	13
3.2 Linha de Tempo	17
3.3 Análise da Vizinhança	18
3.3.1 Probabilidades de transição entre Estados	21
4 Conjuntos de Dados	22
4.1 Mobility Dataset	22
4.2 TAPASCologne Project	22
4.3 Ad Hoc City Dataset	23
5 Resultados da Análise da Vizinhança	24
5.1 Distribuição das Velocidades	24
5.1.1 Cenário Taxis	25
5.1.2 Cenário Sintético	25
5.1.3 Cenário Ônibus	26
5.2 Distribuição dos Tempos de Contato	27

5.2.1	Cenário Táxis	27
5.2.2	Cenário Sintético	28
5.2.3	Cenário Ônibus	28
5.3	Velocidade Relativa e Tempos de Contato	29
5.3.1	Cenário Táxis	30
5.3.2	Cenário Sintético	31
5.3.3	Cenário Ônibus	33
5.4	k -Vizinhança em Função da Velocidade	34
5.4.1	Cenário Táxis	35
5.4.2	Cenário Sintético	35
5.4.3	Cenário Ônibus	37
6	Estudo de Caso: Colônia	41
6.1	Parâmetros de Simulação	42
6.2	Resultados da Simulação	44
7	Conclusões	46
7.1	Trabalhos Futuros	47
	Referências Bibliográficas	48

Lista de Figuras

2.1	Evolução no tempo da vizinhança para o par de nós i e j	6
2.2	Representação da vizinhança do nó i	7
2.3	Representação das mudanças de Estado.	8
2.4	Linha de Tempo entre o par de nós i e j ao longo de um intervalo de tempo de 20 segundos.	9
2.5	Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, desconsiderando a velocidade dos nós.	10
2.6	Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, para nós com velocidades menores do que 20 km/h.	11
2.7	Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, para nós com velocidades maiores do que 20 km/h.	11
3.1	Etapas da metodologia usada para a análise da vizinhança.	14
3.2	Etapas da metodologia usada para a interpretação dos traços de mobilidade.	15
3.3	Etapas da metodologia usada para a obtenção das linhas de tempo da vizinhança.	18
3.4	Etapas da metodologia usada para realizar a análise da vizinhança.	20
5.1	Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário dos Táxis.	25
5.2	Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário Sintético.	26
5.3	Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário Ônibus.	27
5.4	Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Táxis.	28
5.5	Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Sintético.	29
5.6	Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Ônibus.	29
5.7	Velocidade relativa $vs.$ tempo de contato cenário Táxis. Alcance 10 m.	30
5.8	Velocidade relativa $vs.$ tempo de contato cenário Táxis. Alcance 20 m.	31
5.9	Velocidade relativa $vs.$ tempo de contato cenário Táxis. Alcance 50 m.	31
5.10	Velocidade relativa $vs.$ tempo de contato cenário Simulação. Alcance 10 m.	32

5.11	Velocidade relativa <i>vs.</i> tempo de contato cenário Simulação. Alcance 20 m.	32
5.12	Velocidade relativa <i>vs.</i> tempo de contato cenário Simulação. Alcance 50 m.	33
5.13	Velocidade relativa <i>vs.</i> tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 10 m.	34
5.14	Velocidade relativa <i>vs.</i> tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 20 m.	34
5.15	Velocidade relativa <i>vs.</i> tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 50 m.	35
5.16	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxis. Alcance 10m.	36
5.17	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxis. Alcance 20m.	36
5.18	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxis. Alcance 50m.	37
5.19	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 10m.	37
5.20	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 20m.	38
5.21	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 50m.	38
5.22	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 10m.	39
5.23	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 20m.	39
5.24	k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 50m.	40
6.1	Representação das regiões influenciadas pela atenuação e pelo desvanecimento, e valor dos parâmetros dos modelos de propagação Nakagami-m e 3-Log-Distance.	42
6.2	Vazão para o traço de Colônia variando-se o número de aplicações instaladas no cenário.	44
6.3	Sobrecarga de roteamento na rede utilizando o protocolo OLSR para o traço de Colônia variando-se o número de aplicações instaladas no cenário.	44

Lista de Tabelas

5.1	Número de contatos entre os nós do cenário Táxis para os três raios de alcance estudados.	32
5.2	Tempo médio de permanência em cada estado em segundos.	40
6.1	Parâmetros de simulação.	43

Lista de Algoritmos

1	Algoritmo de comparações de tempo e localização para estabelecer pares de nós dentro do raio de alcance avaliado.	16
2	Algoritmo para geração de linha de tempo.	19

Lista de Abreviaturas

DLR	the German Aerospace Center, p. 22
DTN	Delay Tolerant Networks, p. 1
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power, p. 42
GPS	Global Positioning System, p. 14
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, p. 41
ITS	Institute of Transportation Systems, p. 22
ITS	Intelligent Transportation Systems, p. 2
MANETs	Mobile Ad hoc Network , p. 1
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration, p. 1
NS-3	Network Simulator 3, p. 13
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, p. 43
OLSR	Optimized Link State Routing, p. 12
OSM	OpenStreetMap, p. 22
SUMO	Simulation of Urban Mobility, p. 22
TAPAS	Travel and Activity PAtterns Simulation, p. 22
TTL	Time To Live, p. 41
UDP	User Datagram Protocol, p. 43
V2I	Vehicular to Infrastructure, p. 2
V2V	Vehicular to Vehicular , p. 2
VANETs	Vehicular Ad hoc Network , p. 1

Capítulo 1

Introdução

As Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay Tolerant Networks* - DTN) ou redes oportunistas são propostas para solucionar os problemas de conectividade, apresentados pelas redes móveis atuais. Fundamentalmente, DTN é uma arquitetura de rede que proporciona comunicações em ambientes onde a conectividade não é permanente e a presença de caminhos fim-a-fim não pode ser garantida [1]. Tais inconvenientes são ainda agravados pelos desafios do próprio meio sem-fio que pode introduzir altas taxas de erro, impedindo que aplicações com requisitos mínimos de qualidade de serviço sejam atendidas [2, 3]. As DTNs podem lidar com esses problemas, já que o seu modo de encaminhamento usam comutação de mensagens com transferência de custódia para contornar a conectividade intermitente, ao invés de encaminhar as mensagens recebidas, os nós intermediários as armazenam e as replicam ao encontrar um contato oportunista [4].

Atualmente, na literatura, há muitos exemplos de ambientes onde as DTNs podem ser utilizadas. Dentre eles, pode-se citar as redes militares, as redes de monitoramento da vida selvagem ou de qualquer tipo de habitat de difícil acesso, redes para a prestação de Internet de baixo custo a comunidades remotas, redes ad hoc móveis (MANETs) [5] e redes ad hoc veiculares (VANETs) [6]. Em todos esses cenários, a instalação de qualquer tipo de infraestrutura de rede, seja ela cabeada ou mesmo composta por múltiplos pontos de acesso sem-fio, pode não ser viável e por isso mesmo se tornam casos típicos de aplicação das DTNs. Dentre todas as redes sem garantias de conectividade, as redes veiculares são as que, atualmente, mais atraem atenção da comunidade acadêmica e da indústria. Recentemente, o governo americano anunciou que já teria começado o processo de regulamentação do recurso de comunicação entre os veículos para torná-lo mandatório nos automóveis 0 km do país [7]. Segundo a agência de segurança viária americana (NHTSA), através do uso de aplicações de redes veiculares, poderiam se evitar até 592.000 acidentes, salvando mais de 1.000 vidas por ano, uma vez que os aplicativos alertariam os motoristas sobre perigos iminentes a partir da detecção dos outros carros ao redor [7].

As redes veiculares possuem enorme importância, visto o seu potencial para emprego como tecnologia fundamental no desenvolvimento de sistemas de transporte inteligentes (*Intelligent Transportation Systems* - ITS) e comunicações entre veículos [8, 9]. Essas comunicações oferecem base para diversas aplicações com foco sobretudo em segurança no trânsito e auxílio à condução [10]. As redes de comunicação em ambientes veiculares vêm sendo investigadas com o uso de tecnologias que vão desde as de telefonia celular (3G/4G) até as de redes locais sem-fio IEEE 802.11. Nessas redes, há dois tipos predominantes de comunicação, a V2I (*Vehicular-to-Infrastructure*) e a V2V (*Vehicular-to-Vehicular*) [4]. A comunicação V2I envolve nós veiculares e nós de rede estáticos instalados em infraestruturas ao longo das vias. A comunicação V2V envolve somente nós móveis em veículos automotores, os quais se comunicam sem qualquer suporte externo ou elemento centralizador. Nesse tipo de comunicação os veículos funcionam como roteadores e encaminham tráfego através de múltiplos saltos. Embora sua configuração seja simples, tem como principal desvantagem a conectividade da rede que depende da densidade e do padrão de mobilidade dos veículos [11].

Tais redes são construídas através da associação espontânea e não sincronizada de um conjunto de veículos que mudam dinamicamente sua posição e trocam dados entre eles através de enlaces sem-fio. Essa associação é feita sem a participação de nenhuma rede infraestruturada. Nesse tipo de rede, os nós têm mobilidade e a comunicação entre eles somente é possível quando a distância que os separa não supera o alcance máximo de transmissão. Isso significa que não existem garantias de conectividade entre os nós. Para superar esse desafio, é importante conhecer os padrões de mobilidade dos nós, para que seja possível antecipar seus comportamentos de movimentação e assim aumentar as chances de se obter maior probabilidade de sucesso na transferência de dados. A caracterização dos padrões de mobilidade das redes ad hoc veiculares, entretanto, permanece um tema em aberto para a pesquisa, agravado principalmente pela alta movimentação dos nós [12], além de todos os problemas já enfrentados pelas DTNs.

Os padrões de mobilidade em redes móveis ad hoc e as soluções para superar os desafios vêm sendo investigados na literatura. Rezende *et al.* apresentam um protocolo de previsão de vizinhança, que basicamente tenta antecipar a disponibilidade dos enlaces futuros entre veículos através de um modelo de previsão de mobilidade [13]. Segundo os autores, as alterações na topologia podem ser detectadas e tratadas adequadamente antes de prejudicar o desempenho da rede. Através de simulações, eles demonstram que a previsão da vizinhança é viável e não incorre em sobrecarga excessiva. Gonzales *et al.* [14] realizam uma análise profunda sobre a mobilidade humana, com registros de cem mil usuários de telefones móveis durante um longo período de tempo. Segundo os resultados da análise, é possível estabelecer

padrões de mobilidade individuais, levando em consideração a frequência com que são visitados diferentes lugares e as trajetórias realizadas em diferentes períodos de tempo. A partir dessas informações, é possível melhorar fatores relacionados diretamente com a mobilidade humana, tais como, prevenção de epidemias, resposta de emergências, planificação urbana, e outros paradigmas com uma alta probabilidade de acerto. O trabalho de Calegari *et al.* [15] apresenta uma ferramenta para a geração de traços de conectividade sintéticos, que usam como entrada traços de mobilidade reais e oferecem como saída conjuntos de traços com propriedades de conectividade. O objetivo dessa ferramenta é auxiliar as análises de diferentes parâmetros, especialmente no que correspondente ao rendimento dos protocolos e aplicações em comunicações oportunistas, avaliando principalmente as entregas e os atrasos das mensagens trocadas pelos nós.

Além dos trabalhos que procuram antecipar contatos entre nós móveis como forma de melhoria do desempenho da rede, há aqueles que têm como principal objetivo a caracterização dos padrões de movimentação. Conan *et al.* [16] realizam uma análise dos padrões de tempo de contato e intercontato para caracterizar redes DTN. Para o desenvolvimento de suas análises eles usam traços reais, disponibilizados na Internet, que basicamente descrevem os movimentos de pessoas em diferentes lugares e contêm a informação de contatos entre seus dispositivos móveis. A partir dessa informação, os autores realizam uma pesquisa sobre a relação entre número de pares e os tempos de contato. Como resultado eles fornecem um estudo estatístico no qual caracterizam a heterogeneidade das interações entre nós, mostrando que os tempos de intercontato têm um grande impacto sobre o encaminhamento. Já o trabalho de Passarella *et al.* [17] mostra a caracterização de tempos de contato entre pares de nós em redes móveis oportunistas, particularmente quando seguem a distribuição da lei das potências. Os autores apresentam um modelo analítico que demonstra que em redes heterogêneas, ou seja, quando nem todos os padrões de pares de contato são os mesmos, a distribuição agregada não é representativa das distribuições de pares individuais e pode levar a conclusões erradas.

Todos os trabalhos anteriores de caracterização realizam esforços no sentido de encontrar diferentes padrões de movimentação nas redes DTN. Dessa forma, procuram obter um melhor aproveitamento da comunicação oportunista nesse tipo de redes. Algo comum nesses trabalhos é considerar que dois nós estão em contato quando têm alcance mútuo e fora de contato quando se encontram fora do raio de alcance direto. Trabalhos mais recentes [18, 19], porém, estendem essa visão de vizinhança, incluindo os nós que podem ser alcançados com alguns saltos de distância. Essa visão estendida permite obter padrões de movimentação da vizinhança e alcançar um maior aproveitamento dos contatos em redes móveis. Apesar de representar uma abordagem original, essa extensão não considera ainda a velocidade dos

nós. Até onde se sabe, as análises de vizinhança em redes DTN tipicamente consideram diferentes tipos de cenários, diferentes dispositivos de comunicação, diferentes padrões de mobilidade, diferentes parâmetros, tais como, a localização dos nós, o tempo em que se realiza o estudo e os tempos de contato entre os nós. Nenhum desses trabalhos, porém, considera a velocidade relativa entre os nós ao investigar o comportamento da vizinhança, seja através da visão tradicional ou da estendida. A diferença portanto dos trabalhos anteriores para este trabalho é o fato de ser levada em consideração a velocidade com que os nós se deslocam através dos cenários estudados. A velocidade é um parâmetro que incrementa mais um grau de complexidade às topologias, uma vez que muda o panorama dos tempos de contato entre os nós e o aproveitamento da vizinhança.

Em maiores detalhes, o objetivo deste trabalho é avaliar como os contatos ocorrem em cenários altamente dinâmicos, como as redes ad hoc veiculares, e como se comportam os caminhos a mais de um salto de distância. As redes veiculares têm como característica de interesse o intervalo mais amplo de velocidades, seja para um único veículo ou para vários entre si. Os resultados obtidos através da análise de conjuntos de dados reais e sintéticos permitem identificar quais são os ambientes mais propícios para usar comunicações de múltiplos saltos, definindo até que ponto a vizinhança a mais de um salto pode ser considerada viável. Nota-se que os contatos se concentram a apenas um salto já a partir de velocidades relativamente baixas, o que pode tornar as tentativas de comunicações a múltiplos saltos ineficientes. Essa última afirmação é ainda investigada através de um estudo de caso simulado, no qual se procura reduzir a sobrecarga de controle da rede através da diminuição do alcance das mensagens de controle. A ideia é mostrar que procedimentos que contam com a existência de caminhos de múltiplos saltos, p.ex. procedimentos de inundação, não fazem efeito nas redes veiculares atuais. Essa constatação permite concluir que o aproveitamento de contatos de forma oportunística é a alternativa com maior potencial nos cenários móveis e, portanto, devem ser exploradas ao máximo.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta definições relacionadas à vizinhança de um nó e define o problema a ser estudado. O Capítulo 3 mostra a análise de vizinhança a ser realizada. Já o Capítulo 4 descreve as características dos três traços utilizados. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos através da análise de vizinhança realizada. O Capítulo 6 trata do estudo de caso simulado, exibindo os resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões desta dissertação e as suas direções futuras.

Capítulo 2

Notações e Definição do Problema

Este capítulo apresenta as notações utilizadas e apresenta a definição do problema tratado nesta dissertação.

2.1 Notações

A análise proposta nesta dissertação requer conhecimento sobre conceitos relacionados à vizinhança de um nó. Essas definições, inicialmente propostas em [19], são apresentadas nesta seção.

2.1.1 Contato

A primeira definição desta dissertação identifica em que tipo de situações um par de nós é considerado em contato e em que condições um par de nós é considerado fora de contato. A definição formal de contato é vista a seguir.

Definição 1. Contato: Considera-se que um par de nós estão em contato com parâmetro n quando há um caminho mais curto de comprimento n separando os dois nós em questão, tal que $\{n \in \mathbb{N}^* \mid 1 \leq n < \infty\}$. Do mesmo modo, a falta de caminhos entre um par de nós indica que estão fora de contato. Logo, $n \rightarrow \infty$.

As visões tradicionais da vizinhança consideram um par de nós em contato somente quando estão em alcance mútuo, de outra forma se considera que os nós estão fora de contato. Trabalhos recentes consideram uma visão estendida das vizinhanças, ao incluir nós que não estão em contato direto, mas mesmo assim podem ser alcançados com alguns saltos de distância [19]. A Figura 2.1 ilustra a evolução no tempo da vizinhança em uma rede pequena. Nessa figura, pode-se observar que em $t = 0$ o nó j está em contato direto com o nó i . Logo, em $t = 1$, o nó j estabelece vizinhança com o nó i a uma distância de dois saltos. Depois, em $t = 2$, o nó j se afasta um pouco mais e a distância até o nó i passa a ser de três saltos. Por último,

em $t = 3$, o nó j está fora da vizinhança do nó i , ou seja, estão a uma distância infinita.

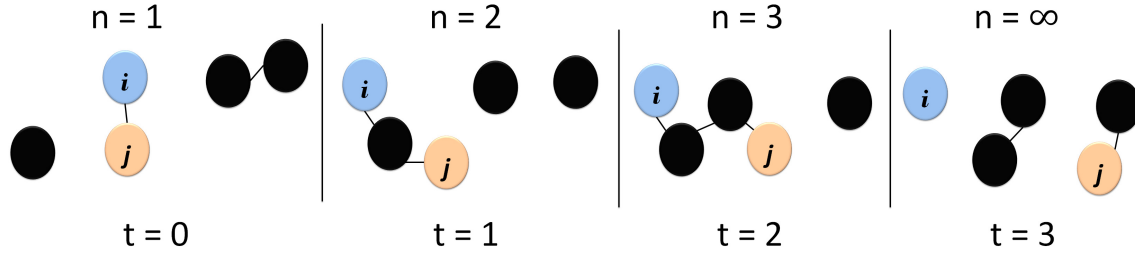


Figura 2.1: Evolução no tempo da vizinhança para o par de nós i e j .

A visão tradicional consideraria os nós i e j como fora de contato nos três últimos intervalos de tempo ($t = 1$, $t = 2$ e $t = 3$), uma vez que não existe contato direto entre eles. Já a visão estendida somente os considera fora de contato no último intervalo de tempo ($t = 3$), pois somente nesse instante não existe nenhum caminho para estabelecer contato entre eles. Isso significa que, segundo a visão estendida, sempre que existir um caminho entre os nós i e j com um número de saltos finito, considera-se que é possível estabelecer contato entre eles. Esta dissertação utiliza a visão estendida das vizinhanças.

2.1.2 k -vizinhança

Trabalhos mais recentes [18, 19] consideram uma visão estendida da vizinhança de um nó para estabelecer os padrões de comportamento das redes móveis. A definição formal da k -vizinhança pode ser descrita como se segue.

Definição 2. k -vizinhança: A k -vizinhança de um nó i é o conjunto de todos os nós cujo caminho mais curto a partir de i é de no máximo k saltos. Portanto, considerando $d(i, j)$ a distância em número de saltos entre os nós i e j , a k -vizinhança de um nó i é formada pelo subconjunto de nós cuja distância a partir de i seja menor ou igual a k ($d(i, j) \leq k$).

Em outras palavras, k é um número máximo de saltos necessários para que um nó estabeleça contato com outro nó em uma rede móvel sem-fio. Esse conceito é fundamental já que ele define a extensão na qual a análise desta dissertação se aplica. A Figura 2.2 ilustra os contatos de múltiplos saltos estabelecidos pelo nó i até sua 3-vizinhança. Observa-se que existe contato direto entre o nó i e os nós mais próximos a ele, o que constitui sua 1-vizinhança. Entretanto, com o aumento do limite da k -vizinhança, torna-se possível o contato entre nós que não estão em contato direto, mas que podem ser alcançados através de nós intermediários, como é

o caso da 2-vizinhança. De igual forma, o nó i aproveita os caminhos estabelecidos para alcançar sua 3-vizinhança. Por conseguinte, o conjunto de nós fora do alcance do nó i têm distância infinita.

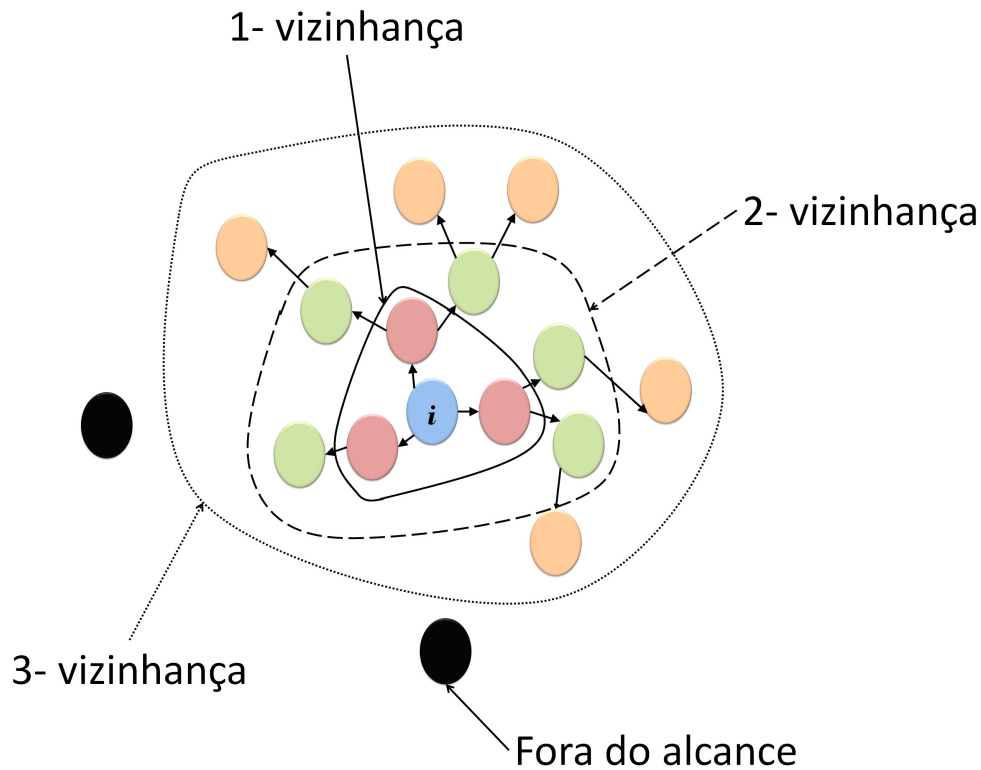


Figura 2.2: Representação da vizinhança do nó i . O conjunto de nós em contato direto é sua 1-vizinhança. Os nós alcançáveis com dois saltos são a 2-vizinhança e assim por diante. O conjunto de nós fora do alcance de i têm distância infinita.

2.1.3 Estado

A partir da definição anterior, o Estado representa uma métrica para a k -vizinhança. A definição formal de Estado é apresentada a seguir.

Definição 3. Estado: Entende-se por Estado k a distância entre um par de nós medida em número de saltos.

A partir da Definição 3, dois nós que estão em contato direto se encontram no Estado 1. Se for exigido um salto adicional através de um nó intermediário para estabelecer o caminho de comunicação, diz-se que os nós estão no Estado 2, e assim por diante. Se não existir caminho entre um par de nós, o Estado é considerado infinito [19].

Em razão da dinâmica das topologias móveis, a mudança de Estado entre os pares de nós é frequente. Como consequência, surge a probabilidade de transição entre

Estados, que consiste na probabilidade de um par de nós sair de um Estado para outro diferente no próximo instante de tempo. Tal probabilidade captura a mudança da distância entre o par de nós, que pode ser diferente em instantes de tempo consecutivos. Existe também a probabilidade de dois nós fora de contato (Estado infinito) entrarem em contato, ou de dois nós em contato entrarem posteriormente em Estado infinito. A Figura 2.3 ilustra as mudanças de Estado de um nó com as respectivas probabilidades de transição $P(d(i, j)_t, d(i, j)_{t+\delta})$, onde $d(i, j)_t$ e $d(i, j)_{t+\delta}$ denotam, respectivamente, a distância entre o par de nós i e j no instante t e no instante posterior $t + \delta$.

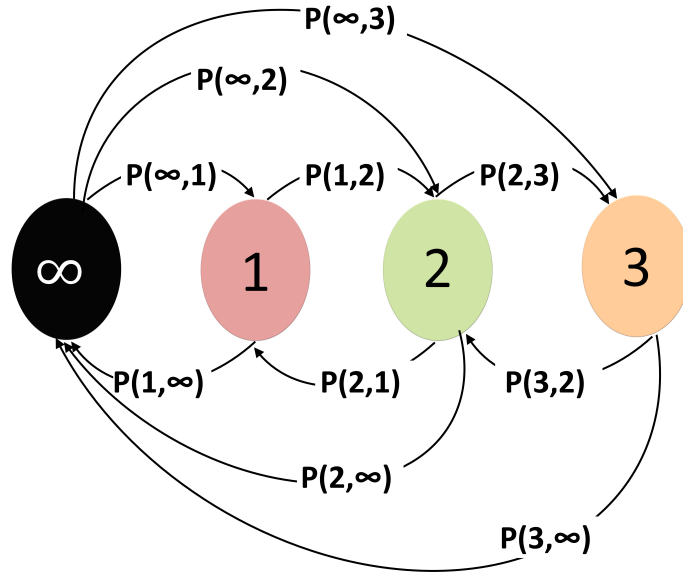


Figura 2.3: Representação das mudanças de Estado. Quando um par de nós se encontra no Estado 3 é possível que mude para o Estado 2 no próximo instante de tempo. Também é provável o aparecimento de contatos em Estado 1, 2 ou 3 após estarem em estado infinito.

2.1.4 Linha de Tempo

A definição de Linha de Tempo é a mesma introduzida com o conceito de visão estendida da vizinhança em Phe-neau *et al.* [19]. Grande parte da análise feita nesta dissertação é baseada nos resultados obtidos a partir da Linha de Tempo gerada entre todos os pares de nós da rede. A definição formal da Linha de Tempo é vista a seguir.

Definição 4. Linha de Tempo: Consiste na progressão da menor distância entre um dado par de nós ao longo do tempo, ou seja, da progressão de Estados entre eles. Portanto, uma Linha de Tempo pode ser representada como uma sequência do tipo $\langle d(i, j)_t, d(i, j)_{t+\delta}, \dots, d(i, j)_{t+\delta'} \rangle$, onde $d(i, j)_t$ denota a distância mínima em número de saltos entre os nós i e j em um dado momento t [19].

As Linhas de Tempo da vizinhança são geradas a partir dos traços de contato entre nós em um cenário móvel e armazenam a menor distância entre pares de nós ao longo do tempo. Essa distância representa o número de saltos k que um determinado nó precisa para estabelecer contato com outro. O método utilizado para a geração das linhas de tempo organiza em forma cronológica os eventos registrados nos traços de contato. Os eventos instantâneos podem ser tanto de surgimento quanto de desaparecimento de um enlace entre um par de nós i e j no instante de tempo t . A Figura 2.4 ilustra a Linha de Tempo do par de nós i e j . Pode-se observar as distâncias mais curtas entre o par de nós ao longo de um intervalo de tempo de 20 segundos. A alta dinâmica que apresenta a rede móvel produz uma elevada variação no número de saltos mínimos requeridos para estabelecer contato entre o par de nós. As mudanças de Estado registradas para cada par de nós são armazenadas nas Linhas de Tempo.

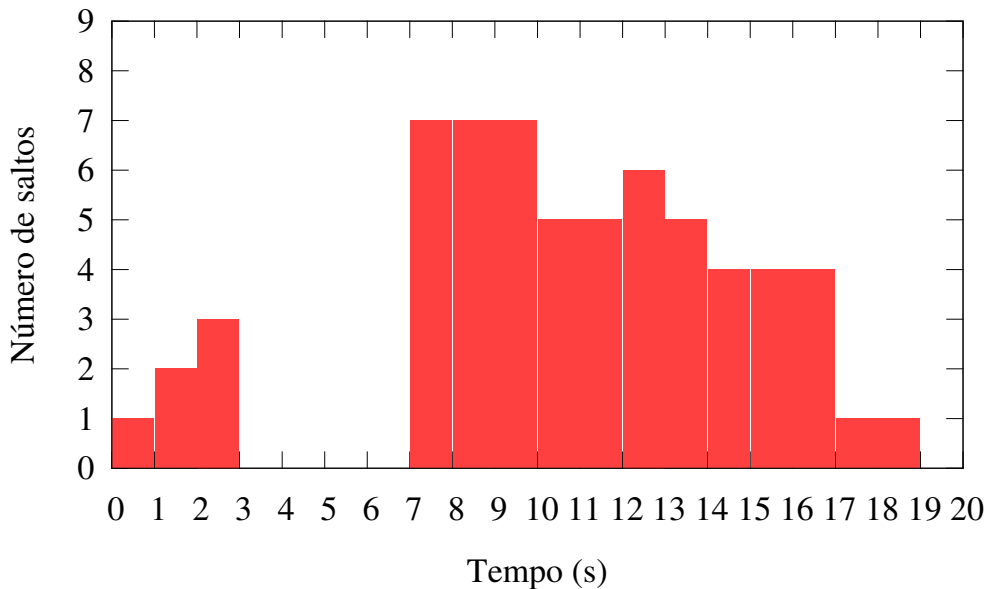


Figura 2.4: Linha de Tempo entre o par de nós i e j ao longo de um intervalo de tempo de 20 segundos.

As definições apresentadas neste capítulo são utilizadas para a análise da vizinhança dos nós em uma rede móvel, estabelecendo seu comportamento e caracterizando o aproveitamento da k -vizinhança. As mudanças de Estado nas vizinhanças dos nós, armazenadas nas Linhas de Tempo entre todos os pares de nós da rede, permitem inferir as probabilidades de transição entre estados, detalhando como os nós se movimentam uns em relação aos outros no tempo.

2.2 Definição do Problema

A busca pelo melhor aproveitamento da k -vizinhança em redes ad hoc veiculares leva à natural investigação dos padrões de mobilidade, seja de um único nó isolado ou de um grupo de nós ao mesmo tempo. A partir dessa investigação, procura-se obter as melhores oportunidades de comunicação usando o maior número de contatos possíveis. Se os nós da rede apresentarem elevada mobilidade e o alcance das comunicações for limitado a distâncias curtas, é essencial levar em conta a velocidade relativa entre os nós. Dessa forma, evita-se considerar como oportunidades de comunicação aquelas realizadas com vizinhos cujo Estado mais comum seja composto por muitos saltos, ou no pior dos casos, seja Estado infinito. Por exemplo, ao realizar a análise a partir das linhas de tempo da vizinhança de todos os nós em uma topologia altamente dinâmica, é possível estabelecer suas probabilidades de transição entre estados como mostrado na Figura 2.5. Nessa figura, observa-se que as probabilidades mais significativas para o estabelecimento de contatos são encontradas a poucos saltos de distância. Além disso, a transição entre estados consecutivos é comum, mas diminui conforme o aumento da distância em número de saltos. Assim, é razoável inferir que a k -vizinhança é bem aproveitada utilizando-se apenas alguns saltos. Essa topologia dinâmica corresponde a um dos cenários analisados neste trabalho, chamado de Sintético. A análise completa se encontra na Seção 5, que é apresentada em breve. A forma de estabelecer as probabilidades de transição pode ser vista na Seção 3.3.1.

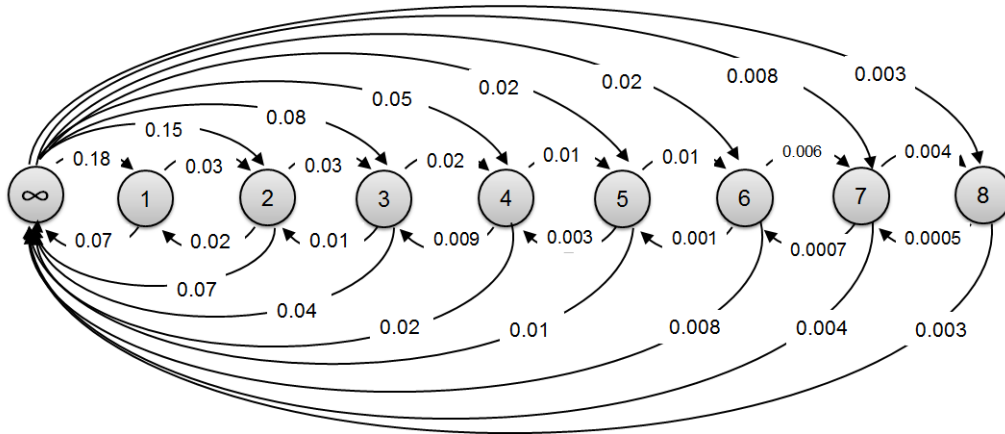


Figura 2.5: Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, desconsiderando a velocidade dos nós.

Analisando novamente o mesmo cenário Sintético, mas considerando agora a velocidade dos nós no momento do contato, alguns comportamentos mudam completamente. A Figura 2.6 mostra que, considerando apenas os pares de nós cuja velocidade relativa for menor do que 20 km/h, obtém-se um comportamento muito similar ao anterior (Figura 2.5). Com exceção da porcentagem de contatos que apa-

recem a um salto de distância, não existem diferenças significativas nas transições entre Estados. Contudo, na Figura 2.7, observa-se que os resultados mudam radicalmente quando a velocidade relativa dos nós é superior aos 20 km/h. Essa figura mostra que a probabilidade de aparecimento de contatos é significativa somente para os primeiros quatro saltos, ou seja, nas transições do Estado infinito para os finitos, sendo desprezível para os demais casos (próxima de zero e por isso não representadas). Nota-se, entretanto, que a probabilidade da transição do Estado infinito para o Estado 1 é muito superior a todas as outras.

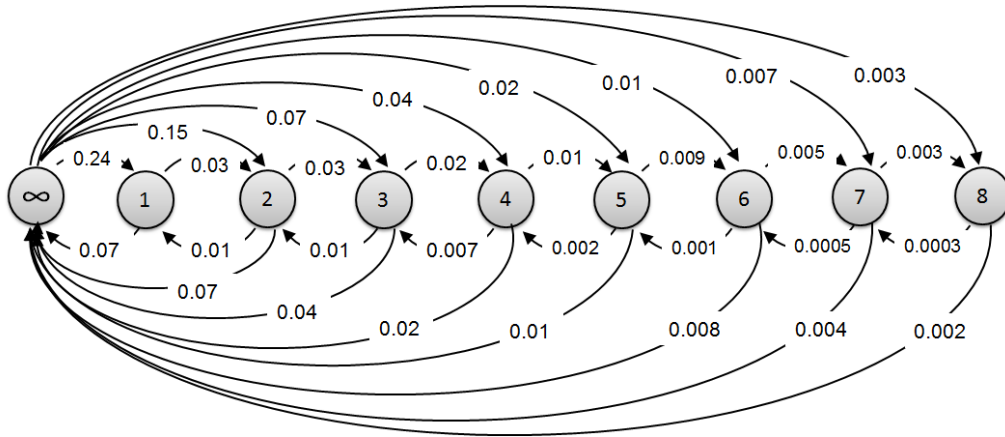


Figura 2.6: Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, para nós com velocidades menores do que 20 km/h.

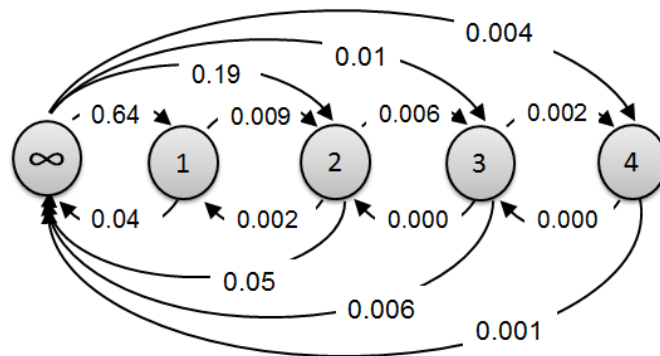


Figura 2.7: Probabilidades de transição entre estados do cenário Sintético, para nós com velocidades maiores do que 20 km/h.

A partir do comportamento verificado, esta dissertação questiona se a k -vizinhança pode oferecer, de fato, alguma alternativa de comunicação quando a mobilidade dos nós ocorrer a velocidades mais altas, como no caso das redes ad hoc veiculares. Para tal, inclui-se a variável velocidade nas análises de vizinhança, para que as chances reais de se usar essa estratégia de comunicação em ambientes comuns, como os ambientes urbanos convencionais, sejam verificadas. A partir dessa avaliação, pode-se investigar se os protocolos de comunicação que assumem a existência

de caminhos de múltiplos saltos, como o OLSR (*Optimized Link State Routing*) [20], devem realmente contar com essa premissa em cenários nos quais os nós se deslocam a velocidades relativas mais elevadas. Caso não haja como garantir tal premissa, esses protocolos podem estar apenas provocando sobrecargas desnecessárias de pacotes de controle durante procedimentos como os de inundação.

Capítulo 3

Análise da Vizinhança

Este trabalho propõe uma análise da vizinhança levando em consideração a velocidade relativa com a qual os nós se movem em redes veiculares, para avaliar o aproveitamento da k -vizinhança, quando $k \geq 1$. A análise é realizada particularmente em cenários urbanos que geram topologias de rede bastante distintas.

A análise é feita em três cenários, cada um deles com características distintas de mobilidade, densidade e comportamento de nós, e forma de geração de traços. A metodologia usada para alcançar os objetivos dessa proposta consiste inicialmente na interpretação dos traços de mobilidade, seguida por uma análise de vizinhança. Essa análise é realizada a partir da obtenção das linhas de tempo entre todos os nós da rede, como definido no Capítulo 2. Considera-se que os nós entram em contato caso estejam dentro de um raio de cobertura fixo. São testados três valores distintos para esses raios, permitindo a comparação entre os resultados para raios diferentes. Em seguida, avalia-se o eventual aproveitamento da k -vizinhança em função das diferentes velocidades relativas entre os nós. Por fim, uma simulação é realizada no simulador de redes NS-3 com um subconjunto de dados de um dos cenários usados para a análise. Esse subconjunto foi utilizado para acelerar a convergência das simulações sem prejuízo dos resultados, já que o subconjunto representa o cenário completo. O objetivo dessas simulações é demonstrar o impacto tanto na vazão da rede quanto na sobrecarga de controle, da premissa utilizada por diferentes protocolos de redes móveis referentes à existência de caminhos de múltiplos saltos independente da velocidade dos nós móveis. A Figura 3.1 ilustra as diferentes etapas da metodologia descrita anteriormente. Cada uma dessas etapas é apresentada com maior nível de detalhe a continuação.

3.1 Interpretação dos Traços

Nesta primeira etapa, o trabalho consiste basicamente em extrair a informação de vizinhança contida em cada um dos traços selecionados para a análise. A Figura 3.2

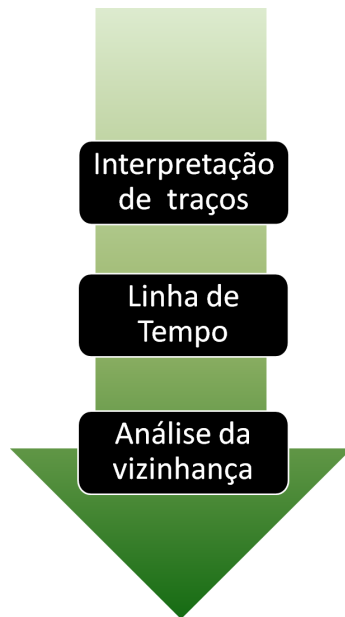


Figura 3.1: Etapas da metodologia usada para a análise da vizinhança.

ilustra a metodologia usada para a interpretação dos traços de mobilidade. Em cada um dos traços estudado, entretanto, a informação se apresenta com características peculiares. Por exemplo, dois dos traços estudados correspondem a dados coletados através de dispositivos de rastreamento GPS localizados nos veículos que compõem a topologia, os quais atualizam suas coordenadas periodicamente. Os formatos no quais se apresentam esses dados, apesar de serem coletados da mesma forma, variam em cada traço. Por conseguinte, o tratamento inicial é distinto. O terceiro traço gera seus dados através de um simulador de redes veiculares, que segundo seus autores, proporciona uma ideia clara do comportamento dos veículos na cidade com uma boa aproximação da realidade. Em síntese, cada um dos traços estudados tem diferenças significativas de formato de apresentação, frequência de atualização, quantidade de informação, período de coleta de dados, etc. Como consequência, nessa etapa do processo foi necessário realizar um tratamento de dados diferenciado para cada um dos traços estudados para tornar possível a interpretação dos dados de mobilidade disponibilizados. O objetivo final é obter de cada um dos traços os elementos suficientes para o desenvolvimento de uma análise do comportamento das redes móveis veiculares.

O tratamento dos dados exigiu como primeiro passo a seleção de uma linguagem de programação que permitisse superar os desafios propostos. Para essa finalidade, existia uma grande diversidade de linguagens de programação que poderiam ser igualmente usadas. No entanto, era preciso que a linguagem também fosse gratuita e adaptável aos recursos disponíveis para execução da tarefa. Nessa ordem de requisitos, a linguagem de programação selecionada foi o *Python*, pois é gratuita e se ajusta perfeitamente aos recursos disponíveis do laboratório de trabalho. Além

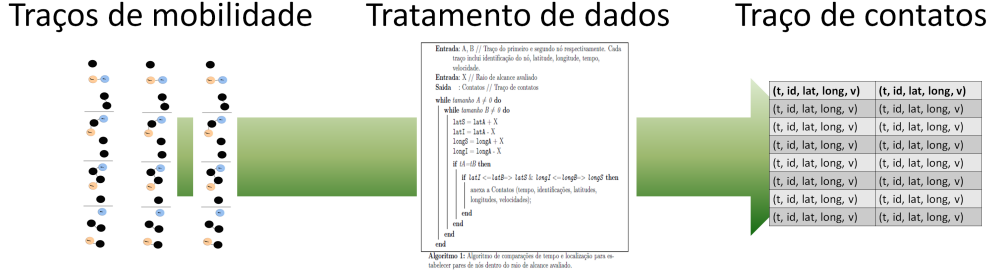


Figura 3.2: Etapas da metodologia usada para a interpretação dos traços de mobilidade.

disso, *Python* tem uma sintaxe concisa e simples para usuários, pela qual é possível compreendê-lo rapidamente. Aliás, *Python* é executado em muitos sistemas operacionais, fornecendo bibliotecas abundantes para todos os procedimentos necessários na realização do tratamento de dados requeridos.

Uma vez selecionada a linguagem de programação, o primeiro passo é determinar a velocidade de cada nó, particularmente nos traços reais que não proporcionam essa informação. Para isso, os registros de mobilidade de cada nó são organizados em forma cronológica. Seguidamente, com as informações de localização, contidas nos traços em formato de latitude e longitude, calcula-se a distância percorrida pelo nó entre dois registros consecutivos usando a função de Haversine [21]. Essa função é capaz de fornecer a distância entre dois pontos de uma esfera utilizando coordenadas geográficas de latitude e longitude. Realizando uma aproximação da Terra como uma esfera perfeita, é possível apresentar um erro médio de 0.3% nos cálculos. A função de Haversine é definida como:

$$haversine(\theta) \equiv \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad (3.1)$$

Considerando dois pontos de uma esfera de raio R , com latitudes e longitudes (ϕ_1, λ_1) , (ϕ_2, λ_2) , respectivamente, a distância d é:

$$d = 2R \arcsin\left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right). \quad (3.2)$$

Dessa forma se estabelece a distância percorrida por um nó entre dois registros consecutivos. Depois calcula-se a diferença dos tempos nos registros consecutivos para determinar o intervalo de tempo transcorrido. Assim, com os valores de tempo e distância entre cada registro do traço de mobilidade se estabelece a velocidade do nó. O segundo passo é determinar os contatos estabelecidos entre pares de nós em cada um dos traços de mobilidade estudados. Por conseguinte, foi preciso realizar comparações de tempo e localização entre seus registros. O Algoritmo 1 mostra a

forma como o procedimento de comparação se realiza. Para maior simplicidade, o algoritmo somente ilustra a comparação entre os registros de dois nós móveis. Entretanto, essa mesma lógica se repete para cada par de nós presentes no traço de movimentação.

```

Entrada: A, B // Traço do primeiro e segundo nó respectivamente. Cada
           traço inclui identificação do nó, latitude, longitude, tempo,
           velocidade.
Entrada: X // Raio de alcance avaliado
Saida : Contatos // Traço de contatos

while tamanho A  $\neq$  0 do
  while tamanho B  $\neq$  0 do
    latS = latA + X
    latI = latA - X
    longS = longA + X
    longI = longA - X
    if tA=tB then
      if latI  $\leq$  latB  $\leq$  latS & longI  $\leq$  longB  $\leq$  longS then
        anexa a Contatos (tempo, identificações, latitudes,
        longitudes, velocidades);
      end
    end
  end
end

```

Algoritmo 1: Algoritmo de comparações de tempo e localização para estabelecer pares de nós dentro do raio de alcance avaliado.

O algoritmo requer como entrada os traços de mobilidade dos nós a comparar e retorna como saída o traço de contatos entre o par de nós. Basicamente, o algoritmo lê linha a linha os registros de movimentação de um nó, e os compara com os registros de outro nó para verificar coincidências de tempo e de localização. Inicialmente, o Algoritmo 1 atribui as coordenadas de latitude e longitude do nó do traço A às variáveis **latA**, **longA**. Em seguida, realiza cálculos de adição e subtração dessas variáveis tomando como referência o valor de raio de alcance avaliado, chamado no algoritmo de X. Os resultados dessas operações são armazenados nas variáveis chamadas **latS**, **latI**, **longS**, **longI**. Essas variáveis contêm os limites das coordenadas de localização, latitude e longitude, até onde é considerado que um nó esteja dentro do raio de cobertura de outro e é possível estabelecer contato. As coordenadas de latitude e longitude do nó do traço B são atribuídas às variáveis **latB**, **longB**. Os tempos dos nós que aparecem nos registros dos traços A e B são atribuídos às variáveis **tA** e **tB** respectivamente. Primeiramente, o Algoritmo 1 realiza uma comparação dos tempos nos registros, se existe igualdade o algoritmo

compara os limites das coordenadas de localização do nó do traço A com as coordenadas do nó do traço B para determinar se está dentro do raio de alcance avaliado. Como é difícil obter um valor exato, visto a variação nas condições de propagação, optou-se por avaliar alcances diferentes. Todas as informações dos contatos entre cada par de nós são armazenadas em um novo traço, chamado de Contatos, que registra as vizinhanças encontradas na rede móvel. Este traço especificamente contém informações de tempo, identificação, latitude, longitude e velocidades de cada nó. As comparações a serem executadas demandam muitos recursos de processador e memória nas máquinas usadas devido à grande quantidade de informação a ser analisada. Para superar esse problema, realizou-se a paralelização do processo de comparação, a partir do processamento simultâneo de parte dos dados em diferentes máquinas. Dessa forma, foi possível diminuir os tempos de processamento e extrair as informações dos traços de mobilidade. Assim, os equipamentos utilizados foram duas máquinas, cada uma com 32 processadores Intel(R) Xeon CPU E5-2650 0 @ 2.00GHz e 64 GB de memória RAM.

3.2 Linha de Tempo

Nesta segunda etapa, o trabalho consiste basicamente em obter as linhas de tempo que descrevem o comportamento da vizinhança dos nós para os três cenários analisados. A Figura 3.3 ilustra a metodologia usada para a obtenção das linhas de tempo. O cálculo das linhas de tempo da vizinhança ocorre usando como entrada as informações dos contatos estabelecidos e organizados de forma cronológica. O método empregado para computar as linhas de tempo é através de uma série de cálculos matemáticos executados em forma sequencial, como é mostrado no Algoritmo 2. O algoritmo requer como entrada o traço de contatos e o número de nós da rede. Fundamentalmente, o algoritmo utiliza uma matriz de adjacências para registrar os eventos de aparecimento e desaparecimento de contatos entre pares de nós. A matriz de adjacências associa a cada um dos nós presentes na topologia uma identificação. Quando se registra um evento de aparecimento de um enlace entre um par de nós, o algoritmo adiciona um (1) na matriz de adjacências, considerando a identificação dos nós atribuída a priori. Da mesma maneira, a matriz de adjacências atualiza a posição com zero (0) quando um enlace desaparece. Cada evento registrado inicia um processo de atualização na matriz de adjacências que, como consequência, dispara um processo de cálculo de caminhos existentes na rede. O cálculo dos caminhos se dá a partir de um processo de multiplicação da matriz de adjacências por ela mesma de forma recursiva, com um limite de oito rodadas. O resultado de cada multiplicação permite determinar os caminhos existentes na rede entre nós que não tem contato direto, mas mesmo assim podem

Entrada: C, N // traço de contatos, número de nós
Saída : linha de tempo (LT)
inicialização; // todas as linhas de tempo são inicializadas com $\langle \infty, 0 \rangle$

```

while tamanho  $C \neq 0$  do
  |  $t_{atual}, i, j, evento =$  remoção da primeira tupla de  $C$ ;
  | if  $evento = UP$  then
  |   |  $M_{i,j} = 1$ ;
  |   |  $M_{j,i} = 1$ ;
  | end
  | if  $evento = DOWN$  then
  |   |  $M_{i,j} = 0$ ;
  |   |  $M_{j,i} = 0$ ;
  | end
  | for  $x \leftarrow 1$  to 8 do
  |   |  $M = M \times M$ 
  |   | for  $i \leftarrow 1$  to  $N$  do
  |   |   | for  $j \leftarrow 1$  to  $N$  do
  |   |   |   | if  $i \neq j$  then
  |   |   |   |   |  $d_{atual} =$  caminho mais curto( $i, j$ );
  |   |   |   |   | if  $d_{último} \neq d_{atual}$  then
  |   |   |   |   |   | anexa ( $d_{atual}, t_{atual}, V_i, V_j$ )to LT( $i, j$ );
  |   |   |   |   | end
  |   |   |   | end
  |   |   | end
  |   | end
  | end
end

```

Algoritmo 2: Algoritmo para geração de linha de tempo.

a análise da vizinhança. A caracterização avalia o comportamento das velocidades relativas dos veículos envolvidos nos contatos, assim como também, a duração dos tempos de contato ou tempos de permanência no raio de alcance mútuo. Em seguida, analisa-se a relação entre os tempos de contato e as velocidades relativas dos veículos. Para finalizar, a relação entre o comportamento da vizinhança e as velocidades relativas dos nós na hora do contato é avaliada.

Inicialmente o comportamento das velocidades relativas dos veículos envolvidos nos contatos registrados é analisado. O objetivo principal da caracterização é ter uma ideia do impacto que a velocidade dos nós apresenta no momento dos contatos, assim como também, determinar as velocidades relativas para as quais ocorrem o maior número de contatos. Os comportamentos das velocidades relativas se apre-

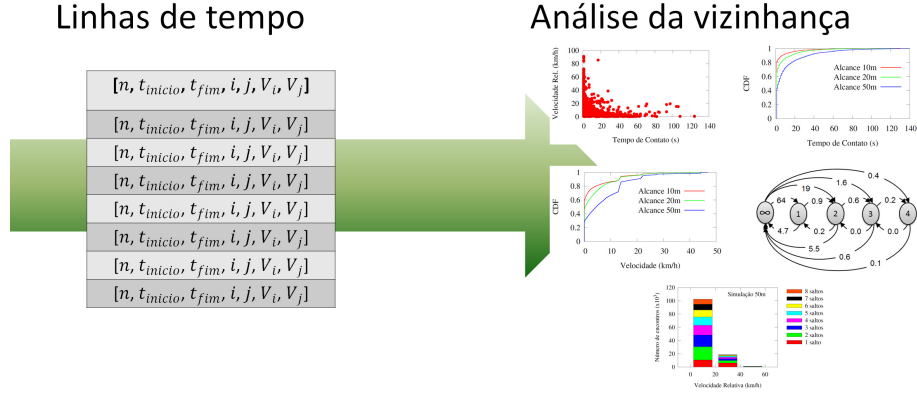


Figura 3.4: Etapas da metodologia usada para realizar a análise da vizinhança.

sentam em gráficos que mostram os diferentes raios de alcance estudados para cada um dos três cenários analisados.

A segunda etapa da análise caracteriza os tempos de contato entre os nós. A importância dessa etapa da análise consiste em determinar a duração dos contatos que surgem entre os pares de nós na topologia. Quando se pretende realizar comunicação em um ambiente tão dinâmico como o das redes veiculares, é necessário ter noção de quanto tempo se tem disponível para estabelecimento de um enlace ou caminho entre os nós. A caracterização dos tempos de contato se apresenta em gráficos que ilustram o comportamento dos diferentes raios de alcance estudados para cada um dos três cenários analisados.

A terceira etapa da análise caracteriza a relação entre os tempos de contato entre cada par de veículos e as velocidades relativas que eles têm no momento do contato. O estudo deste comportamento é fundamental para a análise, já que extrai informação sobre a influência direta que a velocidade relativa dos veículos exerce nos tempos que eles conseguem permanecer em contato. Para um bom aproveitamento dos contatos oportunistas, é importante conhecer como a velocidade influencia ou não a existência de enlaces em uma rede móvel. Dessa forma, é possível determinar se, de fato, se vale a pena tentar algum tipo de comunicação, assim como também, determinar diferenças de comportamento nos diferentes alcances estudados.

A última etapa da análise caracteriza a relação da k -vizinhança em função da velocidade relativa. Com o estabelecimento dessa relação é possível determinar para que faixas de velocidade a k -vizinhança tem um maior aproveitamento, para quais faixas o aproveitamento é mínimo e em que circunstâncias é quase nulo. Essa etapa também inclui os tempos médios de permanência em cada Estado entre pares de nós, o que permite ter uma visão mais ampla do comportamento da vizinhança nas análises realizadas. Em essência, o estudo realizado neste trabalho busca determinar se a comunicação oportunista a vários saltos de distância faz sentido quando a velocidade relativa dos nós é elevada. A informação proporcionada nesta etapa

permite formar uma ideia clara da validade ou não dessa premissa.

3.3.1 Probabilidades de transição entre Estados

A informação detalhada dos eventos nas linhas de tempo, como descrito anteriormente, pode ser utilizada para o estabelecimento das probabilidades de transição entre Estados no cenário analisado. As linhas de tempo contém a informação de cada evento entre cada par de nós, as probabilidades de transição entre Estados se determinam computando as mudanças de Estado registradas nos eventos armazenados de forma cronológica. Por exemplo, se nos registros das linhas de tempo o cálculo determina que ocorreram 50 transições de Estado infinito para Estado 1 de um total de 100 transições registradas, então a probabilidade de transição entre o Estado infinito e o Estado 1 nesse cenário será de 50%. Considerando sempre o limite de oito saltos analisado nesta dissertação. Dessa forma foram realizadas as análises das probabilidades de transição.

Capítulo 4

Conjuntos de Dados

Neste trabalho foram utilizados três traços de mobilidade, cada um deles com características distintas para diversificar a análise. As características de cada traço, assim como a forma de coletar os dados, são apresentadas a seguir.

4.1 Mobility Dataset

Este traço conta com registros de mobilidade de 536 táxis recolhidos ao longo de 30 dias na cidade de São Francisco, Califórnia – EUA. Cada táxi está equipado com um dispositivo de rastreamento GPS. Os dados de localização são transmitidos para uma estação de recepção e armazenados em um servidor central. O intervalo de tempo médio das atualizações é de aproximadamente 10 s [23]. Esse traço representa um cenário de movimentação real, no qual as rotas seguidas pelos veículos não se encontram previamente estabelecidas e nem tampouco possuem horário específico para transitar pela cidade. Os dados fornecidos nesse traço foram analisados em sua totalidade.

4.2 TAPASCologne Project

Traço gerado pelo Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão (ITS-DLR) com o objetivo de reproduzir a mobilidade veicular na área urbana da cidade de Colônia, na Alemanha. A simulação foi feita usando o banco de dados OSM (OpenStreetMap) para obter o traçado das ruas da área urbana de Colônia, o software SUMO (Simulation of Urban MObility) para a mobilidade microscópica de veículos, e a metodologia TAPAS (Travel and Activity PATterns Simulation) para construir as informações de demanda de tráfego. O traço sintético resultante reproduz de forma realista a mobilidade da cidade de Colônia, descrevendo mais de 700.000 viagens de veículos individuais com granularidade de

1 segundo [24]. Esse traço representa um cenário sintético que mostra o itinerário dos veículos na cidade de Colônia. Devido ao elevado tempo de processamento e ao grande consumo de memória resultantes da extensa quantidade de dados existentes no traço disponibilizado no site do projeto, este trabalho analisa 10 minutos do total de 2 horas de registros.

4.3 Ad Hoc City Dataset

Este traço contém registros da mobilidade de 1200 ônibus do sistema de ônibus de metrô da cidade de Seattle, Washington – EUA. Foram disponibilizados 5 dias da movimentação, onde cada ônibus atualiza sua localização 523 vezes por dia [25]. Esse traço mostra a movimentação real cumprida regularmente por uma frota de ônibus com caminhos pré-definidos para percorrer a cidade em horários estabelecidos. Por questões de limitação em tempos de processamento e consumo de memória, este trabalho analisa registros de 2 dias do total de 5 dias disponibilizados.

Capítulo 5

Resultados da Análise da Vizinhança

A análise da vizinhança utiliza três distâncias diferentes para definir o raio de alcance máximo entre pares de nós. As distâncias de 10, 20 e 50 m são utilizadas para avaliar o impacto do raio de alcance nos resultados. Vale mencionar que o raio de alcance é considerado fixo, pois essa informação não consta nos conjuntos de dados utilizados. Além disso, como cada traço (Capítulo 4) constitui um cenário distinto para a análise, os resultados são identificados segundo o cenário e o raio de alcance utilizado. Assim, o primeiro conjunto de resultados engloba o cenário nomeado como “Táxis”, o segundo utiliza o cenário “Sintético” e o último conjunto adota o cenário “Ônibus”. Os cenários foram nomeados segundo o tipo de veículo que compõe sua topologia e são referentes aos conjuntos de dados Mobility Dataset, TAPASCologne Project e Ad Hoc City Dataset, respectivamente. A análise foi realizada em quatro etapas, a primeira delas caracteriza a distribuição das velocidades relativas dos veículos para os três cenários estudados com os três raios de alcance considerados. De igual forma, a segunda etapa analisa a distribuição dos tempos de contato para cada um dos casos. Já na terceira etapa se realiza a análise da velocidade relativa em função dos tempos de contato. Finalmente, a quarta etapa mostra o estudo da k -vizinhança em função da velocidade relativa. Os resultados da análise em cada uma das etapas para cada cenário são apresentados nas seções a seguir.

5.1 Distribuição das Velocidades

O objetivo desta análise é conhecer as velocidades dos nós no instante que o contato ocorre. Esses dados permitem ter uma ideia das velocidades para as quais um maior número de contatos ocorre. Os resultados das análises para os três raios

de alcance estudados em cada um dos cenários são apresentados a seguir.

5.1.1 Cenário Taxis

A caracterização das distribuições das velocidades relativas para o cenário Táxis é mostrada na Figura 5.1. Observa-se que não há mudanças significativas quando se varia o raio de alcance máximo. Para os três raios de alcance analisados o comportamento é quase igual, ao ponto das curvas estarem sobrepostas praticamente em todo o gráfico. Para esse cenário, os raios de alcance máximo não proporcionam mudanças significativas no comportamento das velocidades relativas dos veículos na hora do contato. Além disso, a maioria dos veículos que estabelecem contatos são vistos a baixas velocidades relativas, sendo que aproximadamente 90% dos contatos ocorrem para velocidades relativas inferiores a 20 km/h. Os 10% restantes dos veículos em contato se movem a velocidades relativas superiores a 20 km/h. Isso é um indicador claro que a maioria dos contatos acontece quando as velocidades relativas dos veículos são relativamente baixas. Esses resultados são válidos para as três distâncias estudadas. Ressalta-se que o limite superior das velocidades relativas dos veículos registradas no momento do contato não supera os 200 km/h.

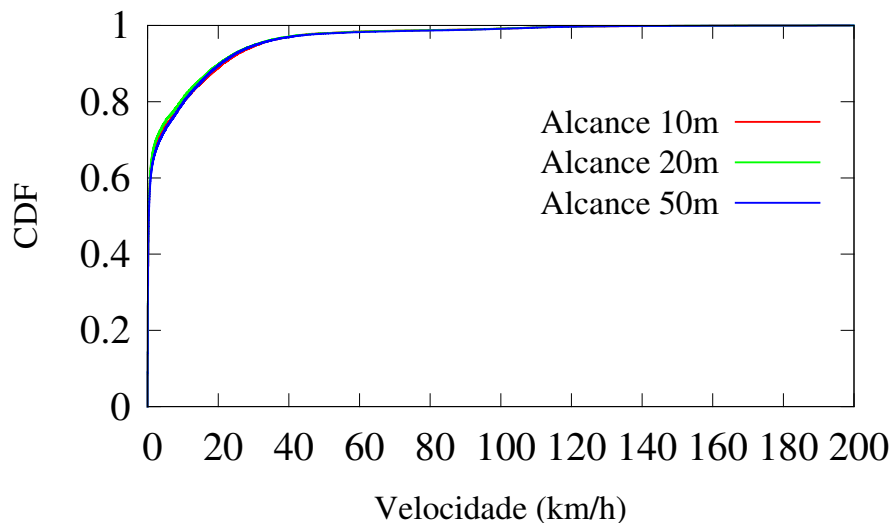


Figura 5.1: Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário dos Táxis.

5.1.2 Cenário Sintético

A caracterização das distribuições da velocidade relativa para o cenário Sintético é visto na Figura 5.2. Para este cenário, as velocidades relativas máximas dos veículos no instante do contato não são superiores a 50 km/h, o que pode ser entendido como uma consequência das limitações dos cenários urbanos. Nota-se que o

aumento do raio de alcance provoca o aparecimento de contatos a velocidades relativas maiores. Dito de outro modo, para 60% dos contatos acontecidos nos diferentes raios de alcance é possível observar que, para o alcance de 10 m todas as velocidades relativas são de 0 km/h, ou seja, os contatos acontecem entre veículos parados entre si. Para o alcance de 20 m, existe uma pequena porcentagem de veículos em contato que não estão parados. Já para o alcance de 50 m existe uma maior porcentagem de contatos com veículos em movimento, registrando velocidades relativas maiores, que estão perto dos 10 km/h. Esse fato também é consequência da maior densidade de carros no cenário, que favorece o aparecimento de contatos de um único e de múltiplos saltos. Contudo, aproximadamente 90% dos veículos em contato se movimentam a velocidades relativas menores que 20 km/h, nos três raios de alcance avaliados.

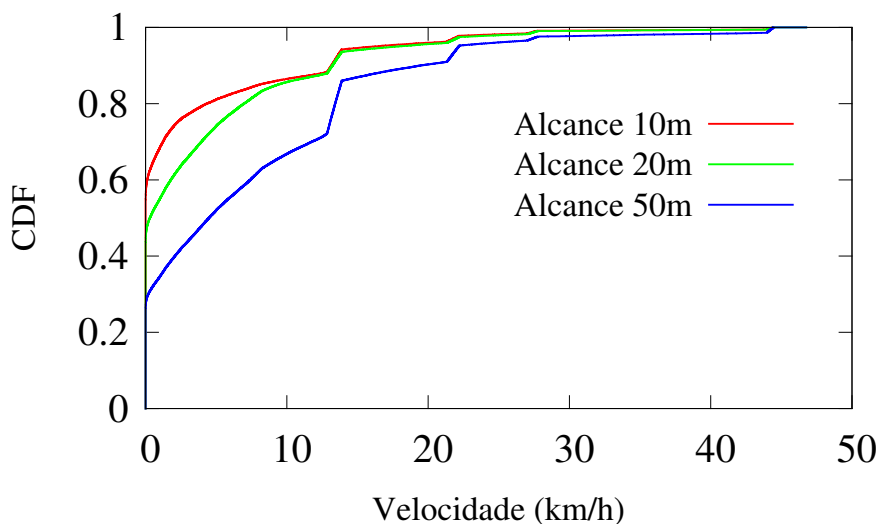


Figura 5.2: Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário Sintético.

5.1.3 Cenário Ônibus

A caracterização das distribuições da velocidade relativa para o cenário Ônibus é ilustrado na Figura 5.3. O comportamento desse cenário é similar ao cenário Sintético, uma vez que o aumento do raio de alcance implica um maior número de contatos a velocidades relativas maiores. Neste cenário, as velocidades relativas máximas em que ocorrem contatos não superam os 100 km/h. Essa diferença pode ser justificada a partir da menor densidade de veículos no cenário. Novamente, observa-se que a maior porcentagem dos veículos estabelece contatos a baixas velocidades relativas nas três distâncias estudadas.

O comportamento das velocidades relativas nos três cenários para diferentes distâncias permite conhecer quais são as velocidades desenvolvidas pelos veículos no

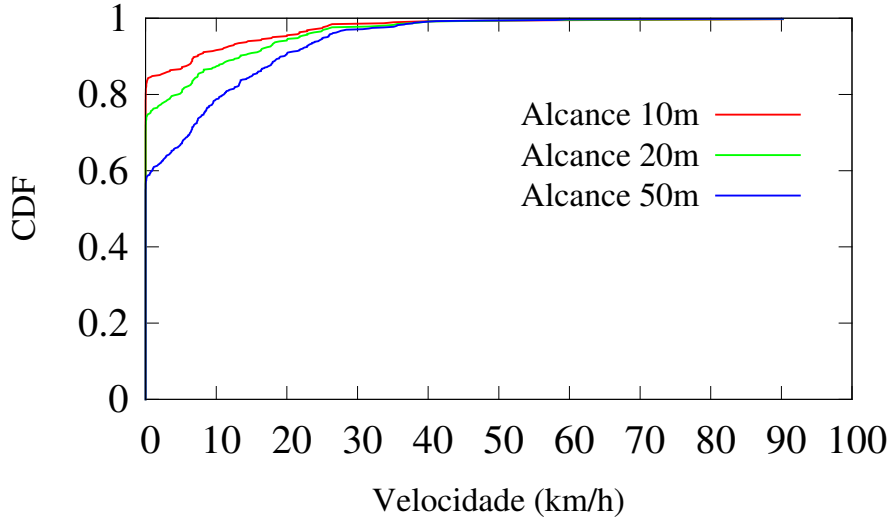


Figura 5.3: Distribuição das velocidades relativas dos veículos no cenário Ônibus.

momento de contato. A avaliação desse comportamento permite concluir que, nos três cenários, 90% dos contatos entre os nós acontecem a velocidades relativas menores do que 20 km/h, e apenas 10% ocorrem em velocidades relativas superiores.

5.2 Distribuição dos Tempos de Contato

Esta análise visa caracterizar as distribuições dos tempos de contato entre os nós para cada um dos cenários estudados. A análise é feita para os três raios de alcance anteriormente definidos (10, 20 e 50 m). Através dessa caracterização, é possível conhecer o tempo de duração dos contatos entre os nós. Com essa informação, é possível estabelecer o tempo máximo aproveitável para realizar comunicação através dos contatos oportunistas entre os nós nas diferentes topologias estudadas.

5.2.1 Cenário Táxis

A caracterização das distribuições dos tempos de contato para o cenário Táxis é mostrada na Figura 5.4. De igual forma que na análise anterior, o cenário Táxis mostra um comportamento muito semelhante nas distribuições dos tempos de contato para os três raios de alcance estudados. Pode-se observar que a maioria dos tempos de contato não supera os 600 s. Nesse cenário existem muitos tempos de contato longos entre veículos com pouca ou nenhuma mobilidade. Acredita-se que esses resultados refletem bem o comportamento dos táxis que se movimentam pelas ruas, uma vez que eles permanecem muito tempo parados em zonas específicas da cidade, enquanto aguardam passageiros. Os resultados na Figura 5.4 mostram uma pequena parcela de tempos de contato superior a 1800 s, referentes aos registros de

veículos com mobilidade quase nula.

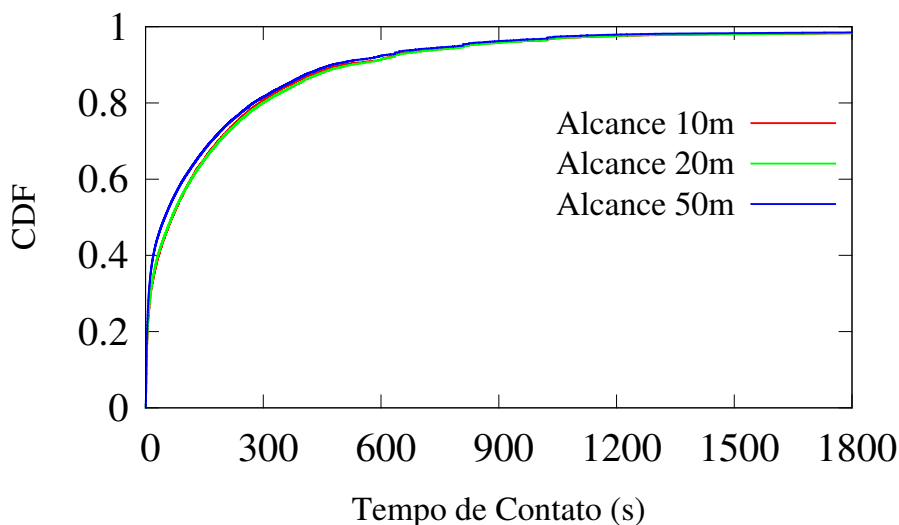


Figura 5.4: Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Táxi.

5.2.2 Cenário Sintético

Diferentemente dos outros traços, o cenário Sintético fornece informação detalhada sobre as localizações e velocidades dos veículos com uma granularidade de 1 segundo. Dessa forma, é possível obter os tempos de contato entre os nós com maior exatidão, com a particularidade que o tempo mínimo registrado para cada contato será de 1 segundo. A Figura 5.5 apresenta a caracterização das distribuições dos tempos de contato desse cenário, ressaltando a particularidade exposta anteriormente. Nessa figura, verifica-se que o aumento do raio acarreta em uma maior porcentagem de tempos de contato com maior duração devido aos veículos permanecerem mais tempo dentro da zona de alcance mútuo. Pode-se observar que o tempo máximo de contato entre qualquer par de veículos não supera os 140 s.

5.2.3 Cenário Ônibus

O cenário Ônibus exibe um comportamento singular para os resultados obtidos. Existem poucos contatos e a maioria deles ocorre entre veículos que estão parados. A caracterização das distribuições dos tempos de contato é mostrada na Figura 5.6. É possível observar que os contatos entre os veículos parados têm uma duração aproximada de 1200 s, sendo este o maior tempo de contato registrado. Ao variar o raio, a ocorrência de contatos também aumenta, mas o número de encontros entre veículos permanece baixo. Acredita-se que esses resultados representam de forma confiável o comportamento do tráfego de ônibus pelas ruas, uma vez que esses veículos possuem horários e rotas pré-estabelecidos, dificultando o estabelecimento

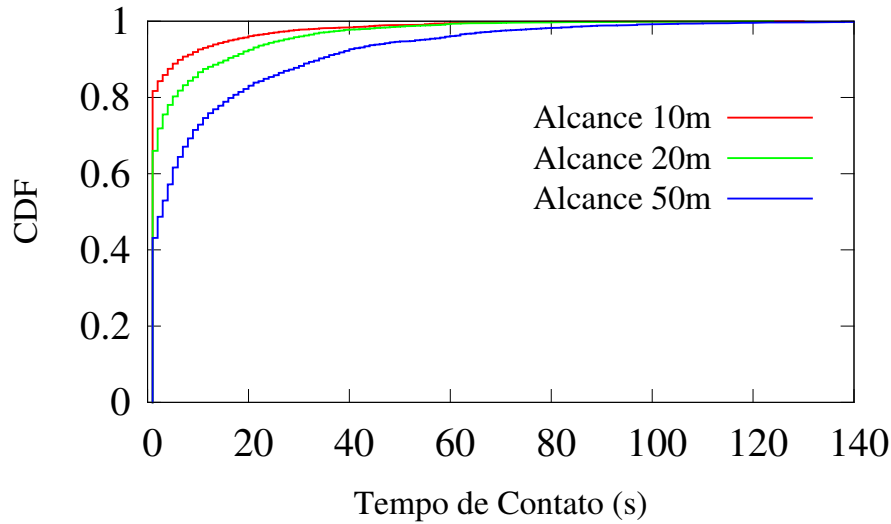


Figura 5.5: Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Sintético.

de contatos entre eles durante movimento. Por outro lado, há também aumento dos tempos de contato quando estão parados na estação final.

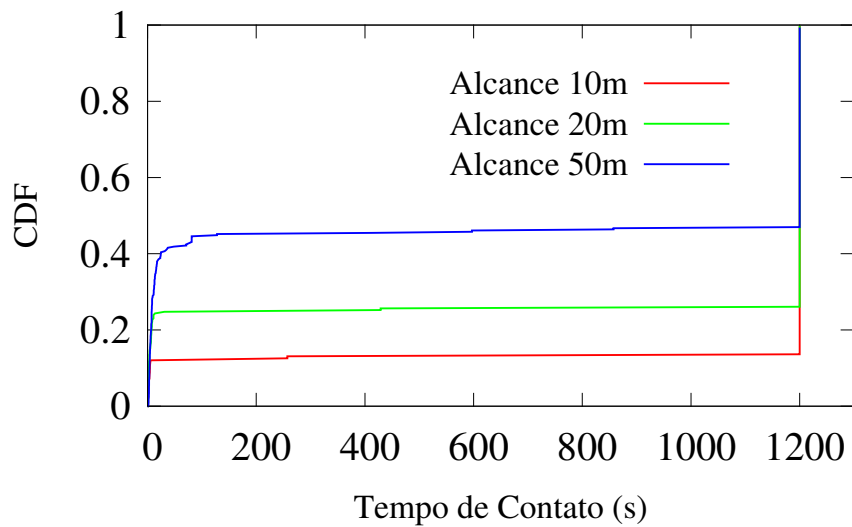


Figura 5.6: Distribuição dos tempos de contato entre veículos no cenário Ônibus.

A partir da análise realizada conclui-se que a frequência de ocorrência e a duração dos contatos variam muito em função da topologia representada pelo cenário. Essa variação acontece devido às diferenças na dinâmica de comportamento dos veículos.

5.3 Velocidade Relativa e Tempos de Contato

A análise seguinte foi realizada com a finalidade de investigar o comportamento da velocidade relativa dos veículos em função do tempo de contato entre eles. Essa análise é importante para determinar em que circunstâncias o aproveitamento da

k -vizinhança a múltiplos saltos fornece oportunidades reais de comunicação entre os veículos da topologia. Além disso, é possível observar a influência da velocidade nos tempos de contato entre nós. Os resultados das análises para os três raios de alcance estudados em cada um dos cenários são apresentados a seguir.

5.3.1 Cenário Táxis

Neste cenário o comportamento da velocidade relativa dos veículos em função do tempo de contato entre eles mostra um comportamento muito similar para os três raios de alcance estudados. Na Figura 5.7, que ilustra o alcance de raio de 10 m, observa-se que quanto maior a velocidade relativa entre os nós, mais curtos são os tempos de contato entre eles. Do mesmo modo, para o raio de alcance de 20 m, ilustrado na Figura 5.8, o comportamento é idêntico ao da figura anterior. A única diferença que existe é a quantidade de encontros entre os veículos no cenário, como é mostrado na Tabela 5.1. Esse comportamento é esperado, já que o aumento da distância proporciona um maior número de contatos, devido a densidade do cenário. De igual forma, para o raio de alcance de 50 m, mostrado na Figura 5.9, o comportamento é exatamente igual aos anteriores. Logo, além da probabilidade de estabelecimento de contatos a altas velocidades relativas ser pequena, uma vez estabelecidos, eles apresentam curta duração. Velocidades relativas mais baixas acarretam contatos mais longos, possibilitando um melhor aproveitamento da vizinhança.

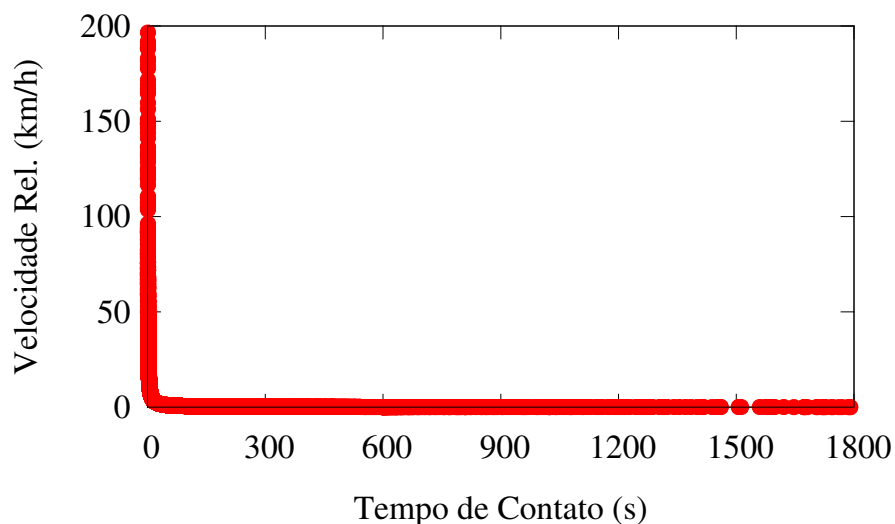


Figura 5.7: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Táxis. Alcance 10 m.

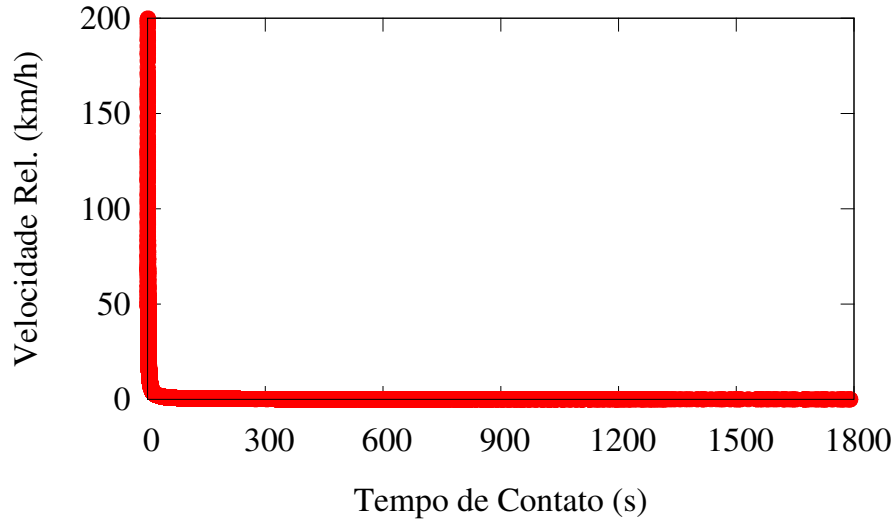


Figura 5.8: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Táxis. Alcance 20 m.

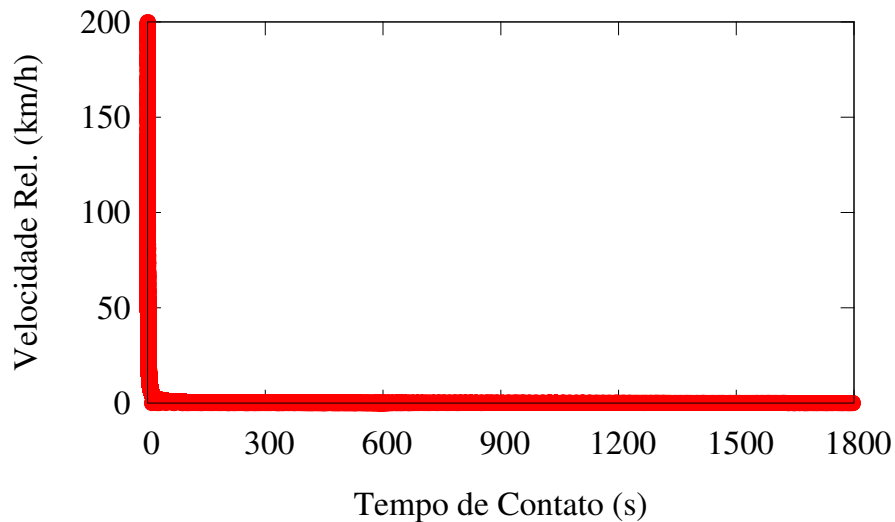


Figura 5.9: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Táxis. Alcance 50 m.

5.3.2 Cenário Sintético

Para o cenário Sintético o comportamento da velocidade relativa dos veículos em função do tempo de contato mostra algumas diferenças para os três raios de alcance estudados. Com o raio de alcance de 10 m, visto na Figura 5.10, há um maior número de pontos em que os contatos com duração significativa ocorrem a velocidades relativas elevadas. Esse mesmo comportamento é observado na Figura 5.11, que representa o raio de alcance de 20 m. Já na Figura 5.12, que representa o raio de alcance de 50 m, o número de nós com velocidade relativa e tempo de contato mais elevados é maior, devido a alta densidade do cenário. Esse resultado é esperado visto que o maior raio permite um aumento no número de vizinhos.

Tabela 5.1: Número de contatos entre os nós do cenário Táxis para os três raios de alcance estudados.

Traço	Distância(m)	Número de contatos
Taxis	10	9503
	20	24520
	50	73397

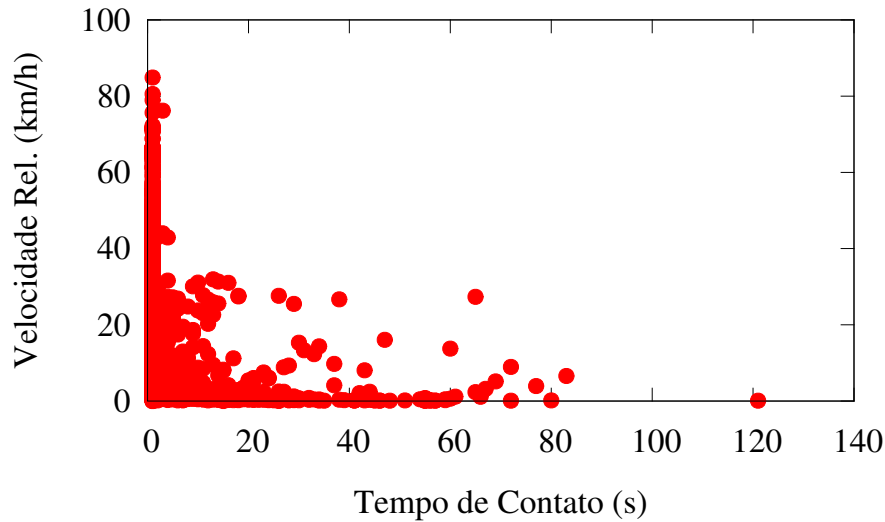


Figura 5.10: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Simulação. Alcance 10 m.

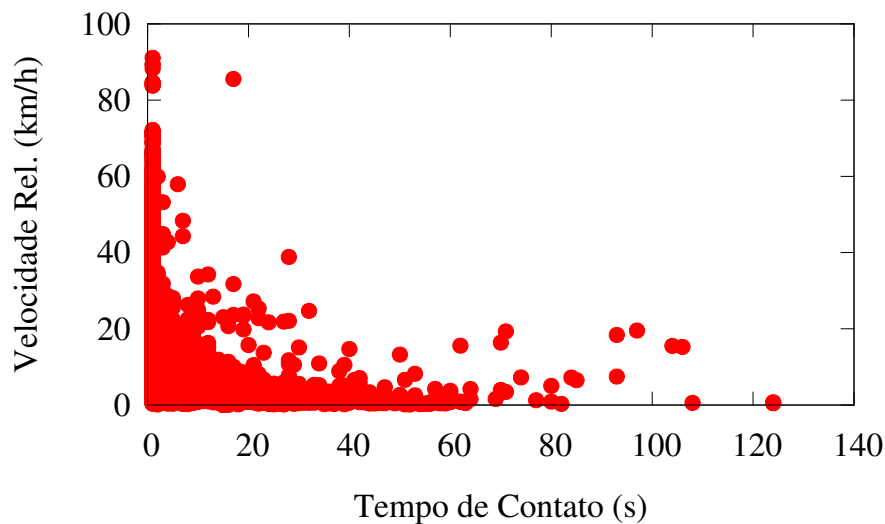


Figura 5.11: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Simulação. Alcance 20 m.

Novamente, o aumento no raio de alcance se traduz em maior número de contatos entre nós a diferentes velocidades relativas. Contudo, mesmo existindo contatos

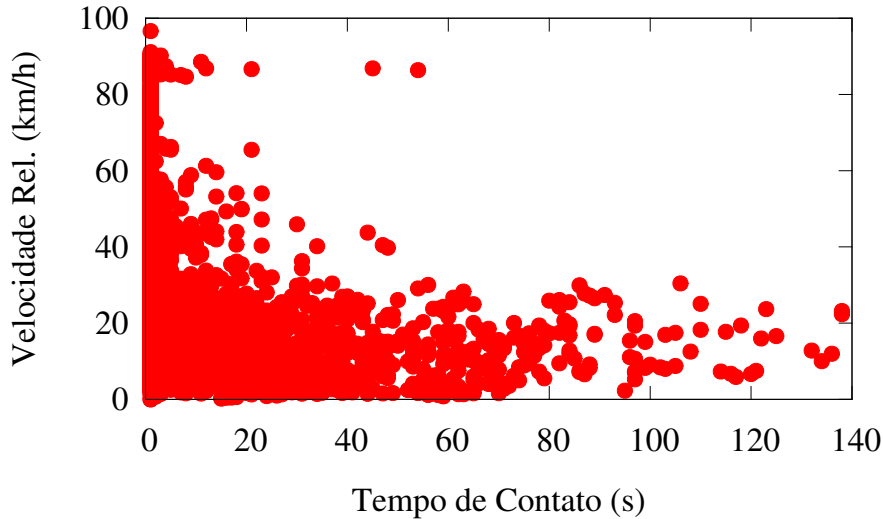


Figura 5.12: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Simulação. Alcance 50 m.

duradouros a altas velocidades relativas, a tendência observada nos três cenários estudados é uma maior duração dos tempos de contato para velocidades relativas baixas, enquanto para altas velocidades relativas essa duração diminui.

5.3.3 Cenário Ônibus

No cenário Ônibus a análise do comportamento da velocidade relativa dos veículos em função do tempo de contato entre eles se caracteriza pelos poucos encontros entre os veículos, devido a baixa densidade do cenário. A Figura 5.13, que representa o raio de alcance de 10 m, registra só alguns pontos de encontro com velocidades relativas acima de zero, mas sem duração significativa. Somente um par de pontos mostra contatos entre veículos com alguma duração, mas sem velocidade relativa, quer isto dizer que se encontram parados entre si. Para o raio de alcance de 20 m, ilustrado na Figura 5.14, percebe-se um maior número de encontros com as mesmas características da figura anterior. Da mesma forma, a Figura 5.15, que ilustra o raio de alcance de 50 m, tem um comportamento semelhante aos anteriores. Em síntese, para os três casos, é notório que o tempo de contato entre os nós tende a aumentar para velocidades relativas menores e raios de alcance, mesmo em cenários com uma menor quantidade de veículos.

A análise da velocidade relativa em função do tempo de contato demonstra que as melhores oportunidades para aproveitamento da k -vizinhança concentram-se a baixas velocidades, quando os contatos são mais longos. A pouca movimentação em velocidades baixas caracteriza tipicamente situações de engarrafamento. Veículos que se movimentam a altas velocidades tendem a apresentar contatos com duração mais curta, contribuindo pouco para o aproveitamento da vizinhança em comuni-

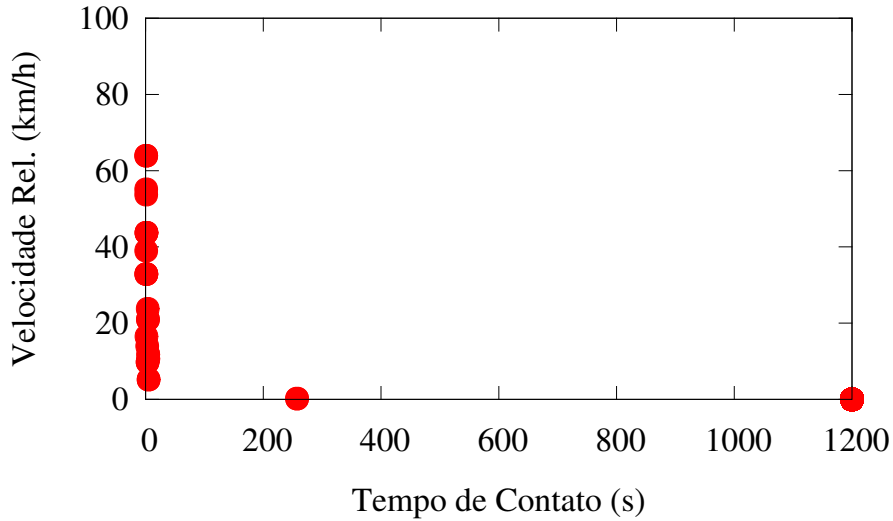


Figura 5.13: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 10 m.

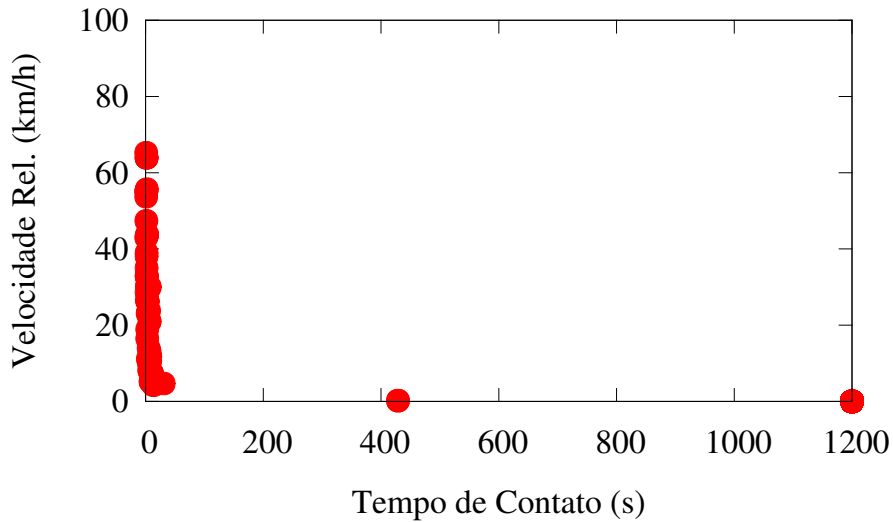


Figura 5.14: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 20 m.

cações em redes ad hoc móveis. Essa característica evidencia que as oportunidades de contato a velocidades mais altas devem ser rapidamente aproveitadas, devendo-se evitar o desperdício de tempo com dados de controle para encaminhamento da informação.

5.4 k -Vizinhança em Função da Velocidade

Por fim, caracteriza-se o comportamento da k -vizinhança em função da velocidade relativa dos nós. Para isso, calcula-se o número de contatos que ocorrem para um mesmo k em cada uma das velocidades. A análise é realizada para uma distân-

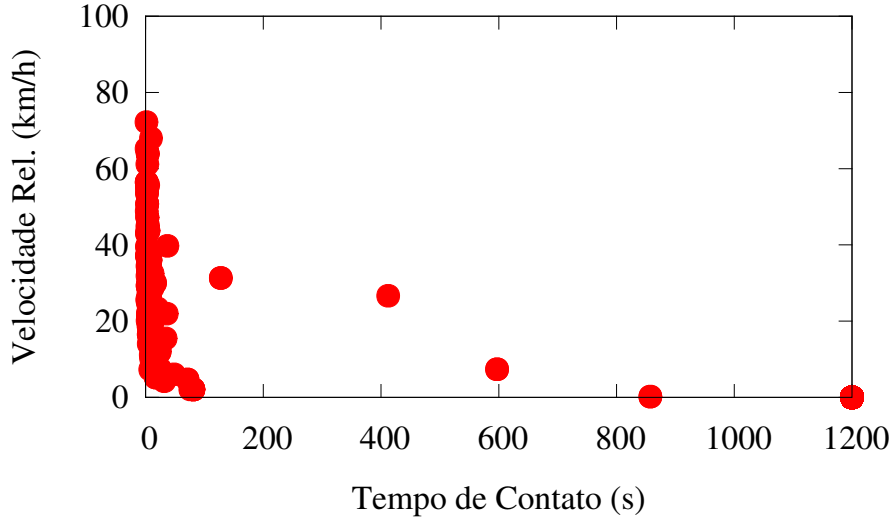


Figura 5.15: Velocidade relativa *vs.* tempo de contato cenário Ônibus. Alcance 50 m.

cia de até oito saltos, em diferentes faixas de velocidade para cada um dos cenários estudados.

5.4.1 Cenário Táxis

Neste cenário, a Figura 5.16 mostra que os nós tendem a estabelecer um número maior de contatos a velocidades relativas mais baixas, para um alcance de 10 m. Além disso, o maior número de contatos ocorre a um salto de distância. Pode-se observar que conforme há um aumento da velocidade relativa dos nós, há uma redução do número de encontros, o que é consistente com os resultados anteriores (Seção 5.1). Para o alcance de 20 m, visto na Figura 5.17, o número de encontros aumenta, sobretudo para faixas de velocidades relativas maiores, mas o número de encontros a um salto continua mais significativo. Para o alcance de 50 m, ilustrado na Figura 5.18, novamente existe um crescimento considerável do número de contatos em velocidades mais altas, consequentemente com a densidade do cenário. Contudo, mesmo com esse crescimento mostrado nas distâncias de 20 e 50 m, a tendência de um maior número de encontros a um salto de distância prevalece sobre qualquer outro.

5.4.2 Cenário Sintético

O comportamento da k -vizinhança em função da velocidade relativa dos nós no cenário Sintético se altera um pouco. Para a distância de 10 m, mostrada na Figura 5.19, o maior número de contatos sempre é registrado para velocidades relativas menores do que 20 km/h. Da mesma forma, para a distância de 20 m, ilustrada na

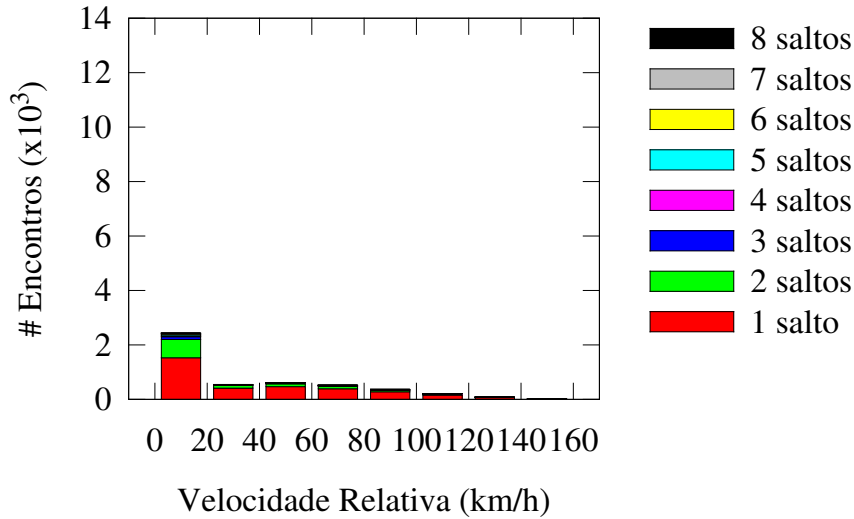


Figura 5.16: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxis. Alcance 10m.

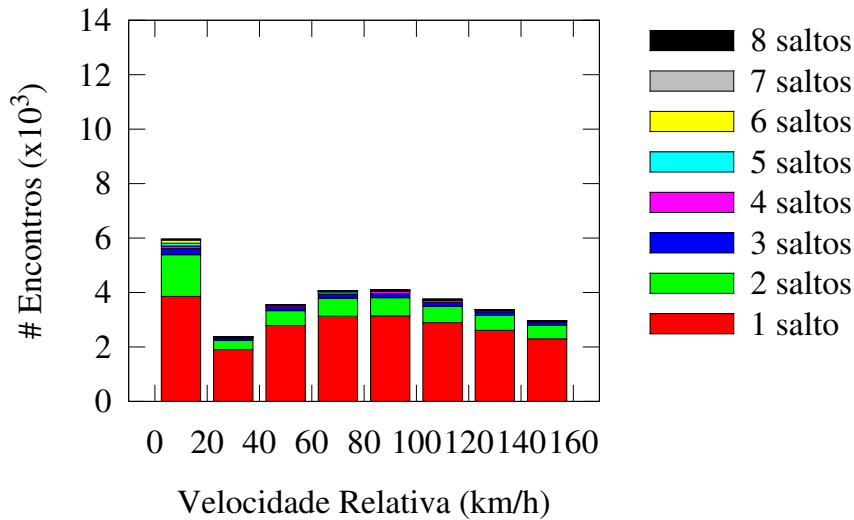


Figura 5.17: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxis. Alcance 20m.

Figura 5.20, essa tendência é mantida. Embora apareça um número considerável de contatos para velocidades maiores na distância de 50 m, como é mostrado na Figura 5.21, a tendência é a mesma. Além disso, a frequência dos estados com maior número de saltos se torna mais significativo conforme aumenta o alcance, pela alta densidade do cenário. Essa presença expressiva de estados com maior número de saltos induz a falsa impressão de que o alcance da k -vizinhança em redes veiculares engloba múltiplos saltos consecutivos. Porém, ao aumentar a velocidade, o número de encontros a múltiplos saltos diminui consideravelmente e, apesar de também ser reduzido, o número de contatos a um salto torna-se mais significativo.

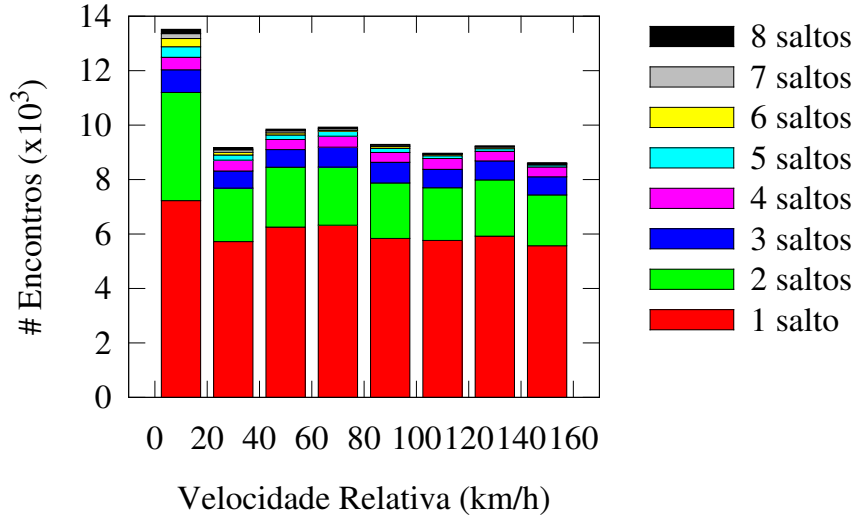


Figura 5.18: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Táxi. Alcance 50m.

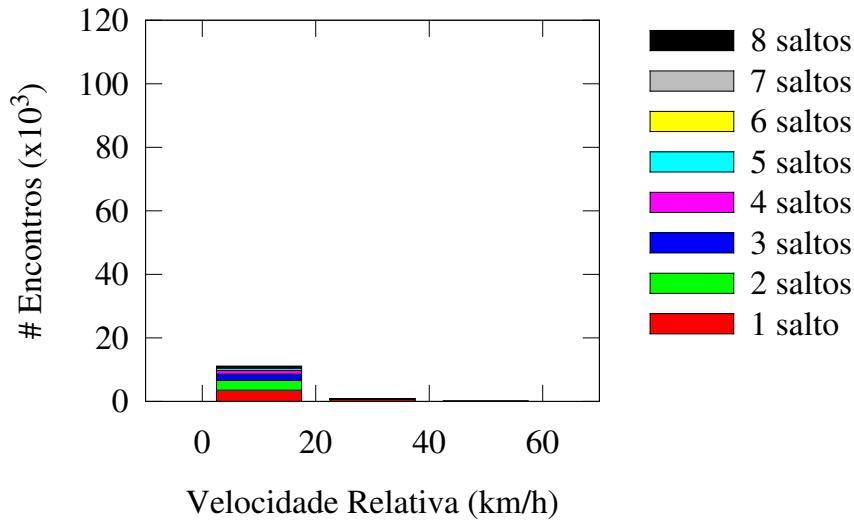


Figura 5.19: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 10m.

5.4.3 Cenário Ônibus

O comportamento da k -vizinhança em função da velocidade relativa dos nós no cenário Ônibus mostra uma diferença mais significativa no alcance da vizinhança, comparado com os cenários anteriores.

Para os três alcances estudados, 10, 20 e 50 m, ilustrados nas Figuras 5.22, 5.23 e 5.24, respectivamente, a análise feita para uma distância máxima de 8 saltos retorna registros de contatos somente de até 4 saltos de distância. Esse comportamento obedece tanto aos poucos encontros existentes entre os ônibus durante o estudo realizado, quanto à baixa densidade do cenário. De forma semelhante ao cenário Táxi, a maioria dos encontros registrados ocorre a 1 salto de distância, sendo

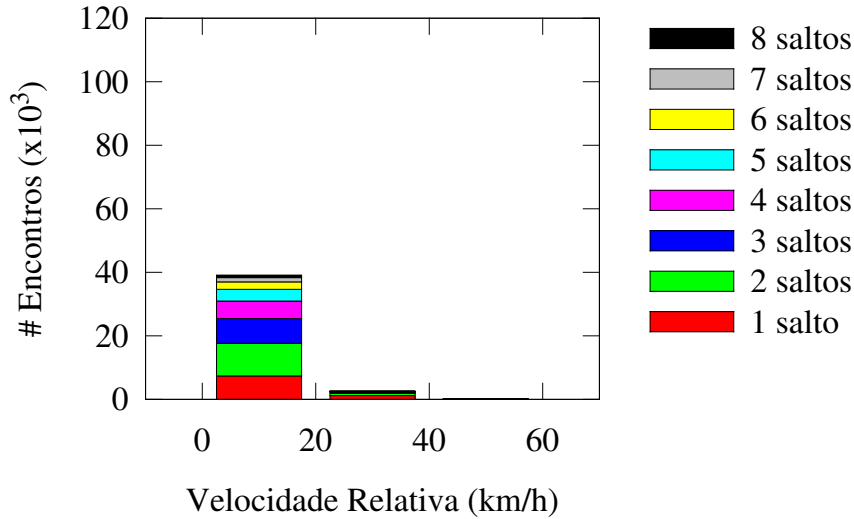


Figura 5.20: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 20m.

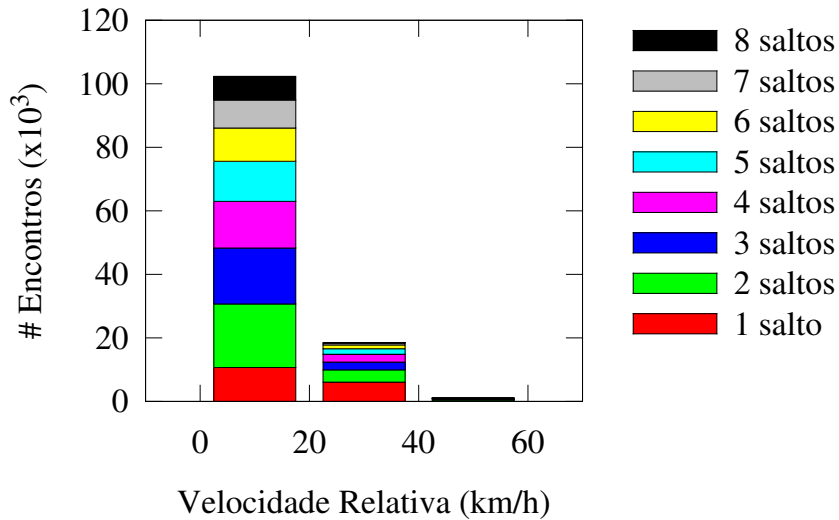


Figura 5.21: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Sintético. Alcance 50m.

pouco significativo o número de contatos a distâncias maiores. Observa-se ainda que conforme a velocidade relativa dos nós aumenta, o número de contatos diminui substancialmente.

A caracterização da k -vizinhança em função da velocidade relativa dos nós para os três cenários estudados mostra um crescimento do número de encontros quando o raio de alcance é maior. Do mesmo modo existe uma diminuição do número de encontros conforme a velocidade aumenta. Observa-se que prevalece um maior número de encontros a 1 salto de distância, sobretudo para cenários com densidades menores. Para o cenário mais denso, observa-se uma presença significativa de estados com elevado número de saltos a baixas velocidades. Contudo, conforme a velocidade

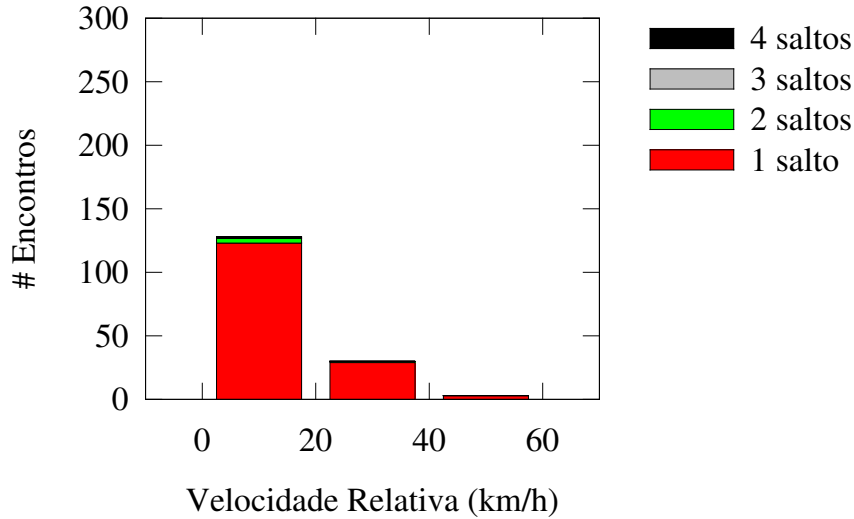


Figura 5.22: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 10m.

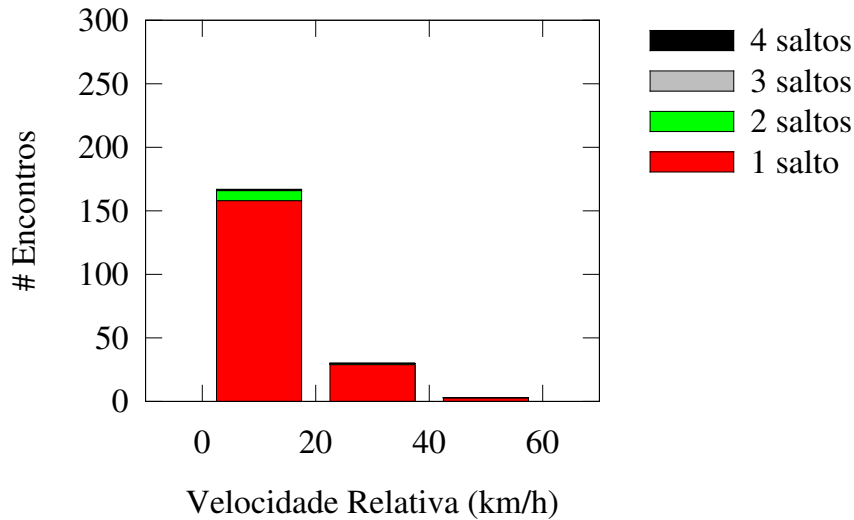


Figura 5.23: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 20m.

aumenta predomina a tendência de maior número de contatos diretos entre nós.

Os resultados obtidos são reforçados pela análise dos tempos médios de permanência em cada Estado entre pares de nós. A Tabela 5.2 mostra os tempos médios de permanência em cada Estado para os três cenários estudados de cada um dos raios de alcance analisados. Pode-se observar na tabela que os contatos com maior duração tendem a ocorrer para os pares de nós no Estado 1, ou seja, para os pares de nós que estabelecem contato direto. Para os outros Estados o tempo médio de permanência é menor e diminui conforme aumenta a distância. Dessa forma, se minimizam as probabilidades de aproveitamento da k -vizinhança a múltiplos saltos.

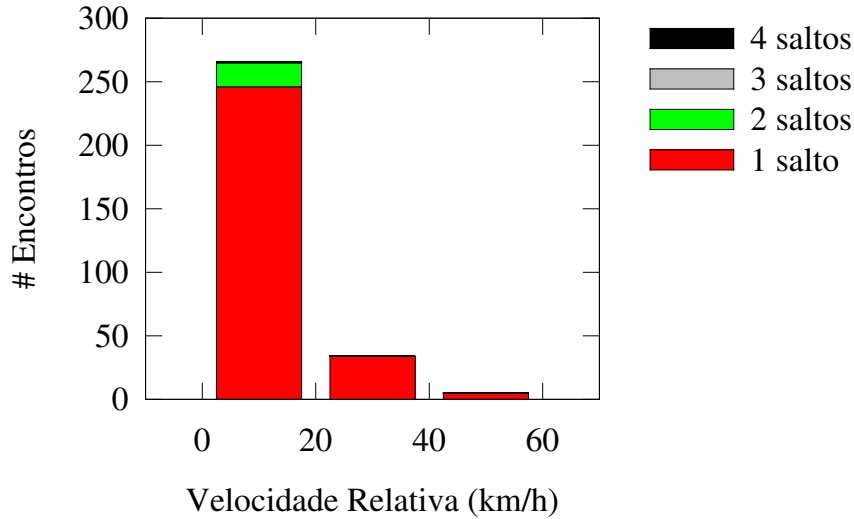


Figura 5.24: k -vizinhança em função da velocidade relativa para o cenário Ônibus. Alcance 50m.

Tabela 5.2: Tempo médio de permanência em cada estado em segundos.

Traços	Dist.(m)	Estado								
		∞	1	2	3	4	5	6	7	8
Taxis	10	126924	165	44	11	5	2	1	1	1
	20	265117	926	385	231	179	145	120	103	86
	50	435689	2635	859	521	468	326	265	195	150
Sintético	10	13,8	5,5	2,6	2,1	1,7	1,3	1,1	0,9	1
	20	7,8	6	1,7	1,1	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3
	50	5,9	9,5	2,1	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Ônibus	10	5131	965	518	0,4	0,1	-	-	-	-
	20	4925	779	521	0,3	0,1	-	-	-	-
	50	4506	541	533	1,45	0,2	-	-	-	-

Em termos gerais, segundo a análise realizada nos três cenários estudados, conclui-se que a velocidade influencia negativamente os tempos de contato entre os nós, ou seja, a maiores velocidades relativas se apresentam menores tempos de contato. A grande maioria dos contatos entre nós registra-se a baixas velocidades. Quando as velocidades relativas aumentam os contatos são de curta duração. A análise da vizinhança mostra um maior número de contatos a distâncias curtas, especialmente a 1 salto, sendo poucas as probabilidades de aproveitamento da k -vizinhança a múltiplos saltos, principalmente quando a velocidade relativa dos nós é consideravelmente alta.

Capítulo 6

Estudo de Caso: Colônia

A fim de confirmar o estudo realizado sobre o aproveitamento da k -vizinhança em um cenário simulado, os procedimentos de inundação do OLSR foram avaliados. A ideia é verificar se existe realmente necessidade de inundar periodicamente redes nas quais os nós são móveis e entram em contato, na maioria dos casos, a distâncias de um salto. Em outras palavras, questiona-se a necessidade real de se utilizar $TTL = 255$ para os pacotes de controle, que podem não alcançar vizinhos mais distantes, e mesmo que o façam, provavelmente resultarão na formação de caminhos que em pouco tempo deixarão de ser válidos. Vale lembrar que o OLSR foi escolhido por utilizar procedimentos de inundação, mas qualquer outro protocolo que apresente essa mesma característica poderia ser usado. O procedimento de inundação do OLSR de mensagens de controle de topologia foi cancelado através do uso do TTL com valor 1. Dessa forma apenas os vizinhos do nó recebem suas mensagens de controle. Nas simulações, o traço sintético, disponibilizado pelo projeto TAPASCologne, foi utilizado no simulador de redes NS-3, versão 3.20. Atualmente, o NS-3 implementa módulos relacionados ao padrão IEEE 802.11p, desenvolvido especialmente para a comunicação entre veículos, possibilitando uma simulação mais realista para o cenário das redes veiculares. Além disso, esse simulador permite a escolha de parâmetros de modelagem do meio sem-fio, como atenuação e atraso de propagação do canal, potência de transmissão, limiar de recepção e frequência de operação dos dispositivos móveis. Por esses motivos o NS-3 foi utilizado. O traço de Colônia completo apresenta 2h de informação, tendo sido dividido em 12 partes de 10 minutos cada. Na análise do Capítulo 5, os primeiros 10 min foram utilizados. Esse subconjunto de dados é representativo do comportamento geral dos veículos no cenário, pelo qual é possível obter resultados conclusivos simulando parcialmente os dados do traço de mobilidade. Assim, como o comportamento das métricas avaliadas permanece aproximadamente constante para um subconjunto representativo do cenário, o traço contendo 10 minutos foi subdividido em regiões menores utilizando as coordenadas x , y do mapa como parâmetro. Escolheu-se uma área de aproximadamente $4,8 \text{ km}^2$,

contendo 688 nós, que se movem pela região durante 10 minutos. Esse traço foi então utilizado para a simulação, na qual o protocolo de roteamento OLSR foi instalado em cada um dos nós.

6.1 Parâmetros de Simulação

Os parâmetros de configuração da camada física e os atributos dos modelos de propagação foram escolhidos com base nos trabalhos de [26–30]. Esses parâmetros foram modificados para se adequarem à realidade do cenário urbano, conforme valores típicos do padrão IEEE 802.11p, que limita a EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) dos dispositivos a 23, 33 ou 44,8 dBm, dependendo da sua classificação. Com uma potência de transmissão de 23 dBm, ganho de antena nulo e sem inclusão de perdas no equipamento transmissor, a EIRP de cada nó é igual a 23 dBm, simulando o pior caso de limitação superior. A sensibilidade do receptor foi configurada para -95 dBm, tendo sido definida com base na sensibilidade de produtos disponíveis no mercado e em conformidade com os padrões internacionais do IEEE para redes veiculares [31]. Essa sensibilidade varia entre -90 dBm e -99 dBm de um produto para outro. A frequência de operação foi configurada para 5,9 GHz, estando dentro da faixa padronizada para uso em redes veiculares. O canal de comunicação foi modelado para se adequar ao ambiente urbano. Para tanto, foi utilizado o modelo de propagação Nakagami-m, que permite modelar o desvanecimento rápido em um canal sem-fio, em conjunto com o 3-Log-Distance, que permite que sejam definidos expoentes de atenuação distintos por faixa de distância entre transmissor e receptor, conforme ilustrado pela Figura 6.1.

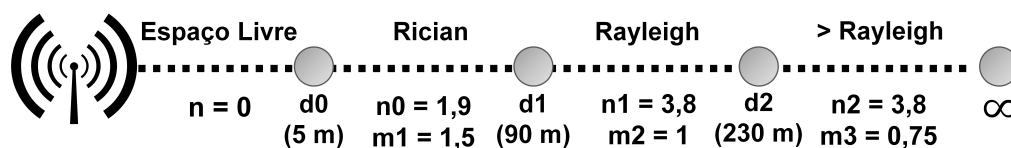


Figura 6.1: Representação das regiões influenciadas pela atenuação e pelo desvanecimento, e valor dos parâmetros dos modelos de propagação Nakagami-m e 3-Log-Distance.

Nessa figura, “ d_i ” é a distância a partir da qual (ou até a qual) os parâmetros “ m_i ” e “ n_i ” são válidos, sendo “ n_i ” o expoente de atenuação para o modelo 3-Log-Distance e “ m_i ” o parâmetro de forma do modelo Nakagami-m. Essa combinação permite modelar um canal com presença de desvanecimento rápido e com atenuação variável em função da distância. No modelo de propagação 3-Log-Distance a perda de referência foi configurada em 61,84 dB, considerando a frequência de operação de 5,9 GHz e o alcance de 5m para comunicação em espaço livre. A essa distância,

no cenário das redes veiculares em ambiente urbano, as perdas do canal se devem principalmente à atenuação em espaço livre $m \approx 4,07$ [26] (“conjunto de dados 1”).

Tabela 6.1: Parâmetros de simulação.

Parâmetros PHY / MAC	Valor	Parâmetros 3-Log-Distância	Valor	Parâmetros Nakagami-m	Valor
Potência de transmissão	23 dBm	Perda de referência	61,85 dBm	Distância d1	90 m
Sensibilidade do receptor	-95 dBm	Distância d0	5 m	Distância d2	230 m
Frequência de operação	5,9 GHz	Distância d1	90 m	Parâmetro m1	1,5
Ganho de antena	0 dBi	Distância d2	230 m	Parâmetro m2	1
Banda de transmissão	10 MHz	Parâmetro n0	1,9	Parâmetro m3	0,75
Modulação	OFDM 6 Mbps	Parâmetros n1, n2	3,8	–	–

Assim, definiu-se $d0$ em 5 m para o modelo 3-Log-Distance. A segunda região está compreendida entre $d0$ e $d1$, tendo sido $d1$ definida em 90 m para os dois modelos de propagação, uma vez que nessa área existe menor influência do desvanecimento rápido [26](Rician). Logo, o valor padrão para $m1$ foi mantido em 1,5, indicando condições menos severas. Por fim, $d2$ foi definida em 230 m para ambos os modelos, uma vez que o desvanecimento se torna ainda mais severo [29] a partir dessa distância. Na região compreendida entre $d1$ e $d2$ o desvanecimento se torna intenso (Rayleigh), portanto, definiu-se o parâmetro $m2$ em 1. A partir de $d2$ a comunicação sofre grande atenuação e o desvanecimento é intenso ($>$ Rayleigh), de forma que o valor padrão 0,75 foi mantido para $m3$. Os valores padrão para os parâmetros n_i foram mantidos ($n0 = 1,9$, $n1 = 3,8$, $n2 = 3,8$), uma vez que são válidos para ambientes urbanos. A Figura 6.1 ilustra os valores escolhidos para d_i , n_i e m_i . A configuração da camada de enlace foi mantida conforme a da instalação padrão, na qual a banda de transmissão é configurada para 10 MHz, com controle de taxa constante e modulação OFDM com taxa de 6 Mbps. Os parâmetros de configuração usados no simulador NS-3 expostos anteriormente se resumem na Tabela 6.1. A comunicação entre os nós foi realizada através da instalação de aplicações UDP cliente/servidor. Essa instalação escolheu aleatoriamente, dentre os 688 nós, N nós para serem clientes e outros N nós para serem servidores, com N variando de 20 a 300. A instalação nos nós foi feita de forma que o cliente C_i se comunique apenas com o servidor S_i , sendo essas instâncias residentes em nós distintos.

6.2 Resultados da Simulação

A simulação foi executada trinta vezes e os resultados são referentes às médias obtidas. A Figura 6.2 ilustra o comportamento da vazão em função da variação do número de aplicações instaladas nos nós da topologia.

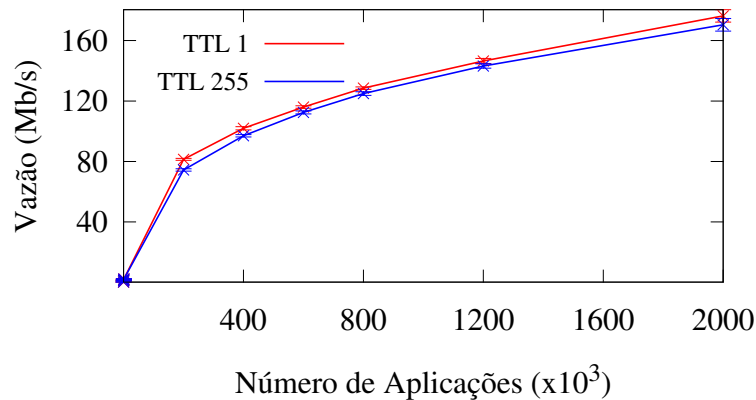


Figura 6.2: Vazão para o traço de Colônia variando-se o número de aplicações instaladas no cenário.

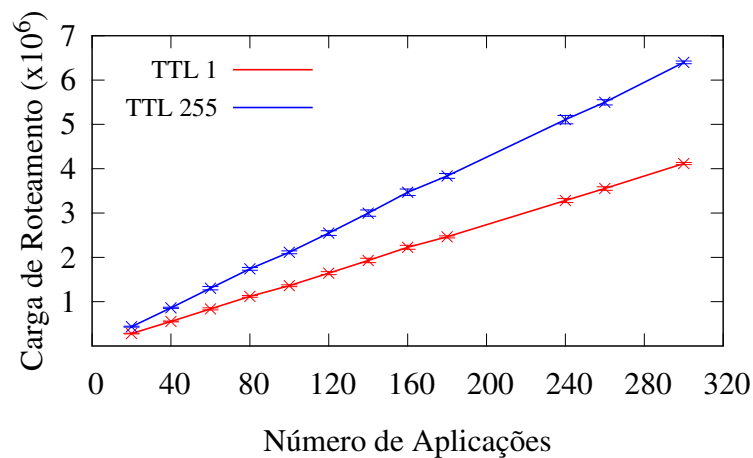


Figura 6.3: Sobrecarga de roteamento na rede utilizando o protocolo OLSR para o traço de Colônia variando-se o número de aplicações instaladas no cenário.

As barras verticais nesse gráfico representam em cada ponto um intervalo de confiança de 95%. A Figura 6.2 mostra que, ao variar o número de aplicações instaladas no cenário, apesar do processo de inundação levar teoricamente ao estabelecimento de caminhos mais próximos do ótimo, a vazão da rede não é beneficiada. Esse efeito é consequência da menor duração dos tempos de vida dos caminhos em cenários móveis, principalmente quando a mobilidade dos nós é intensa, resultando na perda de eficiência dos procedimentos de inundação. O resultado está em acordo com o observado na análise do Capítulo 5, no qual a maioria dos contatos são estabelecidos

a apenas um salto, de forma que os dados de controle utilizados pelos procedimentos de inundação de alguns protocolos de redes móveis ad hoc provocam uma sobrecarga desnecessária na rede, como é mostrado na Figura 6.3. Portanto, para melhorar a eficiência das transferências de dados, é importante aproveitar todas as oportunidades de contato existentes, mesmo que de forma oportunística.

Capítulo 7

Conclusões

Nesta dissertação foi avaliada a influência exercida pela velocidade dos nós no estabelecimento de caminhos de comunicação a múltiplos saltos em redes ad hoc veiculares. Os resultados foram obtidos a partir de análises realizadas sobre traços de mobilidade veicular, reais e sintéticos, e através de simulações de um estudo de caso. Na primeira análise foram avaliados três cenários de mobilidade com características distintas, os quais revelaram diferentes comportamentos para cada uma das métricas analisadas. A simulação valida os resultados iniciais mostrando a pouca eficiência de protocolos de comunicação proativos em redes móveis com elevada mobilidade.

A análise realizada neste trabalho permite concluir que o aumento da velocidade dos nós influi negativamente no estabelecimento de caminhos de comunicação em redes móveis ad hoc, particularmente em redes veiculares. Assim, para essas redes, o uso de caminhos de múltiplos saltos não representa uma alternativa eficiente quando existem nós em velocidades mais elevadas. Nesses casos, todo esforço em busca de caminhos de múltiplos saltos pode apenas representar um desperdício de banda passante. A análise de traços reais e sintéticos permitiu verificar que os contatos ocorrem predominantemente a apenas um salto de distância, pelo menos para os cenários que foram matéria de estudo neste trabalho. Através de resultados de simulação confirmou-se que os procedimentos de inundação empregados por alguns protocolos de roteamento, como o OLSR, são ineficientes em redes móveis em que os nós apresentam velocidades relativas elevadas. Esse resultado advém da sobrecarga provocada pelos dados de controle necessários para estabelecer rotas que apresentam grande probabilidade de se tornarem inválidas rapidamente devido à elevada mobilidade dos nós. Os resultados obtidos indicam que os protocolos de roteamento que utilizam mecanismos de inundação devem ser evitados em redes móveis nas quais as durações dos contatos são curtas, portanto, inundar essas redes pode apenas representar uma sobrecarga adicional de dados de controle.

7.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se estender a análise realizada para outros cenários de redes veiculares que apresentem características distintas dos cenários analisados. Do mesmo modo, pretende-se aplicar a metodologia empregada para analisar comportamentos com distâncias adicionais além das estudadas até agora. Considera-se, ainda, investigar com maior profundidade os efeitos da densidade de nós no comportamento da vizinhança, assim como também, avaliar diferentes protocolos de comunicação nos ambientes das redes móveis. A partir dos resultados obtidos poderiam ser propostos protocolos de comunicação mais eficientes para o ambiente de redes ad hoc veiculares quando a velocidade de seus nós é elevada.

Referências Bibliográficas

- [1] NUNES, C. M., LINK, E., DOTTI, F. L. “Evaluating the Impact of an Acknowledgment Strategy for APRP”. In: *Proceedings of the 5th International Latin American Networking Conference, LANC '09*, pp. 77–86, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN: 978-1-60558-775-2. doi: 10.1145/1636682.1636695. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1636682.1636695>>.
- [2] ZHAO, Z., MOSLER, B., BRAUN, T. “Performance Evaluation of Opportunistic Routing Protocols: A Framework-based Approach Using OM-NeT++”. *LANC '12*, pp. 28–35, 2012. ISBN: 978-1-4503-1750-4. doi: 10.1145/2382016.2382022. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2382016.2382022>>.
- [3] ZHENSHENG, Z. “Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges”, *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, v. 8, n. 1, pp. 24–37, First 2006. ISSN: 1553-877X. doi: 10.1109/COMST.2006.323440.
- [4] DA SILVA, V., DA SILVA, F., CAMPISTA, M., et al. “A trajectory-based approach to improve delivery in drive-thru Internet scenarios”. In: *Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 489–494, June 2013. doi: 10.1109/ICCW.2013.6649283.
- [5] JIANG, S., HE, D., RAO, J. “A Prediction-based Link Availability Estimation for Routing Metrics in MANETs”, *IEEE/ACM Trans. Netw.*, v. 13, n. 6, pp. 1302–1312, dez. 2005. ISSN: 1063-6692. doi: 10.1109/TNET.2005.860094. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2005.860094>>.
- [6] SPYROPOULOS, T., PSOUNIS, K., RAGHAVENDRA, C. “Efficient Routing in Intermittently Connected Mobile Networks: The Multiple-Copy Case”, *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, v. 16, n. 1, pp. 77–90, Feb 2008. ISSN: 1063-6692. doi: 10.1109/TNET.2007.897964.

- [7] HOWDEN, C. “U.S. Department of Transportation Issues Advance Notice of Proposed Rulemaking to Begin Implementation of Vehicle-to-Vehicle Communications Technology”. . Acessado 03/2015 em <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/NHTSA-issues-advanced-notice-of-proposed-rulemaking-on-V2V-communications>, 2014.
- [8] NAUMOV, V., BAUMANN, R., GROSS, T. “An Evaluation of Inter-vehicle Ad Hoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces”. In: *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, MobiHoc '06, pp. 108–119, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN: 1-59593-368-9. doi: 10.1145/1132905.1132918. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1132905.1132918>>.
- [9] WU, H., PALEKAR, M., FUJIMOTO, R., et al. “Vehicular Networks in Urban Transportation Systems”. In: *Proceedings of the 2005 National Conference on Digital Government Research*, dg.o '05, pp. 9–10. Digital Government Society of North America, 2005. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1065226.1065231>>.
- [10] TOUTOUH, J., ALBA, E. “Optimizing OLSR in VANETS with Differential Evolution: A Comprehensive Study”. In: *Proceedings of the First ACM International Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, DIVANet '11, pp. 1–8, New York, NY, USA, 2011. ACM. ISBN: 978-1-4503-0904-2. doi: 10.1145/2069000.2069002. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2069000.2069002>>.
- [11] ALVES, R. S. A., CAMPBELL, I. V., COUTO, R. S., CAMPISTA, M. E. M., MORAES, I. M., RUBINSTEIN, M. G., COSTA, L. H. M. K., DUARTE, O. C. M. B., AND ABDALLA, M. “Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios”. SBRC'2009, pp. 199–254, maio 2009. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/ACC09.pdf>>.
- [12] OLARIU, S., YAN, G., SALLEH, S. “A Probabilistic Routing Protocol in VANET”, *IJMCMC*, v. 2, n. 4, pp. 21–37, out. 2010. ISSN: 1937-9412. doi: 10.4018/jmcmc.2010100102. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4018/jmcmc.2010100102>>.
- [13] REZENDE, C. G., PAZZI, R. W., BOUKERCHE, A. “An Efficient Neighborhood Prediction Protocol to Estimate Link Availability in VANETs”. *MobiWAC '09*, pp. 83–90, 2009. doi: 10.1145/1641776.1641790. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1641776.1641790>>.

- [14] GONZALEZ, M. C., HIDALGO, C. A., BARABASI, A.-L. “Understanding individual human mobility patterns”, *Nature*, v. 453, n. 7196, pp. 779–782, jun. 2008. doi: 10.1038/nature06958.
- [15] CALEGARI, R., MUSOLESI, M., RAIMONDI, F., et al. “CTG: A Connectivity Trace Generator for Testing the Performance of Opportunistic Mobile Systems”. In: *Proceedings of the the 6th Joint Meeting of the European Software Engineering Conference and the ACM SIGSOFT Symposium on The Foundations of Software Engineering, ESEC-FSE '07*, pp. 415–424, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN: 978-1-59593-811-4. doi: 10.1145/1287624.1287684. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1287624.1287684>>.
- [16] CONAN, V., LEGUAY, J., FRIEDMAN, T. “Characterizing Pairwise Inter-contact Patterns in Delay Tolerant Networks”. *Autonomics '07*, pp. 19:1–19:9, 2007. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1365562.1365588>>.
- [17] PASSARELLA, A., CONTI, M. “Characterising Aggregate Inter-contact Times in Heterogeneous Opportunistic Networks”. *NETWORKING'11*, pp. 301–313, 2011. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2008826.2008855>>.
- [18] PHE-NEAU, T., DIAS DE AMORIM, M., CONAN, V. “Vicinity-based DTN Characterization”. *MobiOpp '12*, pp. 37–44, 2012. doi: 10.1145/2159576.2159586. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2159576.2159586>>.
- [19] PHE-NEAU, T., CAMPISTA, M. E. M., DIAS DE AMORIM, M., et al. “Padrões de Mobilidade de Vizinhança em Redes de Contato Intermitente”. *SBRC '13*, pp. 397–410, maio 2013. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00801530>>.
- [20] CLAUSEN, T., JACQUET, P. *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*. RFC 3626, out. 2003.
- [21] RIBEIRO JÚNIOR, J. G., QUINTANILHA, I. M., CAMPISTA, M. E. M., COSTA, L. H. M. K. “Sistema para Monitoramento Descentralizado de Trânsito baseado em Redes Veiculares Infraestruturadas”. *SBRC'2013*, pp. 863–876, maio 2013. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/JCC13.pdf>>.

- [22] PHE-NEAU, T., DIAS DE AMORIM, M., CONAN, V. “Vicinity-based DTN Characterization”. In: *Proceedings of the Third ACM International Workshop on Mobile Opportunistic Networks*, MobiOpp ’12, pp. 37–44, New York, NY, USA, 2012. ACM. ISBN: 978-1-4503-1208-0. doi: 10.1145/2159576.2159586. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2159576.2159586>>.
- [23] PIORKOWSKI, M., SARAFIJANOVIC-DJUKIC, N., GROSSGLAUSER, M. “CRAWDAD data set epfl/mobility (v. 2009-02-24)”. . Acessado 05/2014 em <http://crawdad.org/epfl/mobility/>, fev. 2009.
- [24] UPPOOR, S., FIORE, M. “Large-scale urban vehicular mobility for networking research”. VNC ’11, pp. 62–69, Nov 2011. doi: 10.1109/VNC.2011.6117125.
- [25] JETCHEVA, J. G., HU, Y.-C., PALCHAUDHURI, S., et al. “CRAWDAD data set rice/ad_hoc_city (v. 2003-09-11)”. . Acessado 09/2014 em http://crawdad.org/rice/ad_hoc_city/, set. 2003.
- [26] CHENG, L., HENTY, B., STANCIL, D., et al. “Mobile Vehicle-to-Vehicle Narrow-Band Channel Measurement and Characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) Frequency Band”, *IEEE JSAC*, v. 25, n. 8, pp. 1501–1516, Oct 2007. ISSN: 0733-8716. doi: 10.1109/JSAC.2007.071002.
- [27] SINGH, P. K. “Influences of TwoRayGround and Nakagami Propagation model for the Performance of Adhoc Routing Protocol in VANET”, *IJCA*, v. 45, n. 22, pp. 1–6, May 2012.
- [28] YIN, J., HOLLAND, G., ELBATT, T., et al. “DSRC Channel Fading Analysis from Empirical Measurement”. ChinaCom ’06, pp. 1–5, Oct 2006. doi: 10.1109/CHINACOM.2006.344919.
- [29] ISLAM, T., HU, Y., ONUR, E., et al. “Realistic simulation of IEEE 802.11p channel in mobile Vehicle to Vehicle communication”. COMITE ’13, pp. 156–161, April 2013. doi: 10.1109/COMITE.2013.6545061.
- [30] MANGEL, T., KLEMP, O., HARTENSTEIN, H. “A validated 5.9 GHz Non-Line-of-Sight path-loss and fading model for inter-vehicle communication”. ITST ’11, pp. 75–80, Aug 2011. doi: 10.1109/ITST.2011.6060156.
- [31] “LocoMate Products”. . Acessado 12/2014 em <http://www.aradasystems.com/products/>, 2013.