

**ANÁLISE DA MOBILIDADE EM REDES
VEICULARES USANDO DIFERENTES TIPOS DE
GRAFOS**

GABRIEL RIBEIRO DINIZ

**ANÁLISE DA MOBILIDADE EM REDES
VEICULARES USANDO DIFERENTES TIPOS DE
GRAFOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

**ORIENTADOR: ANTONIO ALFREDO FERREIRA LOUREIRO
COORIENTADOR: FELIPE DOMINGOS DA CUNHA**

Belo Horizonte
Novembro de 2020

© 2020, Gabriel Ribeiro Diniz.
Todos os direitos reservados.

Diniz, Gabriel Ribeiro

D585a Análise da mobilidade em redes veiculares usando diferentes tipos de grafos [manuscrito] / Gabriel Ribeiro Diniz. - 2020.
xiii, 64 f. : il.

Orientador: Antonio Alfredo Ferreira Loureiro
Coorientador: Felipe Domingos da Cunha

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Ciência da Computação.

Referência: f.61-68.

1. Computação – Teses. 2. Redes veiculares – Teses. 3. Redes de computadores – Confiabilidade – Teses 4. – Grafos temporais - Teses. I. Loureiro, Antonio Alfredo Ferreira. II. Cunha, Felipe Domingos da. III. Universidade Federal de Minas Gerais; Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Ciência da Computação. IV. Título.

CDU 519.6*22(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

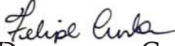
FOLHA DE APROVAÇÃO

Análise da Mobilidade em Redes Veiculares Usando Diferentes Tipos de Grafos

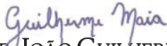
GABRIEL RIBEIRO DINIZ

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


PROF. Antonio Alfredo Ferreira Loureiro - Orientador
Departamento de Ciência da Computação UFMG


PROF. FELIPE DOMINGOS DA CUNHA - Coorientador
Instituto de Ciências Exatas e Informática - PUC Minas


PROFA. FÁTIMA de Lima Procópio Duarte Figueiredo
Instituto de Ciências Exatas e Informática - PUC Minas


PROF. JOÃO GUILHERME MAIA DE MENEZES
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

Belo Horizonte, 11 de Dezembro de 2020.

Agradecimentos

Existem diversos agradecimentos que devo fazer. Durante essa caminhada, diversas pessoas contribuíram para que eu chegasse onde cheguei. Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pela força e por me mostrar que eu era capaz. Em segundo lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Miguel e Berenice, e aos meus irmãos, Bruno e Henrique, que estavam comigo nos momentos bons e ruins sempre me motivando a continuar.

Devo agradecimentos também à minha noiva Thalyta, que desde o começo estava comigo, me apoiando de dizendo palavras de motivação. Agradeço também ao meu orientador Antonio Loureiro, pelos diversos ensinamentos durante esse período. Ao meu coorientador Felipe Domingos, que me acompanha desde os tempos de graduação, minha gratidão por tudo que me ensinou e por dizer as palavras duras, mas que precisavam serem ditas.

Agradeço também à todos os meus amigos e familiares que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse concluir meu mestrado. São várias pessoas que serviram de combustível para que eu pudesse cruzar a linha de chegada. Serei eternamente grato à todos e espero algum dia poder retribuir de alguma forma, toda a ajuda que recebi.

*“O que não te desafia,
não te fortalece.”*
(Autor desconhecido)

Resumo

As redes veiculares são um sistema de comunicação entre veículos que permite a interação e a troca de informações destes automóveis. Uma das dificuldades enfrentadas por essas redes é a comunicação, pela mudança frequente na topologia da rede. Por este motivo, diversos estudos têm sido feitos com o intuito de entender a mobilidade e, conseqüentemente, as aplicações que visam aprimorar a experiência dos motoristas e passageiros no tráfego. Na literatura, a modelagem da mobilidade veicular é frequentemente feita usando um grafo instantâneo, agregado ou temporal. Este trabalho compara o impacto dessas três abordagens nas análises das redes veiculares, além de discutir as vantagens e as desvantagens de cada uma. O objetivo foi entender como os resultados podem variar dependendo do modelo utilizado. Após realizar as análises, foi possível identificar que no grafo agregado, os resultados acabam sendo "exagerados" pois todos os contatos existentes nos quinze minutos são agregados em um único grafo. Já no grafo instantâneo, é possível analisar a curva do comportamento de cada métrica ao longo do dia. Ainda assim, existe uma grande perda de informação nessa abordagem. Por fim, na análise do grafo temporal apresenta de forma clara e legítima como cada métrica se comporta ao longo do dia.

Palavras-chave: Redes Veiculares, Análise, Mobilidade, Confiabilidade, Grafos Temporais.

Abstract

Vehicle networks are a communication system between vehicles that allows the interaction and information exchange. One of the difficulties faced by these applications is the communication due to the frequent change in the network topology. For this reason, several studies have been done in order to understand the traffic and, consequently, the applications that aim to improve the experience of drivers and passengers in a traffic scenario. In the literature, the modeling of the vehicle mobility is often done using an instantaneous, or aggregate or temporal graph. This work compares the impact of these three approaches on the vehicle network analysis and discusses the advantages and disadvantages of each one. The goal is to understand how results may vary depending on the model used.

Keywords: Vehicular Networks, Analyze, Mobility, Reliability, Temporal Graphs.

Lista de Figuras

1.1	Tipos de Arquiteturas em Redes Veiculares	2
2.1	Exemplo de OBU's e RSU's	7
2.2	Exemplo de grafo	8
2.3	Exemplo de movimentação em rede veicular	10
2.4	Grafo instantâneo do <i>trace</i> representado pela Figura 2.3.	11
2.5	Grafo agregado do <i>trace</i> representado pela Figura 2.3.	11
2.6	Grafo temporal do <i>trace</i> representado pela Figura 2.3.	12
4.1	Metodologia utilizada na dissertação.	23
5.1	Fluxo de veículos durante o dia.	31
5.2	Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.	32
5.3	Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.	33
5.4	Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.	34
5.5	Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.	35
5.6	Duração vs. Frequência dos contatos ocorridos durante o dia.	37
5.7	Correlação Temporal das arestas com as horas do dia.	38
5.8	Correlação de Pearson entre as métricas analisadas. Número de Arestas (N.A.), Grau Médio (G.M.), Coeficiente de Agrupamento (C.A.), Número de componentes (N.C.), Número de Nós no Maior Componente (M.C.), Centralidade de Intermediação (C.I.), Centralidade de Proximidade (C.P.), Diâmetro (DI.) e Densidade (DE.)	41
5.9	Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.	42
5.10	Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.	43
5.11	Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.	44
5.12	Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.	45

Lista de Tabelas

3.1	Trabalhos relacionados	21
-----	----------------------------------	----

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo do Trabalho	4
1.3 Justificativa	5
1.4 Organização do Trabalho	5
2 Fundamentos Teóricos	6
2.1 Redes Veiculares	6
2.2 Grafos	8
2.3 Grafos em Redes Veiculares	9
2.4 Métricas de Redes Complexas	11
3 Trabalhos Relacionados	16
3.1 Grafos Instantâneos	16
3.2 Grafos Agregados	17
3.3 Grafos Temporais	19
3.4 Discussão	20
4 Metodologia	22
4.1 Base de Dados	23

4.2	Modelagem dos Dados	24
4.3	Construção dos Grafos	25
4.4	Métricas Analisadas	26
5	Resultados	30
5.1	Comportamento do Trânsito nas Cidades de Roma e São Francisco	30
5.2	Impacto dos Diferentes Tipos de Grafos	31
5.3	Frequência vs. Duração das Arestas	37
5.4	Correlação Temporal das Arestas	38
5.5	Correlação entre as Métricas	39
5.6	Variação do Tempo de Agregação do Grafo Agregado	40
5.6.1	Roma	41
5.6.2	São Francisco	43
5.7	Comparação do Desempenho de cada Grafo	44
5.8	Discussão dos Resultados	46
6	Aplicações	49
6.1	Comunicação em Redes Veiculares	49
6.2	Entendendo a Mobilidade Urbana	50
6.3	Projetando Novos Serviços	51
6.4	Identificando Padrões	51
6.5	Planejamento de Cidades Inteligentes	52
7	Conclusão e Trabalhos Futuros	54
7.1	Conclusão	54
7.2	Trabalhos Futuros	55
7.3	Publicações	55
	Referências Bibliográficas	57

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Nos últimos anos, a tecnologia evoluiu muito e acabou difundida na rotina da sociedade tornando-se quase um item essencial para as pessoas. O termo correto a ser utilizado para este tipo de comportamento é Computação Ubíqua. No trabalho [de Araujo, 2003], os autores definem a Computação Ubíqua como tecnologias que estão presentes no dia a dia das pessoas de forma *pervasiva*. Diversos foram os campos beneficiados com o avanço da tecnologia. Várias áreas progrediram os seus estudos graças ao desenvolvimento dos recursos tecnológicos (tanto em *hardware* quanto em *software*) [Armoogum et al., 2014]. Uma das áreas que foi favorecida com essa evolução foi a área das redes veiculares.

As redes veiculares (ou VANET's, do inglês *Vehicular Networks*) são um tipo especial de redes *ad hoc* formadas por veículos automotores. Essas redes podem também possuir estações fixas que ficam localizadas às margens de estradas e ruas [Alves et al., 2009]. Existem três tipos de arquiteturas que permitem que a troca de informações seja feita neste tipo de rede [Cunha et al., 2017]: (i) Veículo-Veículo, (ii) Veículo-Infraestrutura e (iii) Arquitetura Híbrida. Na arquitetura Veículo-Veículo, a troca de informações ocorre somente entre os veículos. Já na arquitetura Veículo-Infraestrutura a comunicação ocorre entre os veículos e estações bases, que também são chamadas *Road Side Units* (RSU's). Finalmente, na arquitetura Híbrida, a comunicação pode ser feita das duas maneiras, tanto entre os veículos, como entre veículo e infraestrutura. Na Figura 1.1 é possível ver uma ilustração destas três arquiteturas e como elas funcionam.

O objetivo das redes veiculares é permitir a troca de informações entre os veículos. Essa troca de dados possibilitou a criação de aplicações que podem auxiliar os motoristas. Além disso, também foi possível contribuir para tornar as experiências do motorista ao trânsito, mais agradáveis [de Sousa & Soares, 2015]. Essas aplicações fazem parte do Sistema de

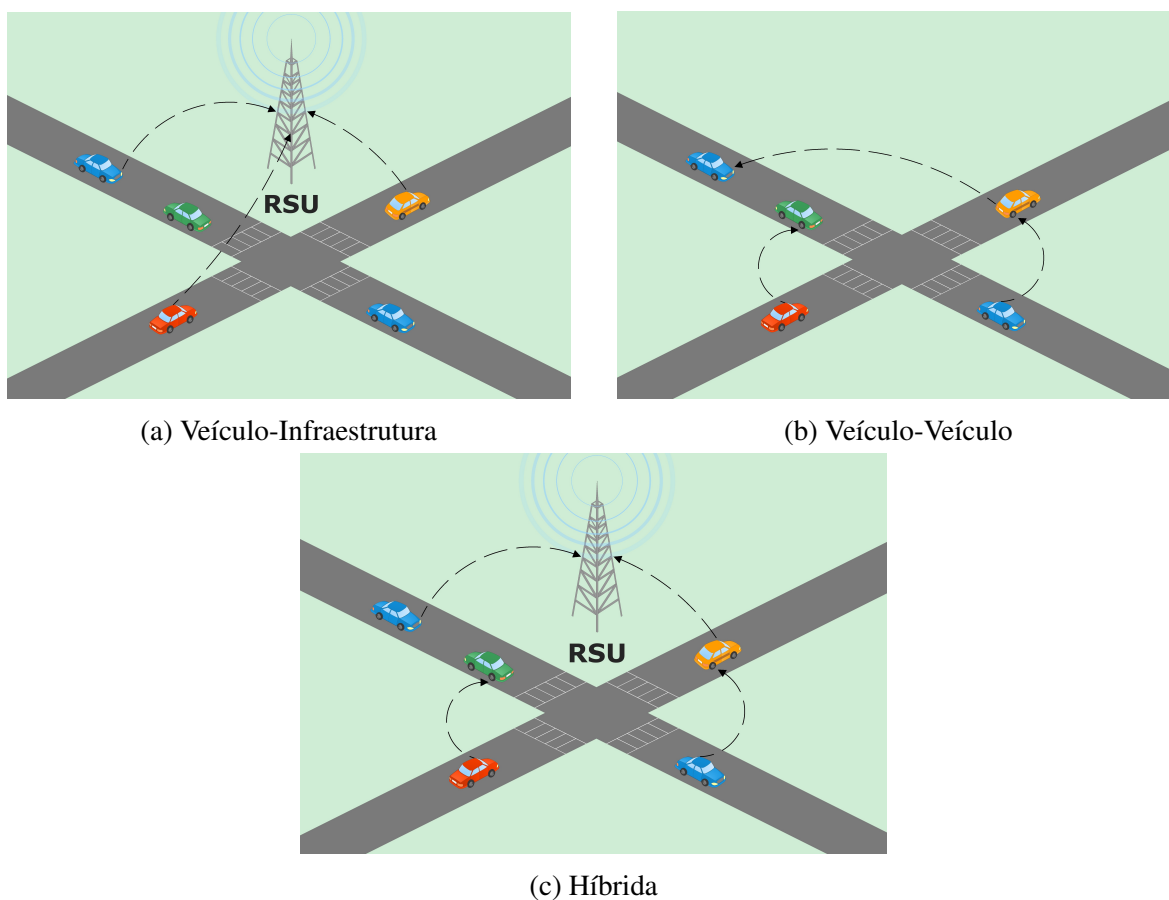


Figura 1.1: Tipos de Arquiteturas em Redes Veiculares

Transporte Inteligente (ITS do inglês *Intelligent Transport System, i.e.*). Os recursos presentes no ITS consistem na união de diversas tecnologias, com o intuito de promover aplicações que otimizem a mobilidade urbana. Esses recursos também vão ajudar a fornecer conforto e segurança ao motorista [Meneguette et al., 2018].

Diversos tipos de aplicações, têm sido desenvolvidas com o objetivo de auxiliar o motorista durante o tempo em que ele está no trânsito. Como exemplo de algumas dessas aplicações podemos citar trabalhos que autenticam o comportamento dos motoristas [Rettore et al., 2018], recomendação de rotas baseado no congestionamento [de Souza et al., 2017], recomendação de rota baseada na segurança da via [de Souza et al., 2018], aplicações de auxílio na hora de estacionar o carro [Lu et al., 2009] e prevenção de acidentes [Raut & Malik, 2014]. Esses são só alguns exemplos dos mais variados tipos aplicações existentes.

As redes veiculares são utilizadas em vários tipos de ambientes diferentes, como ambientes urbanos [Wu et al., 2005], rodovias [Arbabi & Weigle, 2010] e ambientes rurais [Zhang & Wolff, 2008]. Para mais, existem diversos fatores que podem influenciar a mobilidade dos veículos. Alguns deles são os congestionamentos [de Souza et al., 2016], fatores climáticos

como a chuva [Jia et al., 2017], além de fatores sociais como feriados [Luo et al., 2019]. Com essas diferenças de comportamento, estudar a mobilidade e identificar padrões de movimentação é importante. Esse tipo de estudo pode auxiliar na criação de aplicações ITS mais precisas, que podem beneficiar os motoristas e otimizar o tráfego.

Existem duas maneiras de se obter os dados da locomoção dos automóveis para que seja possível estudar a mobilidade de um ambiente. O primeiro é através de simuladores como o SUMO¹, que normalmente geram a movimentação dos veículos baseados em modelos matemáticos. O SUMO é um *software* criado para ser rápido e portátil. Ele utiliza um modelo microscópico de movimentação física, baseado no autômato celular de Nagel & Schreckenberg [1992]. A segunda forma é através de arquivos de *log* da movimentação dos veículos, chamados *traces*. Esses *traces* contêm os dados de movimentação dos veículos ao longo do tempo, marcando a posição GPS que ele se encontra (*latitude e longitude*) em um determinado momento do dia. Ambas possuem vantagens e desvantagens. Através dos simuladores, a facilidade de obtenção dos dados é maior. Além disso esses dados são gerados de forma rápida. É possível simular meses de movimentação em questão de minutos. Por outro lado, esses dados podem não retratar a realidade que realmente acontece no trânsito de um determinado local. Já com relação aos *traces*, conseguir esses dados é algo mais difícil devido ao fato de que um grande número de carros hoje em dia, ainda não possuem sensores GPS. Outra questão que dificulta esse método, é a privacidade dos veículos que deve ser preservada. A privacidade deve ser priorizada para que a identidade dos condutores não seja exposta.

Diante desse fator, é mais fácil encontrar *traces* de veículos considerados públicos. Alguns exemplos são os ônibus, táxis e veículos de aplicativos de transporte como o Uber². Esses veículos não possuem as mesmas características de um veículo privado. Como esses veículos não possuem a necessidade de preservar suas identidades e nem seus trajetos, é mais fácil que eles colaborem para a obtenção de dados de movimentação de veículos na cidade.

Estudar a mobilidade pode ser algo complicado pelo volume de dados que um arquivo pode ter. Uma das maneiras de se modelar uma rede veicular é utilizando um grafo. Através da modelagem desses dados, é possível aplicar algoritmos para identificar padrões de mobilidade que um ambiente possa ter. Segundo os autores [Feofiloff et al., 2011], um grafo é um par (V, A) , em que V é um conjunto arbitrário onde os elementos são chamados de vértices e A é um subconjunto $V \times V$ onde os elementos são chamados arestas. Nas redes veiculares, os vértices representam os veículos e as arestas representam a possibilidade de comunicação entre estes veículos. Para que seja possível um veículo se comunicar com o outro, é necessário que estes estejam dentro de um raio de comunicação estabelecido pela capacidade do

¹<https://sumo.dlr.de/docs/index.html>

²<https://www.uber.com>

equipamento nos automóveis ³. Diversos fatores podem influenciar na atenuação deste raio de comunicação, como por exemplo as paredes de concreto dos edifícios [Silva et al., 2016], por isso diferentes ambientes possuem diferentes raios de comunicação.

Durante uma revisão bibliográfica, foi possível identificar três tipos de abordagens usadas para gerar os grafos de uma rede veicular: grafo instantâneo, grafo agregado e grafo temporal. O grafo instantâneo é gerado levando em consideração um instante t de um *trace* e as análises são feitas levando em consideração somente aquele instante. Já o grafo agregado é gerado levando em consideração um intervalo de tempo do *trace*. Toda a movimentação deste intervalo é agrupada em um único grafo e as análises feitas utilizando-o. Por fim, no grafo temporal, cada instante t é analisado de forma individual e consecutiva, levando em consideração o fator temporal de forma mais completa.

O estudo da mobilidade veicular é fundamental para a evolução das redes veiculares e para o desenvolvimento de novos serviços ITS. Verificando a existência dos três tipos de grafos usados para estudar a mobilidade, decidiu-se verificar como isso pode influenciar nos resultados obtidos ao analisar a movimentação do trânsito.

1.2 Objetivo do Trabalho

Revisando a literatura foi possível encontrar três tipos diferentes de grafos usados para modelar redes veiculares. Surgiu então o questionamento de como esses diferentes tipos de grafos podem afetar o estudo da mobilidade. O objetivo do trabalho é investigar qual o impacto das diferentes abordagens utilizadas na modelagem das redes veiculares (utilizando grafos instantâneos, agregados e temporais) quando se estuda a mobilidade. Pretende-se descobrir qual a influência esses três tipos de grafos terão ao analisar métricas de rede. Após realizar os estudos será possível realizar uma comparação direta entre esses três grafos, destacando as vantagens e desvantagens de cada um.

A partir da análise dos resultados percebeu-se que resultados gerados em cada grafo são diferentes. Isso mostra que a abordagem utilizada na modelagem da mobilidade pode afetar diretamente os resultados obtidos nas análises de métricas de redes complexas e de outras diferentes métricas. No grafo agregado, os resultados acabam sendo distantes da realidade pois todos os contatos existentes no intervalo selecionado, são agregados em um único grafo. Já no grafo instantâneo, existe uma grande perda de informação, visto que o fator temporal é ignorado na análise. Por fim, no grafo temporal, é possível ver claramente a evolução de cada métrica ao longo do tempo. Nesse grafo é possível notar de forma mais sutil

³Os equipamentos instalados nos veículos que permitem a comunicação entre eles e com a alguma estação base são chamados OBU's (On Board Units)

a evolução das métricas ao longo do tempo. Isso torna a análise utilizando essa abordagem mais confiável.

1.3 Justificativa

Estudar a mobilidade veicular pode trazer diversos benefícios para o entendimento dessa rede. Com o passar dos anos, a frota veicular tem aumentado [Hernández-Moreno & Mugica-Álvarez, 2013] e junto com ela diversos problemas. A falta de planejamento urbano adicionada ao aumento do número de veículos tem causado problemas como congestionamentos, aumento da poluição, aumento de acidentes e aumento de problemas de saúde em grandes centros urbanos. Esses problemas afetam de forma considerável a população [Buchanan, 2015].

Por esse motivo, diversos pesquisadores foram motivados a pesquisar soluções para esses problemas [Vahdat-Nejad et al., 2016]. Graças aos estudos que são feitos sobre a movimentação dos veículos, diversas aplicações que buscam melhorar a qualidade de vida das pessoas foram desenvolvidas. Esse é um dos importantes motivos que tornam a descoberta de padrões de movimentação dos veículos nas cidades necessária. Esses padrões podem ajudar a melhorar ou até solucionar os problemas enfrentados em diversos locais.

Entretanto, não basta apenas gerar conhecimento. É necessário que o conhecimento gerado seja confiável. Como diferentes estudos utilizam diferentes tipos de modelagens, é preciso verificar se a escolha de qual método utilizar para modelagem dos dados é correta. Uma escolha errônea pode levar à resultados que não representam a realidade e consequentemente as aplicações criadas podem não apresentar um desempenho aceitável.

1.4 Organização do Trabalho

Esta dissertação foi dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta o contexto, juntamente com a motivação e os objetivos deste trabalho. O capítulo 2 apresenta alguns conceitos relacionados a redes veiculares, redes complexas e grafos que são fundamentais para o bom entendimento deste trabalho. No capítulo 3 será feita uma discussão dos trabalhos relacionados encontrados na literatura. Em seguida, no capítulo 4 será apresentada a metodologia usada neste trabalho. No capítulo 5 serão apresentados os resultados numéricos e uma discussão dos valores obtidos. Seguindo, no capítulo 6 serão apresentadas algumas situações em que os resultados desse trabalho podem ser aplicados. Por fim, no capítulo 7 apresentará as conclusões e os próximos passos do trabalho.

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos utilizados neste trabalho. Ele se encontra dividido da seguinte forma: a Seção 2.1 onde serão apresentadas as definições e características de uma rede veicular. A Seção 2.2 apresenta uma fundamentação teórica sobre a aplicação de grafos na resolução de problemas. A Seção 2.3 apresenta detalhes de como aplicar grafos na modelagem de redes veiculares. E finalmente na Seção 2.4 será apresentada a teoria sobre redes complexas e sobre as métricas que foram utilizadas nessa dissertação.

2.1 Redes Veiculares

Redes veiculares são redes formadas por veículos automotores, podendo ou não conter estruturas fixas como parte da rede [Alves et al., 2009]. As VANET's são um tipo especial de redes *ad hoc*, que se diferenciam das demais redes, principalmente pela natureza de seus nós. Os veículos, diferentemente dos nós de uma rede tradicional, apresentam uma velocidade muito alta, alta mobilidade e ainda suas trajetórias são mais fáceis de prever. Essa previsibilidade acontece, pois, os veículos seguem as direções e velocidades impostas pelas vias em que trafegam.

Para que uma VANET exista, é preciso que os veículos consigam trocar informações. Isso ocorre com ajuda de um aparelho chamado OBU (*On Board Unit*). Esse aparelho possibilita que um automóvel seja capaz de enviar e receber dados na rede [Tengler & Aufflick, 2009]. Com o passar dos anos, cada vez mais carros estão equipados com este tipo de aparelho, porém, ainda existem veículos que não possuem o OBU. Na Figura 2.1a é possível ver uma ilustração desse tipo de equipamento.

Outro aparelho que pode ou não fazer parte da construção de uma rede veicular são as RSU's (*Road Side Units*). São aparelhos que ficam fixos à beira de ruas e rodovias que tam-



(a) On Board Unit



(b) Road Side Unit

Figura 2.1: Exemplo de OBU's e RSU's

bém permitem a troca de informação com veículos. Normalmente o alcance dessas RSU's é maior do que o alcance das OBU's. Com isso, colocar uma RSU em uma rede veicular, aumenta a conectividade entre os veículos. Apesar de acrescentar muito para a rede, esse tipo de aparelho tem um custo alto. Existem estudos que tentam otimizar a distribuição das RSU's visando diminuir o número necessário e consequentemente o custo de uma rede veicular [Aslam et al., 2012]. Na Figura 2.1b é possível ver um exemplo desse aparelho.

No ano de 2004, o IEEE começou o desenvolvimento de uma padronização de comunicação utilizada pelas redes veiculares, o IEEE 802.11p [Abdelgader & Lenan, 2014]. Esse padrão define as camadas físicas e de controle de acesso ao meio (MAC) para redes veiculares [Alves et al., 2009]. Um dos motivos de criar essa padronização, foi criar dois canais de comunicação, um canal de controle (CCH) e um canal de múltiplos serviços (SCH). O primeiro é destinado a aplicações de alta prioridade, como aviso de acidentes, e o segundo para os demais serviços que possam existir, como *streaming* de vídeo em redes veiculares [Yacoub et al., 2014].

Outro detalhe interessante que vale a pena ser citado é que existem diversos fatores que podem interferir para que exista ou não comunicação entre os veículos. Esses fatores são chamados ruídos do ambiente. A atenuação do sinal, também é outro obstáculo enfrentado pelas redes veiculares. O sinal pode ser atenuado por diversos objetos, um deles é o concreto. Além disso, existem as colisões de pacotes causada por alto tráfego na rede que acabam também interferindo para que uma mensagem seja enviada com sucesso. Esses são alguns motivos pelos quais o raio de comunicação entre os veículos se altera [Sommer et al., 2013].

O principal objetivo das redes veiculares é aumentar a segurança do motorista, porém a rede pode suportar outras aplicações como coordenação de sinais de trânsito, informar o motorista sobre as condições climáticas, encontrar um lugar para estacionar, melhorar a visão

do motorista e alertas sobre obstáculos, edifícios, outros veículos e perigos potenciais, áreas locais, lugares, ruas e criar rotas e aplicativos para fornecer entretenimento ao motorista e passageiros [Kamini & Kumar, 2010].

Ambientes desafiadores geralmente carecem de infraestruturas de comunicação com ou sem fio e suprimentos de energia confiáveis. Como tal, os dados precisam ser transportados usando algum tipo de veículo (ônibus, helicópteros, barcos, etc.) como uma "mula de dados". Um *gateway* conectado à Internet ou a um data center, localizado em um local com constante conexão e energia, atende às solicitações recebidas dos dados. As mulas de dados atuam como o link de comunicação, transportando solicitações dos ambientes desafiadores para o *gateway* e transportando as respostas do *gateway* para o ambiente desafiado.

2.2 Grafos

A teoria dos grafos foi um assunto introduzido por um matemático no século XVIII [Hopkins & Wilson, 2004]. Leonhard Euler realizou a aplicação dos grafos para resolver um famoso problema conhecido como "As sete pontes de Königsberg". Um grafo é uma estrutura composta por dois conjuntos finitos, o conjunto V e o conjunto A que é subconjunto de V^2 [Feofiloff et al., 2011]. O conjunto V contém os elementos que chamaremos de vértices enquanto o conjunto A contém os elementos que chamaremos de arestas. As arestas representam uma conexão entre os elementos de V . Logo, uma aresta uv representa que existe uma conexão entre os elementos u e v do conjunto V . Ao olhar para a Figura 2.2, pode-se ver um exemplo de grafo. Nesse exemplo, o conjunto de vértices é definido por $V = \{A, B, C, D\}$, enquanto o conjunto das arestas pode ser representado por $A = \{(AD), (AC), (BC)\}$.

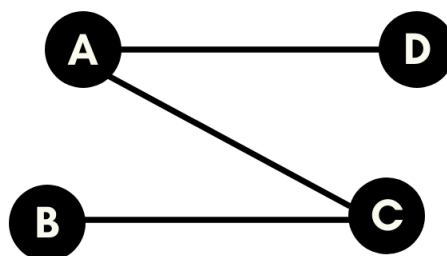


Figura 2.2: Exemplo de grafo

Um grafo pode ser dirigido e não-dirigido. Em um grafo dirigido, as arestas uv e vu são diferentes, logo uv e vu são pares ordenados do conjunto V . Nesse tipo de grafo, um elemento u pode estar conectado à um elemento v enquanto o elemento v não está conectado ao

elemento u . Já em um grafo não-dirigido, as arestas do conjunto A são pares não ordenados, em que uv e vu representam a mesma aresta. Nesse tipo de grafo, se um elemento u possui uma conexão com o elemento v , obrigatoriamente existe uma conexão entre o elemento v e u .

Os grafos são estruturas que podem ser usadas para resolver diversos tipos de problemas. Alguns exemplos são: problemas de tomada de decisão [Nielsen & Jensen, 2009], problemas envolvendo localização como o problema do caixeiro viajante [Siqueira, 2005], problemas de otimização [Butman et al., 2010] e os grafos ainda podem ser úteis para diversos outros problemas [Costa, 2011; He & Evans, 2010; Seo et al., 2018; Trembl et al., 2008]. Uma das áreas que é comum a aplicação de grafos para resolver diversos problemas é em redes veiculares.

2.3 Grafos em Redes Veiculares

No grafo que representa uma rede veicular, cada vértice representa um veículo na rede. Já as arestas deste grafo vão existir caso dois veículos consigam se comunicar, ou seja, se os equipamentos presentes nestes veículos conseguem realizar a troca de informações entre eles. Na maioria dos estudos de redes veiculares, um raio de comunicação é definido baseado no tipo de ambiente em que os veículos estão. Posteriormente, todo o estudo leva em consideração esse valor de raio de para definir se existe comunicação entre um par de veículos u e v . Para calcular se existe uma aresta, utiliza-se a distância geométrica entre os dois veículos, calculadas pela latitude e longitude. Caso essa distância seja menor ou igual ao valor de raio pré-estabelecido, a aresta entre esses dois nós é criada.

Seja a Figura 2.3 a representação de um arquivo de movimentação veicular. Nessa Figura, é possível ver os veículos se movimentando em um ambiente urbano. Como se pode notar, existem algumas linhas vermelhas conectando os veículos que estão próximos. Essas linhas representam que estes veículos estão perto o suficiente um do outro, para que seja possível trocar informações entre eles. Essas linhas são as arestas existentes no grafo. O próximo passo agora é transformar esse trace nos três tipos de grafos: instantâneo, agregado e temporal.

Como já explicado, para gerar o grafo instantâneo 2.4, primeiro é necessário escolher um instante t aleatório do *trace*. Em seguida, para cada veículo presente nesse instante do *trace*, um vértice é gerado. O próximo passo é verificar, a existência de arestas. Isso é feito calculando a distância em metros de um nó até o outro. Caso essa distância esteja dentro do raio de comunicação, uma aresta é criada entre esses dois nós. É possível notar que no grafo instantâneo, o fator temporal não é levado em consideração. Nesse tipo de análise, um



Figura 2.3: Exemplo de movimentação em rede veicular

instante é tomado para representar o comportamento de todo o período da rede.

O próximo grafo é o agregado 2.5. O grafo agregado contém todos os vértices existentes durante o período que foi agregado. Em seguida todas as arestas que existiram durante esse mesmo período são adicionadas ao grafo. Por fim temos um grafo que contém todos os vértices e arestas que existiram no tempo que foi agregado. Nota-se que esse tipo de grafo já considera o valor temporal, pois não observa simplesmente um único instante do grafo para considerar o comportamento da rede durante todo o período.

Por fim, o último grafo é o grafo temporal. Como é possível observar na Figura 2.6, para cada instante do *trace* original, um grafo é construído. Esse grafo é criado para conter uma representação de cada instante, contendo vértices e arestas que existam naquele momento. O grafo temporal também leva em consideração, como o próprio nome diz, o fator tempo. Com esse grafo é possível analisar cada instante do *trace*, de forma que seja possível

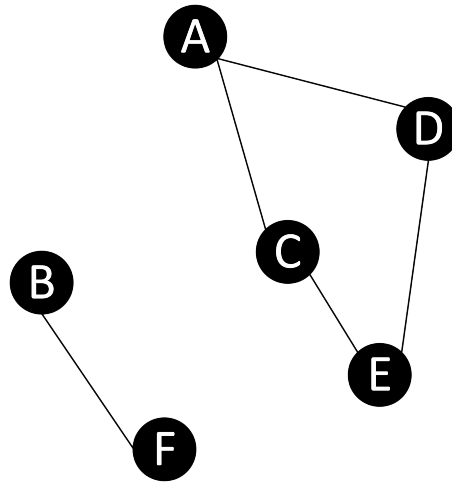


Figura 2.4: Grafo instantâneo do *trace* representado pela Figura 2.3.

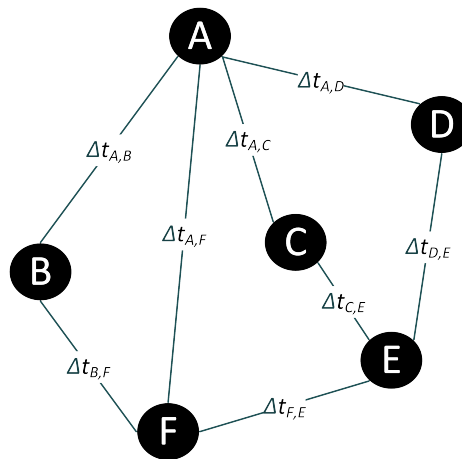


Figura 2.5: Grafo agregado do *trace* representado pela Figura 2.3.

analisar a evolução da movimentação dos veículos ao longo do tempo.

2.4 Métricas de Redes Complexas

Considerando o estudo da mobilidade de veículos, podemos modelar essas interações como grafos que apresentam diferentes características topológicas. Na literatura esses grafos são conhecidos como Redes Complexas, e a esses grafos são computados métricas que ajudam a melhor estudar essas propriedades topológicas. Assim, nesta seção serão apresentadas as métricas utilizadas nesse estudo. Foram escolhidas métricas que são frequentemente usadas em estudos de redes veiculares, como pode ser visto na Tabela 3.1. Com isso será possível observar como as diferentes abordagens adotadas na criação dos grafos impactam

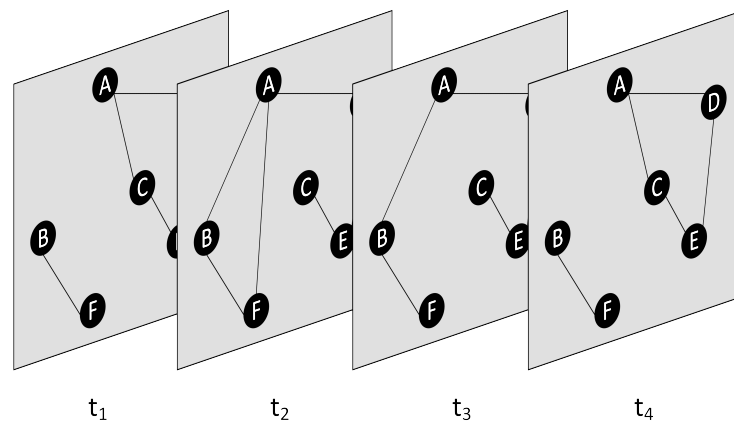


Figura 2.6: Grafo temporal do *trace* representado pela Figura 2.3.

sobre o resultado dessas métricas.

Densidade: A densidade da rede é calculada pela razão de todas as arestas que existem sobre todas as arestas que podem existir. Essa métrica revela o quão conexo um grafo é. Quando mais alto o valor da densidade, mais arestas o grafo possui e conseqüentemente mais conexo ele é.

$$d = \frac{2m}{n(n-1)} \quad (2.1)$$

Número de Componentes: Uma componente conexas de um grafo G , é na verdade um subgrafo de G em que existe um caminho possível entre todos os vértices que pertencem a este subgrafo.

Coefficiente de Agrupamento: Na maioria das redes que existem, pode-se encontrar características sociais, ou seja, os nós tendem a criar relacionamentos uns com os outros. No trabalho dos autores Rahim et al. [2018] é possível ter uma visão ampla de como esse fator é presente também nas redes veiculares. Nesse *survey*, é possível encontrar referências de diversos outros trabalhos que identificaram redes sociais presentes em diferentes traces analisados.

O coeficiente de agrupamento é uma métrica que nos permite analisar a presença de redes sociais quando analisamos uma rede. Esse coeficiente na verdade calcula o grau com que os nós da rede tendem a agrupar-se. Os grupos existentes em uma rede normalmente compartilham algo em comum. No caso de redes veiculares isso pode ser algum destino, rota, ou vizinhos em comum. Na fórmula abaixo é possível visualizar como realiza-se o cálculo desse coeficiente de agrupamento, onde $T(u)$ é o número de triângulos através do nó u e $deg(u)$ é o grau de u .

$$C_u = \frac{2T(u)}{deg(u)(deg(u) - 1)} \quad (2.2)$$

Centralidade de Proximidade: Em todos os grafos, existe uma distância natural que separa todos os pares de nós. Essa distância é definida pelo comprimento do caminho mais curto entre determinado par de nós. Para saber o quanto um determinado nó u está afastado da rede, calcula-se a soma de todos os menores caminhos entre este nó u e todos os outros nós da rede. A centralidade de proximidade na verdade é nada mais que o inverso do afastamento do nó. Quanto mais central for um nó, menor vai ser sua centralidade de proximidade. Como a soma das distâncias depende do número de nós no gráfico, a proximidade é normalizada pela soma das distâncias mínimas possíveis $n - 1$. O cálculo é feito de acordo com a fórmula abaixo, onde $d(v, u)$ é a distância do caminho mais curto entre v e u , e n é o número de nós no gráfico.

$$C(u) = \frac{n-1}{\sum_{v=1}^{n-1} d(v, u)} \quad (2.3)$$

Centralidade de Intermediação: A centralidade de intermediação mede quantas vezes um nó faz parte do menor caminho de todos os outros pares de nós. Quanto maior for a centralidade de intermediação de um nó, mais influente esse nó se torna. Isso se dá pelo fato de que nós com essa característica são normalmente os que conseguem disseminar informação de forma mais eficiente. A centralidade de intermediação é calculada de acordo com a fórmula abaixo, onde V é o conjunto de nós, $\sigma(s, t)$ é o número de caminhos mais curtos (s, t) e $\sigma(s, t|v)$ é o número desses caminhos que passam por algum nó v outro do que s, t . Se $s = t$, $\sigma(s, t) = 1$ e se $v \in s, t$, $\sigma(s, t|v) = 0$.

$$C_B(v) = \sum_{s, t \in V} \frac{\sigma(s, t|v)}{\sigma(s, t)} \quad (2.4)$$

Diâmetro: Para medir um diâmetro primeiro é preciso calcular o menor caminho para todos os pares de nós. Feito isso, o diâmetro é dado pelo maior menor caminho entre esses pares de nós.

$$\delta = \max\{d(i, j)\} \quad (2.5)$$

Correlação Temporal: Na maioria dos estudos encontrados na literatura, a análise de uma rede veicular é feita de forma estática. Isso significa que, um único instante da rede é analisado. Como consequência, existe uma perda de informações já que o fator temporal não é levado em consideração. Uma possível forma de evitar que isso aconteça, é através da criação dos grafos agregados, onde todos os contatos existentes em um período são concentrados em um único grafo. Apesar de solucionar a questão da perda de informação do fator temporal, esse tipo de grafo acaba gerando outro tipo de problema. Um contato pertencente ao grafo agregado, pode ter existido durante um período curto, mas estará presente no grafo agregado. Isso acaba gerando informações falsas a respeito da rede e levando a um resultado que não corresponde à realidade.

Quando se utilizam os grafos temporais, é possível obter uma análise mais realista do comportamento da rede. Com esse pensamento, diversos pesquisadores criaram análises para serem feitas com grafos temporais. Uma delas foi a correlação temporal, como mostram os autores Büttner et al. [2016]. A correlação temporal mede a probabilidade de uma aresta existir durante dois instantes consecutivos em um grafo temporal. O cálculo dessa métrica é dividido em 3 passos.

Primeiramente, para todos os nós $i = 1, \dots, N$, onde N é o número total de nós na rede e todos os instantâneos t_m , com $m = 1, \dots, M - 1$, em que M é o número total de instan-

tâneos considerados, a sobreposição topológica $C_i(t_m, t_m + 1)$ do nó i entre dois instantes consecutivos t_m e t_{m+1} é calculada com a seguinte fórmula:

$$C_i(t_m, t_{m+1}) = \frac{\sum_j a_{ij}(t_m)a_{ij}(t_m + 1)}{\sqrt{\left[\sum_j a_{ij}(t_m) \right] \left[\sum_j a_{ij}(t_{m+1}) \right]}} \quad (2.6)$$

onde a_{ij} indica uma entrada na matriz de adjacência não ponderada do gráfico. Portanto, a soma de a_{ij} ilustra a interação entre i e todos os outros nós para os dois instantâneos consecutivos t_m e t_{m+1} .

Em segundo lugar, a sobreposição topológica média do gráfico C_m para dois instantâneos consecutivos t_m e $t_m + 1$ é determinada. De acordo com a adaptação proposta do coeficiente de correlação temporal de [Büttner et al., 2016], C_m é calculado da seguinte forma,

$$C_m = \frac{1}{\max[A(t_m), A(t_{m+1})]} \sum_{i=1}^N C_i(t_m)(t_{m+1}) \quad (2.7)$$

onde $\max[A(t_m), A(t_{m+1})]$ denota o número máximo de nós ativos do gráfico em t_m e $t_m + 1$. Um nó i é chamado de "ativo" no tempo t_m , se existir um nó $j \neq i$ e uma aresta entre i e j no gráfico em t_m , ou seja, o nó i tem um grau maior que zero.

Apesar do cálculo de C_m , a sobreposição topológica média dos nós C_i para todos os instantâneos pode ser calculada da seguinte maneira:

$$C_i = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} C_i(t_m, t_{m+1}) \quad (2.8)$$

Na terceira etapa do cálculo, a soma de todos os resultados para a sobreposição topológica fornece o coeficiente de correlação temporal C da rede:

$$C_i = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} C_m \quad (2.9)$$

O intervalo dos valores de todas as três etapas de cálculo está entre 0 e 1. Um indica que nas capturas instantâneas observadas a configuração da borda é idêntica, enquanto zero significa que nenhuma das mesmas bordas é comum nas capturas instantâneas observadas.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, o volume de veículos tem se tornado cada vez maior [Antenor et al., 2010]. Isto adicionado à falta de planejamento urbano resultaram em diversos problemas no tráfego. Com o objetivo de resolver estes transtornos, diversos trabalhos têm estudado a mobilidade veicular através de *traces* gerados por veículos. Basicamente, esses trabalhos utilizam três abordagens diferentes baseadas em grafos para processar os traces: grafo instantâneo (modela um instante específico no tempo), grafo agregado (modela um intervalo específico no tempo) ou grafo temporal (modela um cenário que evolui no tempo), explicados na Seção 2.

3.1 Grafos Instantâneos

Nesta seção serão apresentados os trabalhos que utilizaram somente grafos instantâneos em seus trabalhos. No trabalho Naboulsi & Fiore [2013], os autores investigaram como se comporta a topologia instantânea da rede veicular de *Cologne*, uma típica cidade da Europa. Foi utilizado um *trace* sintético da cidade [Uppoor & Fiore, 2011] obtido através do simulador SUMO. O arquivo possui dados de um dia, cobre mais de 400 km^2 e contém 700.000 viagens. Os autores definem uma frequência para que os grafos instantâneos sejam gerados, deixando a questão temporal fora do contexto do trabalho. Ao realizar a pesquisa, os autores descobriram limitações significativas da topologia em termos de conectividade, disponibilidade, confiabilidade e navegabilidade, nos níveis de rede e componentes da rede. Verificou-se que os veículos tendem a se agrupar em pequenas cliques que possuem fraca comunicação com outras cliques. Isso levou a acreditar que protocolos utilizando a abordagem *store-carry-forward* e a implementação de RSU's podem apresentar melhores resultados na conectividade.

Os autores do trabalho proposto em Hou et al. [2016] modelam o impacto que a mobi-

lidade tem sobre a conectividade em redes veiculares. O *trace* usado neste trabalho da cidade de *Shanghai* [Zhu et al., 2011], que conta com os dados de 4.000 táxis no mês de fevereiro de 2007. A frequência com que os dados destes veículos eram armazenados é de 1 minuto caso ele tenha um passageiro, ou 15 segundos caso contrário. Os autores decidiram analisar as amostras a cada 10 minutos, para isso gerou-se um grafo instantâneo a cada 10 minutos. Uma análise entre a relação da comunicação com o tamanho e a velocidade dos componentes da rede foi realizada. Chegou-se à conclusão de que a mobilidade afeta a conectividade quando o componente atinge uma velocidade média específica, caso contrário a mobilidade mostrou não ter efeito sobre a conectividade.

A cidade de *Cologne*, Alemanha também foi analisada pelos autores Naboulsi & Fiore [2017]. Nesse trabalho, definiu-se uma frequência de análise, de 1 em 1 hora, onde criou-se um grafo do instante t a cada intervalo para que as análises fossem feitas. A topologia foi analisada em termos de conectividade, disponibilidade, confiabilidade e navegabilidade, nos níveis de rede e componentes de rede. Concluiu-se que as redes veiculares neste ambiente têm melhor resultado com aplicações tolerantes ao atraso e que os protocolos da camada MAC de controle de acesso ao meio se fazem importantes. Os autores também perceberam que os veículos tendem a estar agrupados em pequenas cliques que possuem uma fraca comunicação entre elas.

Já no trabalho dos autores Pallis et al. [2009], foi realizada uma pesquisa que caracteriza um grafo VANET no nível de conectividade (*link*), quantifica a noção de nós “qualitativos”, conforme exigido pelos protocolos de roteamento e disseminação, e examina a existência e a evolução das comunidades (grupos densos de veículos) na VANET. O trabalho utiliza um *trace* sintético da cidade de *Zurich* gerado por um simulador de tráfego. Para realizar as análises, grafos foram gerados de um determinado instante t . A análise foi feita em uma área de 5 km^2 em um intervalo de 3 horas. Eles identificaram que a alta mobilidade dos veículos, faz com que os métodos de controle de topologia baseados em grafos não tenham um bom desempenho.

3.2 Grafos Agregados

Nesta seção serão apresentados os trabalhos que utilizaram somente grafos agregados em seus trabalhos. Estes trabalhos utilizaram diferentes tempos de agregação. Com uma abordagem diferente dos outros trabalhos, os autores Guerber et al. [2018] desenvolveram um protocolo de roteamento de mensagens que utiliza características sociais e geoespaciais. Com isso, o protocolo consegue selecionar um número reduzido de contatos para disseminar as mensagens na rede. A análise foi feita nos dados de movimentação de táxis na cidade de

Roma, Itália [Bracciale et al., 2014]. Os contatos foram analisados levando em consideração Grau, Intermediação, Proximidade e medidas de coesão: Laços Sociais. Para realizar a análise, foram definidos intervalos de treinamento com um tempo inicial t_i e um tempo final t_f e criou-se um grafo com todos os contatos realizados neste período. Após realizar as análises, o protocolo GeoSocial foi criado recebendo como parâmetro uma função de custo do resultado da análise do Grau, Intermediação, Proximidade e medidas de coesão: Laços Sociais.

No trabalho dos autores Cunha et al. [2014], é feita uma análise social da mobilidade dos veículos em uma área metropolitana. Foram utilizados dois *traces* para realizar a pesquisa: o primeiro é da cidade de *Zurich* [Naumov et al., 2006], que contém a movimentação dos veículos ao longo de um dia e o segundo da cidade de São Francisco [Piorkowski et al., 2009] que contém os dados de movimentação de táxis durante 4 semanas. Para analisar os dados, os grafos foram agregados em 24 grafos com os dados de uma hora do dia. Nos dados da cidade de *Zurich* percebeu-se a presença do Fenômeno do Mundo-Pequeno, além disso, neste *trace*, o grau de distribuição segue uma Lei de Potência que descreve essa rede como Rede Livre de Escala. Já nos dados de São Francisco, não foram encontradas propriedades sociais.

Os autores Cunha et al. [2016] comparam como as lacunas presentes nos *traces* afetam as análises como duração de contatos, contatos entre veículos e capacidade da rede. Os autores utilizaram os dados de movimentação de três cidades, São Francisco [Piorkowski et al., 2009], Roma [Bracciale et al., 2014] e *Shangai* [Zhu et al., 2011], foram analisadas as versões originais e as versões calibradas de cada *trace*. Foi selecionado um dia de forma aleatória e um grafo de contato foi construído representando todo o período do dia (24 horas). Quando comparadas as versões, verificou-se que nas versões calibradas houve um aumento da duração de contato e também da capacidade da rede.

Outra cidade analisada foi a Roma, Itália, os autores Diniz et al. [2017] realizaram uma classificação da mobilidade veicular. Foi investigado um *trace* de táxis da cidade durante 1 mês. Para realizar a análise, os dados dos *traces* foram agregados a cada uma hora e a análise foi realizada dentro destes espaços de tempo. Os dados foram analisados separando dias de semana e finais de semana, em que foi observado um padrão de locomoção semelhante durante todos os dias de semana e outro padrão no final de semana. Os autores verificaram que o fluxo de táxis nos dias de semana, tende a ter seu volume maior durante o horário de almoço e perto das 20 horas, aonde as pessoas estariam voltando para casa. Já nos finais de semana o volume maior fica perto das 21 horas, período em que as pessoas tendem a procurar algum lazer na cidade.

O trabalho dos autores Qiu et al. [2018] utilizou um *trace* de uma metrópole da China, que contém dados de táxis da cidade. Para realizar a análise, os dados foram agrupados em

grupos de 4 horas separados em 21 dias diferentes. O objetivo foi analisar como a velocidade do veículo, a velocidade relativa entre os veículos que estão se comunicando e a duração do link entre os veículos, podem afetar muito as comunicações V2V e a rede. Para velocidade veicular, verificou-se que a velocidade está de acordo com a distribuição normal, o que é razoável por causa do teorema do limite central. Para a velocidade relativa entre dois veículos comunicantes, a distribuição logística é mais adequada para modelar seu padrão estatístico. Além disso, a duração do *link* na comunicação veicular pode ser mais bem aproximada pela função generalizada de distribuição de Pareto.

3.3 Grafos Temporais

As cidades de *Bologna* e *Cologne* foram analisadas no trabalho dos autores Glacet et al. [2015]. A construção do grafo para análise foi dividida em dois passos. Primeiramente uma sequência de grafos instantâneos foram gerados, tal que $G_i = (V, E)$ representa o grafo de conexão no instante t_i . Os autores definem itinerários como uma sequência de tuplas onde cada tupla é feita de um par de nós e um *timestamp*. Se esse itinerário é factível em G , então é considerada uma rota. Com o grafo construído foi possível analisar que mesmo que não seja possível manter toda a rede conectada, protocolos de *store-carry-and-forward* podem melhorar a conectividade instantânea e em redes esparsas tem uma performance melhor.

O trabalho dos autores Qiao et al. [2017] avalia as características estruturais temporais envolvidas com os caminhos ordenados pelo tempo, acessibilidade e conectividade em VANETs. O *trace* usado foi da cidade de *Beijing*, no dia 05 de janeiro de 2009 de meio dia as 23:59. Os autores utilizam um modelo de grafo variante no tempo onde cria-se um grafo $G = (V, E)$ onde V representa todos os veículos e E representa um *link* entre os veículos onde a distância Euclidiana entre os veículos é menor que o raio de comunicação. Cada aresta é formada por uma quádrupla (u, v, t, λ) onde u e v são os veículos, t é o tempo em que o contato ocorreu e λ é a duração do contato. Baseado neste modelo as análises foram realizadas e os autores chegaram à conclusão de que os resultados obtidos podem levar a desenvolver protocolos com comunicações mais confiáveis e de baixa latência.

Semelhante ao trabalho Glacet et al. [2015], os autores Fiore et al. [2018] utilizam um grafo de evolução para representar os dados dos *traces* investigados. Estas cidades contêm diferentes densidades e características de tráfego. Nas análises foi possível identificar uma relação que destaca a adequação da comunicação temporal para ambientes veiculares. Foi possível também fornecer diretrizes úteis para a avaliação e previsão do desempenho de redes veiculares. Além disto, foi pressuposto que uma mensagem pode ser trocada entre dois veículos em cada intervalo de tempo, sendo assim os números adquiridos são considerados

como um cenário pessimista.

3.4 Discussão

No melhor do conhecimento dos autores deste trabalho, foram encontrados dois trabalhos com uma proposta semelhante à apresentada nesse estudo. Celes et al. [2018] realizaram uma verificação dos três tipos de grafos usados na modelagem da mobilidade, grafo instantâneo, grafo agregado e grafo temporal. Nesse trabalho, os autores analisa o resultado de algumas métricas em cada modelagem, mas não realiza nenhuma comparação entre as três abordagens. Diferente deste trabalho, onde serão comparados os resultados em cada um dos três tipos de modelagem da mobilidade veicular. Já em outro trabalho que tem características similares à essa dissertação, os autores Silva et al. [2017], compararam diferentes abordagens usando métricas de redes complexas. Entretanto, foram avaliadas poucas métricas. Os autores também utilizaram *traces* diferentes dos utilizados nesse trabalho.

Depois de apresentar os trabalhos relacionados, é possível ver que ainda não se tem um estudo que compare diretamente abordagens de modelagem. Na Tabela 3.1 é possível analisar mais claramente que os trabalhos normalmente utilizam uma das abordagens citadas anteriormente. Não é comum encontrar trabalhos que comparem ou utilizem mais de uma abordagem. Essa falta de comparações pode atrapalhar os pesquisadores na hora de escolher qual abordagem utilizar em seus estudos.

Outro importante fator é que cada trabalho analisa diferentes métricas de redes complexas. Nota-se então a necessidade de centralizar em um único trabalho uma análise do impacto que essas diferentes abordagens de modelagem, tem sobre as métricas de redes complexas. A visualização da Tabela ajuda a criar uma comparação mais visual dos trabalhos da literatura. Isso faz com que seja possível identificar algumas possibilidades de estudo.

Tabela 3.1: Trabalhos relacionados

Referência	Abordagem	Datasets	Métricas Analisadas
Naboulsi & Fiore [2013]	Instantânea	<i>Cologne</i>	Número de Componentes, Componente Gigante, Grau dos Nós, Centralidade de Intermediação
Hou et al. [2016]	Instantânea	Xangai	Velocidade do Componente, Tamanho do Componente
Naboulsi & Fiore [2017]	Instantânea	<i>Cologne</i>	Densidade, Velocidade dos Veículos, Número Componentes, Tamanho dos Componentes, Número de Nós no Maior Componente
Pallis et al. [2009]	Instantânea	<i>Zurich</i>	Grau dos Nós, Duração dos Contato, Índice de Lobby, Diâmetro, Centralidade de Proximidade, Centralidade de Intermediação, <i>Bridging Centrality</i> , Número de <i>Clusters</i> , Coeficiente de Agrupamento, Número de Comunidades
Guerber et al. [2018]	Agregada	Roma	Grau dos Nós, Centralidade de Intermediação, Centralidade de Proximidade, Centralidade, Coesão
Cunha et al. [2014]	Agregada	<i>Zurich</i>	Distância entre os Nós, Diâmetro, Densidade, Persistência de Aresta, Grau dos Nós, Coeficiente de Agrupamento, Centralidade de Proximidade
Cunha et al. [2016]	Agregada	São Francisco, Roma, Xangai	Duração do Contato, Tempo de Inter Contato, Capacidade da Rede
Diniz et al. [2017]	Agregada	Roma	Análise de Pontos de Interesse da cidade
Qiu et al. [2018]	Agregada	<i>Beijing</i>	Interpolação Linear, Distância dos Nós, Duração do Contato
Qiao et al. [2017]	Temporal	<i>Beijing</i>	Caminho Temporal, Menor Caminho Temporal, Conjunto Influência, Conjunto Origem, Média do Raio de Alcance, Centralidade de Proximidade, Número de Componentes
Glacet et al. [2015]	Temporal	<i>Cologne</i> e <i>Bologna</i>	Número de Componente, Grau dos Nós, Perda de Pacotes
Fiore et al. [2018]	Temporal	Várias	Densidade transitória de fechamento, Acessibilidade, Tempo de convergência, Densidade

Capítulo 4

Metodologia

Esta seção apresenta a metodologia utilizada neste trabalho. Serão apontados os procedimentos seguidos para que todos os resultados fossem obtidos. Como é possível ver pelo diagrama da Figura 4.1, o primeiro passo foi a escolha das bases de dados utilizadas nesse trabalho. Como bases de dados, foram utilizados dois arquivos de *traces* reais que armazenam os dados de mobilidade dos veículos ao longo do tempo e espaço. As bases de dados foram obtidas com os autores Silva et al. [2015] do trabalho *Filling the gaps of vehicular mobility traces*. Nesse trabalho os autores calibraram duas bases de dados para uma granularidade de 1 segundo. O segundo passo realizado foi o processo de converter arquivos de *traces* em arquivos de grafos. Nesse processo as bases de dados são convertidas em grafos e esses grafos salvos em arquivos, para que as métricas de redes complexas possam ser analisadas.

Nesse trabalho, optou-se por utilizar uma arquitetura de comunicação V2V, onde os veículos trocam mensagens somente entre eles e não existem infraestruturas fixas de comunicação. Essa decisão foi tomada para tentar refletir a realidade de várias cidades, que ainda não possuem o tipo de infraestrutura adequada para a implementação de uma arquitetura de comunicação Híbrida. Além disso, objetiva-se diminuir os custos para que uma VANET exista, visto que os custos de infraestruturas fixas aumentam o valor de custo para construção da rede.

Com o tipo de arquitetura escolhido, foi possível começar a conversão da base de dados em grafos. Os *traces* foram convertidos em grafos instantâneos, agregados e temporais e as métricas analisadas nos 3 tipos de grafos. Com os resultados obtidos foi necessário gerar uma visualização gráfica para que fosse possível analisar e comparar esses resultados em cada um dos grafos. Por fim, com a visualização pronta, foi possível gerar uma discussão sobre o impacto de diferentes abordagens sobre as métricas de redes complexas.

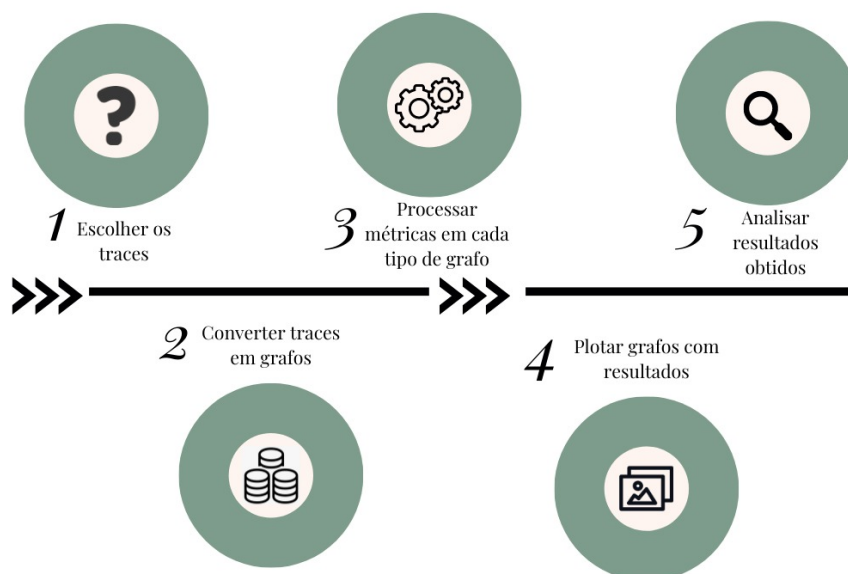


Figura 4.1: Metodologia utilizada na dissertação.

4.1 Base de Dados

Neste estudo, foram utilizadas duas bases de dados de mobilidade veicular de duas cidades diferentes: a cidade de São Francisco localizada no norte da Califórnia, Estados Unidos e a cidade de Roma, capital da Itália. A base de dados da cidade de Roma, contém dados de aproximadamente 320 táxis. O *trace* original [Bracciale et al., 2014] contém dados do dia 01 de fevereiro de 2014 até o dia 02 de março de 2014. O arquivo possui medições de cada táxi a cada 7 segundos. O arquivo calibrado obtido com os autores Silva et al. [2015] foi calibrado para 1 segundo e corresponde a um dia de semana. As descobertas feitas nesse *trace* se aplicam para os demais dias, exceto finais de semana, pois segundo os autores Diniz et al. [2017] o padrão de movimentação neste *trace* é constante durante os dias da semana.

Outra base de dados utilizada foi a da cidade de São Francisco. Esse *trace* contém dados de aproximadamente 500 táxis. O *trace* original [Piorkowski et al., 2009] têm medições do dia 17 de maio de 2008 até o dia 10 de junho de 2008. Seguindo o mesmo padrão adotado pela outra base de dados, a análise foi feita sobre um dia de semana. O algoritmo de calibração utilizado também foi o do trabalho dos autores Silva et al. [2015] com granularidade de 1 segundo. Apesar de apenas um dia ter sido avaliado, a metodologia não muda. Como trabalho futuro, pretende-se fazer uma avaliação mais extensa, incluindo um período maior de dias, além de outros *traces* de outros tipos de veículos que não sejam táxis.

4.2 Modelagem dos Dados

Em grafos que representam redes veiculares, os vértices representam os veículos e as arestas representam a existência de contato entre eles. Para que um contato entre dois veículos exista, é necessário que os dois estejam dentro de um raio de comunicação. Este raio de comunicação depende da capacidade do equipamento que cada veículo possui. Além disso, existem outros fatores que podem influenciar na atenuação do sinal para troca de informações [Schmidt et al., 2009]. Neste trabalho, considerou-se o raio de comunicação de cada veículo como 200 metros [Hui et al., 2010]. Outros raios poderiam ser considerados, mas a metodologia utilizada aqui não será alterada. Como trabalhos futuros, pretende-se verificar se a variação do raio vai alterar a forma como cada abordagem impacta sobre as métricas de rede.

Antes de descrever como os *traces* foram convertidos em grafos, é necessário formalizar os tipos de grafos utilizados nesse estudo. Na literatura existem três diferentes maneiras comumente encontradas para modelar a mobilidade veicular: grafos instantâneos, grafos agregados e grafos temporais. Antes de prosseguir, serão definidos os grafos utilizados para modelar a mobilidade veicular.

a) *Grafo Instantâneo*: um grafo instantâneo é gerado a partir de um instante t do *trace* e a análise das métricas é feita sobre este instante. Neste tipo de abordagem, o fator temporal não é levado em consideração e a caracterização é baseada na análise deste único instante. Formalizando, $G_I = (V, E)$, tal que $V(t) = \{v_i(t)\}$ é o conjunto de vértices pertencentes ao grafo no instante t e $E(t) = \{e_{ij}(t) | v_i(t), v_j(t) \in V, i \neq j\}$ é o conjunto de arestas que ligam dois vértices do grafo. Neste trabalho, realizou-se a análise instantânea a cada 15 minutos pois, esse foi o mesmo tempo utilizado para gerar os grafos agregados. Assim será possível comparar de forma mais justa os resultados dessas modelagens.

b) *Grafo Agregado*: o grafo agregado é a representação da mobilidade veicular durante um intervalo de tempo pré-estabelecido. Nesse tipo de grafo, todos os vértices e arestas existentes durante o intervalo escolhido são agrupados em um único grafo. Formalizando, $G_A = (V, E)$ tal que $V_A = V_t \cup V_{(t+1)} \cup V_{(t+2)} \dots \cup V_{(t+n)}$ e $E_A = E_t \cup E_{(t+1)} \cup E_{(t+2)} \dots \cup E_{(t+n)}$. Neste trabalho, utilizou-se um período de 15 minutos para gerar o grafo agregado. Este tempo foi escolhido por ser semelhante ao tempo usado no trabalho de Celes et al. [2018] que compara essas abordagens.

c) *Grafo Temporal*: por fim, o grafo temporal é um grafo que analisa todo o período do *trace*. Para isso, em cada segundo um grafo é gerado e analisado, isso faz com que seja possível verificar o impacto em cada métrica, ao longo do tempo no *trace*. Formalizando $G_{TVG} = (G_1, G_2, \dots, G_n)$ onde G_n representa o grafo do *trace* no instante n .

4.3 Construção dos Grafos

Escolhidas as bases de dados e quais modelos serão utilizados, o próximo passo é converter os arquivos de *traces* em grafos. Para isso, utilizou-se a biblioteca *NetworkX* da linguagem *Python* [Developers, 2010]. Essa é uma biblioteca usada para criar, manipular e estudar estruturas de redes complexas.

O Algoritmo 1 apresenta o trecho de código que transforma o arquivo de *trace* em grafos. Conforme descrito, todas as linhas do *trace* são processadas. O primeiro passo (linha 5) é realizar a interpretação de cada linha de registro no *trace*. Isso significa que a função *interpretarLinha* vai dividir o conteúdo da linha em *ID* do veículo (*idVeiculo*), latitude (*lat*), longitude (*long*) e por fim o índice do grafo (*indiceGrafo*). Esse índice do grafo representa o período do dia à que ele equivale. Sabe-se que um dia possui 86.400 segundos, logo, esse índice varia entre 1 e 86.400 representando que aquele grafo equivale ao segundo do dia de seu índice. Feito isso, um nó com os dados interpretados da linha é criado e adicionado ao grafo do seu respectivo índice (linha 8).

Algoritmo 1: Convertendo arquivo de *trace* para grafo

```

Input: trace, R
Output:  $G \langle G_1, G_2, \dots, G_{86400} \rangle$ 
 $G = \langle G_1, G_2, \dots, G_{86400} \rangle$ ;
foreach linha_trace do
    |  $lat, long, indiceGrafo, idVeiculo = interpretarLinha(linha\_trace)$ 
    |  $i = calculaIndice(timestampdotrace)$ ;
    | if  $idVeiculo \notin No[G_{indiceGrafo}]$  then
    | |  $G_{indiceGrafo} \leftarrow Node(idVeiculo, lat, long)$ 
    | end
end
foreach  $G_i \in G$  do
    | foreach  $parNos(i, j) \in G_i$  do
    | | if  $distancia(i, j) \leq R$  then
    | | |  $G_i \leftarrow Aresta(i, j)$ 
    | | end
    | end
end

```

Com os nós adicionados, a próxima etapa é verificar a existência de aresta entre os nós. Esse processo deve ser executado para cada grafo G_i pertencente à G . Então, em cada grafo verifica-se, para cada par de nós i e j a distância entre eles. Caso essa distância seja menor ou igual ao raio passado por parâmetro (R), uma aresta entre estes nós é criada e adicionada ao grafo. Após a execução desse algoritmo, um grafo temporal é criado, com toda a extensão

do *trace* de 24 horas gerado em forma de grafos. Consequentemente, o grafo instantâneo também já está calculado e pode ser acessado pelo grafo temporal a complexidade de $O(1)$.

Calculado o grafo temporal e instantâneo, criou-se um algoritmo para criar os grafos da abordagem agregada. O Algoritmo 2 demonstra os passos para gerar os grafos agregados a partir dos grafos temporais. Nesse trabalho o tempo escolhido como intervalo da abordagem agregada foi de 15 minutos. Esse tempo foi escolhido baseado no estudo dos autores Celes et al. [2018], que mais se assemelha ao que essa dissertação apresenta. Esses 15 minutos correspondem à 900 segundos, sendo assim, precisamos agrupar os nós e arestas em um único grafo utilizando 900 grafos temporais.

Para criar o grafo agregado o Algoritmo 2 utiliza o seguinte processamento: seleciona o período a ser agregado (15 minutos que representa 900 segundos), pega cada grafo que representa cada um desses 900 segundos e adiciona todos os nós e arestas existentes nesses grafos ao grafo agregado. Ao final do processamento temos um grafo agregado que possui todos os nós e arestas que existiram durante os 15 minutos agregados.

4.4 Métricas Analisadas

Agora serão apresentadas as métricas que foram utilizadas neste trabalho. As métricas descritas a seguir são as frequentemente encontradas na caracterização de *traces* e isso pode-se confirmar ao observar a Tabela 3.1. A seguir serão explicadas as métricas avaliadas nesse trabalho, juntamente com exemplos de sua utilização em trabalhos da literatura.

Diâmetro: após calcular o menor caminho entre todos os pares de nós, o diâmetro é representado pelo maior desses menores caminhos. Nesse trabalho foi realizada uma média dos valores dos diâmetros de cada componente de rede. Verificar o diâmetro da rede é muito importante e pode ajudar em vários aspectos. Um deles é na decisão do posicionamento das estações base (RSU's) em uma rede veicular [Banerjee et al., 2008]. Além disso, fornece uma estimativa de abrangência geral dos automóveis no mapa. Ajuda também a descobrir o atraso de ponta a ponta para entregar uma mensagem de uma fonte a um destino ou o atraso total para executar a transmissão em toda a rede [Pallis et al., 2009]. Outra utilidade do diâmetro é nos algoritmos de roteamento *Open shortest path first* que se baseia no algoritmo de *Dijkstra* de menor caminho entre os nós.

Densidade: a densidade de uma rede é a relação entre o número de arestas existentes no grafo e o número de todas as arestas possíveis. Da mesma forma, foi computada a média da densidade de cada componente de rede. Existem várias situações em que o estudo da densidade da rede pode aprimorar o trânsito. Por exemplo, os autores do trabalho Artimy [2007], utilizaram a verificação da densidade da rede para criar um alcance dinâmico da

Algoritmo 2: Criando grafos da abordagem agregada

```

Input:  $G_T \langle G_1, G_2, \dots, G_n \rangle$ 
Output:  $G_A \langle G_1, G_2, \dots, G_{96} \rangle$ 
 $G_A = \langle G_1, G_2, \dots, G_{96} \rangle$ ;
 $contador = 1$ ;
 $indice = 1$ ;
for  $indice < 97$  do
     $indiceTemporal = contador$ ;
     $contador = contador + 900$ ;
    for  $indiceTemporal \leq contador$  do
         $G_A[indice] \leftarrow Nos(G_T[indiceTemporal])$ ;
         $G_A[indice] \leftarrow Arestas(G_T[indiceTemporal])$ ;
         $indiceTemporal = indiceTemporal + 1$ ;
    end
     $indice = indice + 1$ ;
end
foreach  $linha\_trace$  do
     $lat, long, indiceGrafo, idVeiculo = interpretarLinha(linha\_trace)$ 
     $i = calculaIndice(timestampdotrace)$ ;
    if  $idVeiculo \notin No[G_{indiceGrafo}]$  then
         $G_{indiceGrafo} \leftarrow Node(idVeiculo, lat, long)$ 
    end
end
foreach  $G_i \in G$  do
    foreach  $parNos(i, j) \in G_i$  do
        if  $distancia(i, j) \leq R$  then
             $G_i \leftarrow Aresta(i, j)$ 
        end
    end
end

```

disseminação de informação na rede. Com isso é possível diminuir o número de colisões e aumentar a taxa de entrega da rede. Já os autores do trabalho Mao & Mao [2013] utilizam a verificação da densidade da rede para criar um algoritmo de roteamento que visa a melhor distribuição do tráfego.

Número de arestas: representa a quantidade de contatos existentes entre os vértices do grafo. No caso de redes veiculares, significa que dois veículos estão próximos o suficiente para trocar informações. Esta é uma das principais métricas das redes veiculares pois, verifica os contatos de um veículo com o outro. É por esse motivo que trabalhos como o dos autores Li et al. [2012] caracterizam os contatos de uma rede, buscando aprimorar o tráfego. Em outro trabalho, os autores Li et al. [2015] investigam como melhorar a disseminação de informação na rede com a ajuda de RSU's.

Número de Componentes: um componente conexo de um grafo é composto por nós do grafo de forma que existe um caminho entre todos os pares de nós pertencentes ao componente. Identificar os componentes ajuda a identificar como as comunidades se modificam e se movimentam ao longo do tempo. Também é possível verificar a alcançabilidade da comunicação em cada grupo. Em redes veiculares, é comum ter uma alta mudança na topologia da rede devido às condições do trânsito. A variação do número de componentes da rede também pode servir para analisar a conectividade da rede.

Número de Nós no Maior Componente: essa métrica identifica o número de nós no componente que possui mais nós. Isso nos permite avaliar a maior quantidade de nós conectados num dado instante. Essa métrica também indica conectividade na rede. Quanto mais nós, fizerem parte do maior componente conexo, mais conexa uma rede está.

Grau do Nó: o grau de um nó é dado pelo número de arestas incidentes neste nó, ou seja, o número de veículos com que ele consegue se comunicar diretamente. Nesse trabalho avaliou-se a média do grau dos nós. Estudar essa métrica ajuda a definir a distribuição do grau dos nós para geração de modelos que simulam a movimentação nas redes veiculares. Essa métrica também é analisada com frequência, como fizeram os autores Ding et al. [2007] que utilizaram o grau do nó para criar um algoritmo de roteamento visando melhorar a taxa de entrega dos pacotes.

Centralidade de Intermediação: essa métrica quantifica o número de vezes que um nó faz parte do menor caminho entre outros dois nós. Também foi realizada uma média da Centralidade de Intermediação dos nós. As medidas de centralidade ajudam a identificar os nós que são considerados influenciadores no ambiente em que estão. Nós com alto grau de centralidade de intermediação, caso removidos da rede podem gerar uma desconexão que impacta negativamente a distribuição dos dados. Existem vários estudos que podem se beneficiar da análise dessa métrica, um deles é o dos autores Kchiche & Kamoun [2010] que analisam quais os melhores pontos onde as RSU's devem ser adicionadas para que haja aprimoramento da comunicação V2V. Esse estudo leva em conta a centralidade de intermediação para definir esses pontos.

Centralidade de Proximidade: em grafos conexos, existe uma medida de distância entre todos os nós, definida pelo comprimento de seus menores caminhos. Da mesma forma que na métrica anterior, calculou-se a média da Centralidade de Proximidade dos nós. O afastamento pode ser indicado como a soma das distâncias de seus menores caminhos entre todos os nós. A centralidade de proximidade é calculada pelo inverso do afastamento. Os autores Freeman [1978] exibem vários exemplos de como a centralidade de proximidade pode ser usada para encontrar pontos centrais do grafo.

Coeficiente de Agrupamento: esta medida, informa o grau com que os veículos tendem a formar grupos. Estes grupos normalmente possuem laços fortes e têm objetivos em

comum e, geralmente, são chamados de comunidades. Isso pode facilitar o direcionamento de informações para determinado grupo de nós. Essa métrica além de ser usada em algoritmos de roteamento de mensagens [Zhang et al., 2011], também pode ser utilizada para auxiliar na distribuição do trânsito [Peng et al., 2006].

Correlação Temporal: é a probabilidade de uma aresta persistir em dois intervalos de tempo consecutivos em um grafo. Uma alta correlação indica que os contatos entre os veículos tendem a acontecer com frequência. Isso pode favorecer na criação de soluções personalizadas que permitem a resolução de problemas de tráfego. Os autores Büttner et al. [2016] mostram como calcular e quais aplicações dessa métrica.

Capítulo 5

Resultados

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos nesse estudo. Utilizaram-se três diferentes abordagens para modelar a mobilidade urbana: instantânea, agregada e temporal. O objetivo é verificar como algumas métricas de redes complexas se comportam quando submetidas à grafos de diferentes modelagens. Pretende-se definir qual o impacto a escolha da modelagem tem sobre os resultados das métricas. Além disso, será feita uma análise comparativa entre as métricas para definir vantagens e desvantagens de se utilizar cada grafo.

5.1 Comportamento do Trânsito nas Cidades de Roma e São Francisco

Inicialmente, realizou-se uma análise do fluxo do trânsito ao longo do dia nas duas bases de dados selecionadas. Com isso, é possível entender melhor o comportamento do tráfego dessas cidades e compreender melhor os resultados obtidos nas próximas seções.

A Figura 5.1a mostra a movimentação dos veículos em Roma durante o dia. Pode-se notar que entre meia-noite e 4 horas da manhã, poucos veículos estão trafegando na cidade. Isso era esperado, já que normalmente o fluxo de trânsito durante a madrugada de um dia de semana tende a ser menor. Depois desse horário, o número de automóveis em movimento começa a subir aos poucos e por volta de 13 horas a rede atinge seu pico. Essa movimentação intensa acontece próximo ao horário de almoço, o qual acredita-se ser o motivo do tráfego atingir seu valor mais expressivo. Após esse horário de pico, o trânsito diminui e se estabiliza entre os horários de 16 e 20 horas. Nesse horário as pessoas estão saindo de seus serviços e indo em direção às suas casas. Posteriormente, o movimento na rede volta a diminuir até o final da noite. Verificou-se na literatura, pelo trabalho dos autores Diniz et al. [2017], que este comportamento se mantém semelhante durante todos os dias da semana (segunda-feira

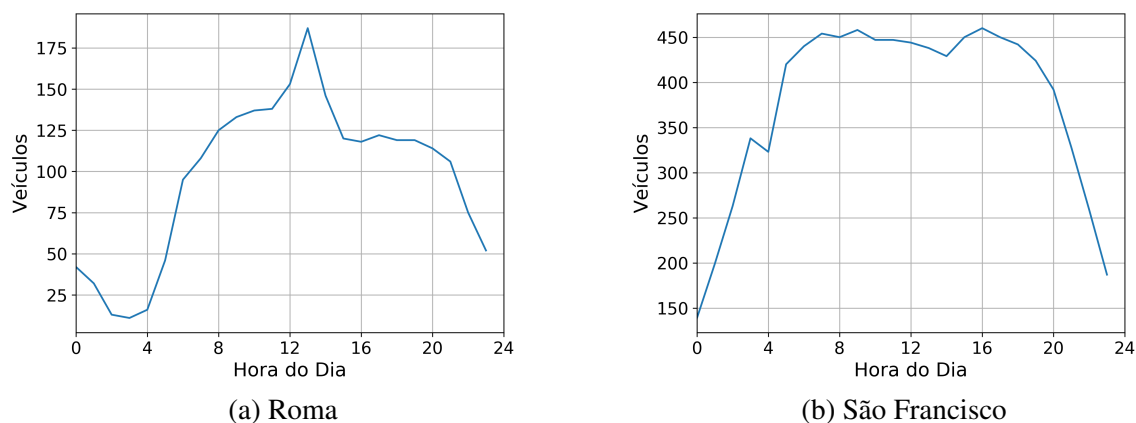


Figura 5.1: Fluxo de veículos durante o dia.

à sexta-feira). Com este tipo de informação, é possível saber que ao desenvolver aplicações ITS, pode-se levar em consideração este comportamento como padrão para os dias de semana.

Já na cidade de São Francisco, percebe-se na Figura 5.1b, que a madrugada se inicia com um fluxo de tráfego baixo, semelhante ao *trace* de Roma. Com o passar do tempo o trânsito vai ficando mais intenso até que por volta de 8 da manhã, o tráfego atinge o fluxo máximo. Esse horário é um horário próximo ou igual ao horário de abertura da maioria das lojas e comércios. Sendo assim presume-se que seja esse o motivo do intenso tráfego. O trânsito se mantém pesado durante todo o período da manhã e da tarde. Diferentemente de Roma, que atinge o pico somente às 13 horas, o fluxo da cidade de São Francisco é mais carregado durante toda a parte da manhã e tarde. Isso só mostra que diferentes locais tendem a apresentar diferentes características. Também enfatizando a necessidade de se estudar a mobilidade veicular de diferentes locais buscando melhorar a experiência das motoristas.

5.2 Impacto dos Diferentes Tipos de Grafos

Esta seção apresenta os resultados comparativos para os três tipos de abordagens: Grafos Instantâneos, Grafos Agregados e Grafos Temporais, para os *traces* de Roma e São Francisco. Avaliou-se os resultados para os modelos em nove métricas de redes complexas. O objetivo é comparar de forma efetiva e direta o resultado obtido nas diferentes modelagens e analisar qual o impacto gerado de fato nas métricas.

A primeira métrica a ser discutida será Número de Arestas. Ao observar as Figuras 5.2a e 5.4a é possível ver que em ambos os *traces*, os três diferentes tipos de modelagem geram resultados bem distintos. Na abordagem que utiliza o grafo agregado, o Número de Arestas

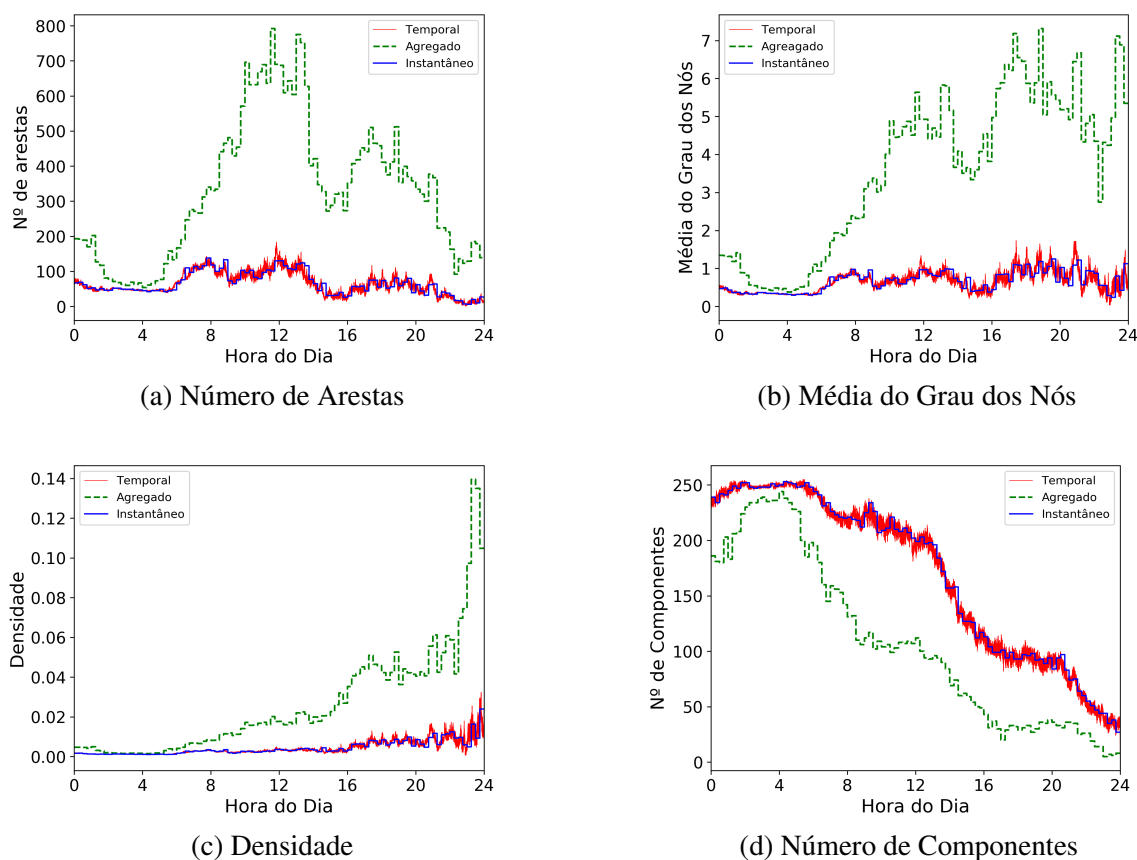
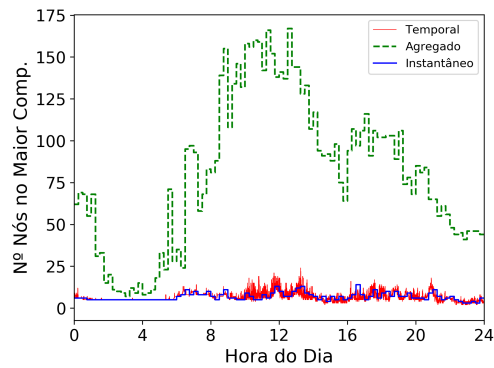


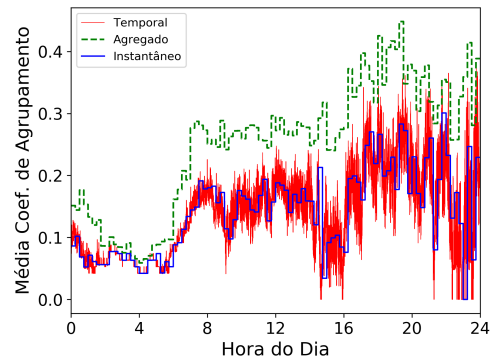
Figura 5.2: Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.

é superior quando comparado às outras duas abordagens. Em Roma esse valor chega a ser quase 8 vezes maior nos horários próximos ao meio-dia. Já em São Francisco, essa diferença não é tão expressiva, mais ainda chega a ser aproximadamente 2 vezes maior na parte da tarde. Isso acontece, pois todas as arestas existentes no período de 15 minutos que foram agregados, são adicionadas ao grafo agregado. No grafo instantâneo, a curva de evolução dessa métrica tende a refletir mais a realidade, porém ainda existe uma relevante perda de informação. Vale lembrar que a decisão de analisar um grafo instantâneo a cada 15 minutos aproximou mais essa métrica da análise temporal. Em alguns estudos da literatura o grafo instantâneo é analisado à cada 4 horas, fazendo com que a perda de informação seja ainda maior. Somente na análise temporal, é possível ver de forma mais clara como o Número de Arestas se comporta ao longo do dia. É possível observar de forma mais suave a variação do em cada horário do dia.

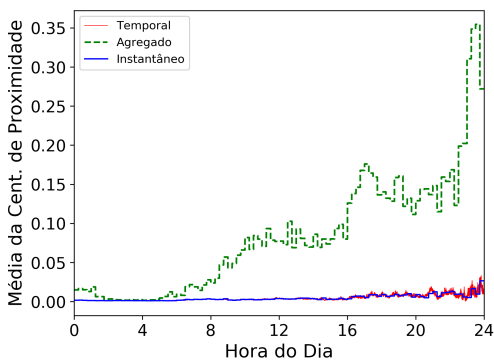
Outra métrica que decidiu-se analisar foi o Grau dos Nós, que depende diretamente do número de arestas em no grafo. Como era de se esperar, quando se realizou as comparações entre os três tipos de grafos, foi possível notar um comportamento bem semelhante ao do



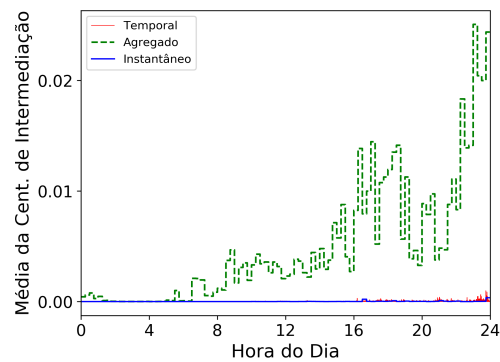
(a) Número de Nós do Maior Componente



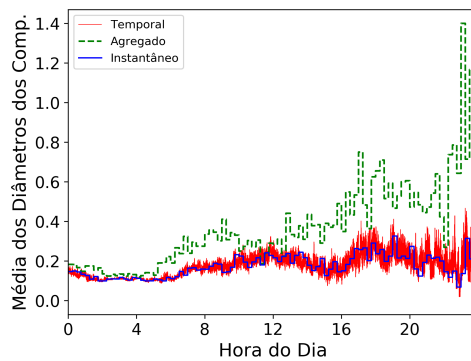
(b) Média do Coeficiente de Agrupamento



(c) Média da Centralidade de Proximidade



(d) Média da Centralidade de Intermediação



(e) Diâmetro

Figura 5.3: Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.

número de arestas. Ao olhar para as Figuras 5.2b e 5.4b, é possível notar que as curvas do gráfico são bem semelhantes às do gráfico de Número de Arestas. Também nessa análise a abordagem agregada apresenta um resultado superior às outras duas. Sendo que na instantânea, mais uma vez o fator temporal é ignorado. Assim como nas métricas analisadas anteriormente, na cidade de Roma o impacto é maior do que na cidade de São Francisco. Enquanto em Roma, a diferença do grafo agregado para os o grafo instantâneo e temporal

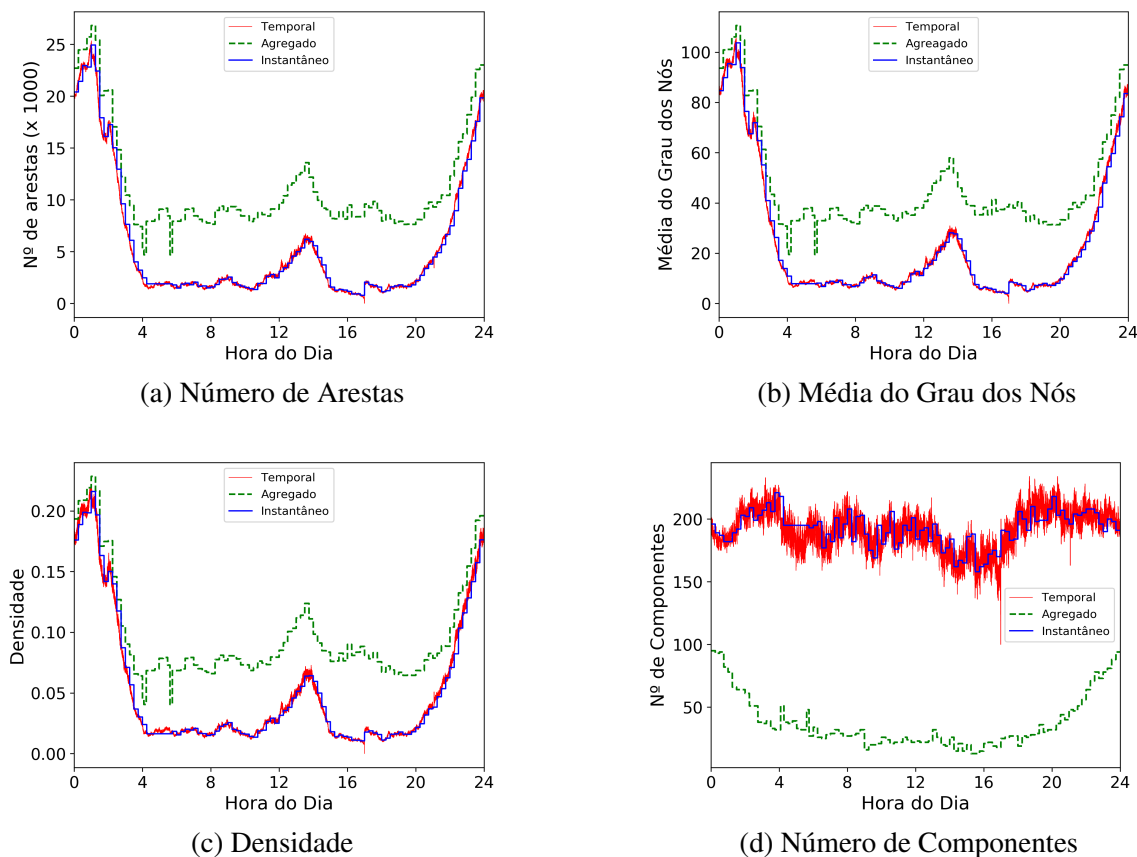
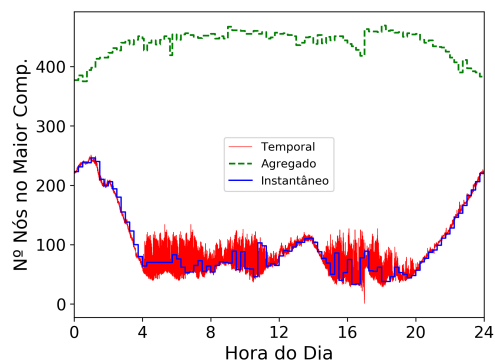


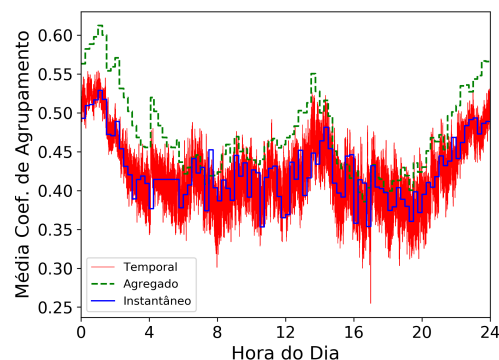
Figura 5.4: Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.

chega a ser de 7 vezes maior, na cidade de São Francisco, este valor aproxima-se apenas de 2 vezes maior.

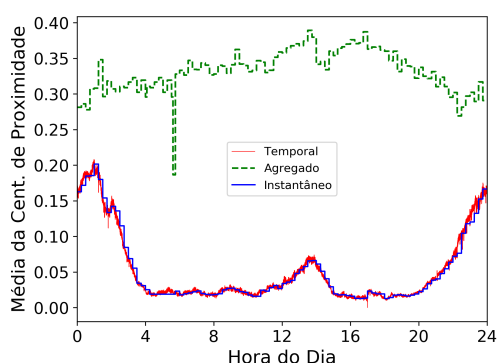
O mesmo padrão acontece quando se investiga a Densidade da rede, que depende diretamente do número de arestas no grafo. Pode-se confirmar isso analisando as Figuras 5.2c e 5.4c. A Densidade da rede tem resultados maiores na análise agregada. Como a Densidade depende diretamente do número de arestas, era esperado que na abordagem agregada, assim como ocorreu na análise das arestas, esse grafo apresentasse valores maiores. Também da mesma forma, a abordagem instantânea desconsidera o fator temporal e faz com que muita informação seja ignorada. Por fim, a análise temporal apresenta uma curva mais suave, que permitem visualizar de forma mais clara a evolução da densidade em ambos os *traces*. Quando se compara o grafo do Número de Arestas com o grafo da Densidade no *trace* de Roma, percebe-se que o horário que o Número de Arestas atinge seu maior valor (meio-dia) não corresponde ao horário que a Densidade apresenta seus maiores valores na mesma abordagem (23 horas). Isso provavelmente acontece pois, como a Densidade apresentada é a média de cada componente conexo do grafo, o Número de Arestas não afetou de forma



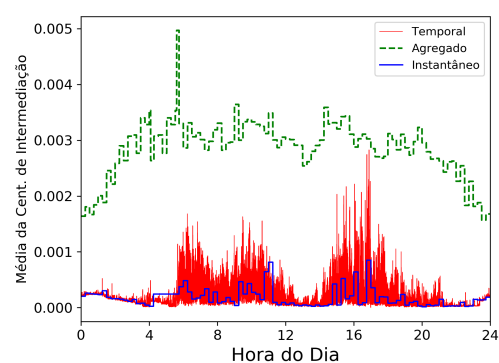
(a) Número de Nós do Maior Componente



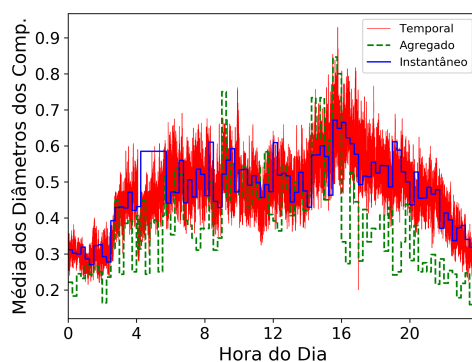
(b) Média do Coeficiente de Agrupamento



(c) Média da Centralidade de Proximidade



(d) Média da Centralidade de Intermediação



(e) Diâmetro

Figura 5.5: Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.

igual todos os componentes. Assim, a Densidade apesar de aumentar, não seguiu as mesmas proporções do gráfico do número de arestas.

Resolveu-se analisar também como as abordagens teriam impacto nos componentes da rede. Para isso verificou-se o Número de Componentes e o número de automóveis presentes no Maior Componente. Olhando para as Figuras 5.2d e 5.4d, pode-se perceber que o Número de Componentes no grafo agregado é menor, quando comparado aos outros grafos. Como na

abordagem agregada existem mais arestas, conseqüentemente os veículos tendem a se agrupar em um número menor de componentes. Isso prova que o grafo agregado acaba sendo um grafo mais conexo que os grafos instantâneo e temporal. Conseqüentemente, analisando as Figuras 5.3a e 5.5a, pode-se ver que o número de automóveis no Maior Componente do grafo agregado também é maior. Como os veículos foram agrupados agora em uma quantidade menor de componentes, já era esperado que o número de nós nos maiores componentes aumentasse.

O Coeficiente de Agrupamento foi outra métrica investigada. Observando as Figuras 5.3b e 5.5b pode-se notar que mais uma vez a abordagem agregada tem valores maiores que as outras duas abordagens, mesmo que nessa métrica o impacto não tenha sido tão grande. É interessante ressaltar que entre a abordagem instantânea e temporal, a abordagem temporal mostra a variação dos valores de forma mais clara. É possível ver que os valores têm uma variação de até 0.1. Na abordagem instantânea não é possível observar isso, já que o fator temporal é desprezado.

Foram analisadas também outras duas métricas de redes complexas, a Centralidade de Proximidade e a Centralidade de Intermediação. Quando se examina a Centralidade de Proximidade nas Figuras 5.3c e 5.5c, existe uma diferença nos três tipos de grafos. Como no grafo agregado existem mais arestas, existe também uma maior variedade de caminhos entre dois pares de nós e dentre esses caminhos, é mais fácil encontrar um de menor valor que no grafo instantâneo e no temporal. Sendo assim, no grafo agregado, a Centralidade de Proximidade é maior em alguns períodos do dia. Isso também ocorre na Centralidade de Intermediação como mostram as Figuras 5.3d e 5.5d. É possível notar nessas duas métricas como a abordagem agregada pode apresentar valores superiores que estão mais distantes da realidade. No *trace* de Roma é possível observar que os valores na abordagem instantânea e temporal ficam bem próximos de zero, o que não acontece na abordagem agregada.

Por último, avaliou-se o Diâmetro da rede. Ao analisar o resultado nas duas bases de dados nas Figuras 5.3e e 5.5e percebe-se que o impacto na cidade de Roma foi maior que na cidade de São Francisco. Em Roma, a abordagem agregada tem resultados de Diâmetro maiores que na abordagem temporal. Já na cidade de São Francisco essa diferença não chega a ser tão expressiva. Na abordagem instantânea, é possível ver a curva de evolução da métrica, porém no grafo temporal, vê-se de forma mais precisa o desenvolvimento do Diâmetro ao longo do dia.

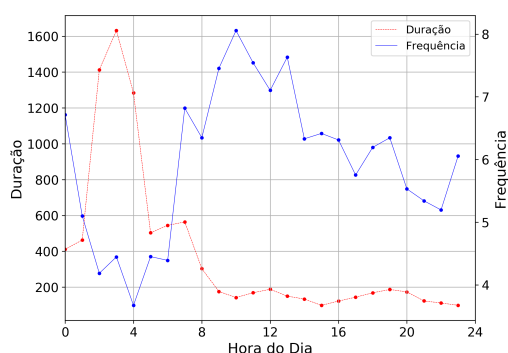
5.3 Frequência vs. Duração das Arestas

Foi investigada a relação entre frequência e duração dos contatos entre os automóveis. Com isso pode-se ter uma perspectiva melhor de como funciona a troca de informações entre os veículos ao longo do dia.

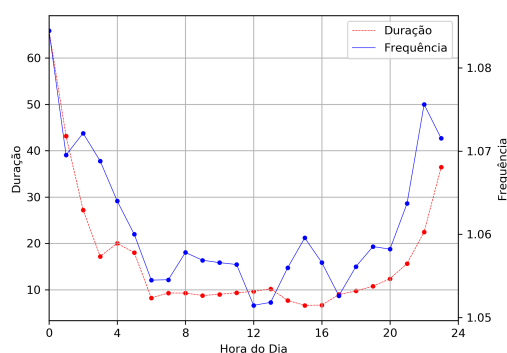
Inicialmente o comportamento dos contatos dos veículos na cidade de Roma foi analisado. Como é possível observar na Figura 5.6a, no período entre meia-noite e 6 : 00 da manhã, os contatos são mais duradouros e menos frequentes. Isso significa que os veículos tendem a manter o contato por mais tempo, mas raramente se reencontram neste período. A partir do horário de 6 : 00, a situação muda e os contatos passam a ter uma duração menor, porém os reencontros são mais frequentes. Sendo assim, os veículos tendem a se manter menos tempo próximos, mas tendem a ter encontros recorrentes. Uma das explicações para esse fator é a alta movimentação dos veículos ao longo do dia vistos na Seção 5.1.

Na cidade de São Francisco, Figura 5.6b, observou-se que os contatos ocorrem em média uma única vez por hora e seu período conectado é próximo a 20 segundos no horário de maior movimentação do *trace* (entre 8 e 18 horas). Isso mostra que os veículos não se encontram frequentemente e não mantêm contatos muito duradouros ao longo do dia. Além disso, é possível observar que no período da noite os contatos têm uma duração maior do que ao longo do dia. Este tipo de informação sugere que diferentes soluções/estratégias devem ser desenvolvidas/consideradas para diferentes momentos.

Na cidade de Roma, os contatos se mantêm ativos durante mais tempo, fazendo com que seja possível trocar mais informações entre os pares de nós. Isso não acontece na cidade de São Francisco, onde os contatos devem ser melhor aproveitados já que não acontecem com frequência e têm um curto período de duração. Soluções personalizadas possivelmente serão necessárias visto que em cada ambiente, existe um comportamento diferente dos veículos.



(a) Roma



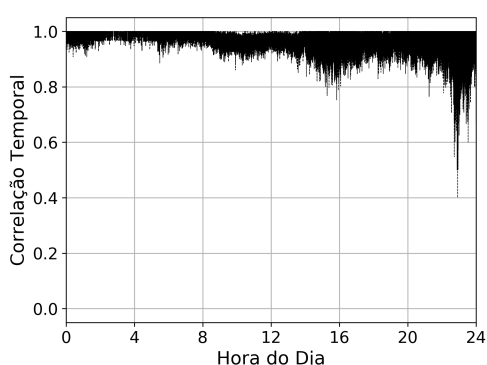
(b) São Francisco

Figura 5.6: Duração vs. Frequência dos contatos ocorridos durante o dia.

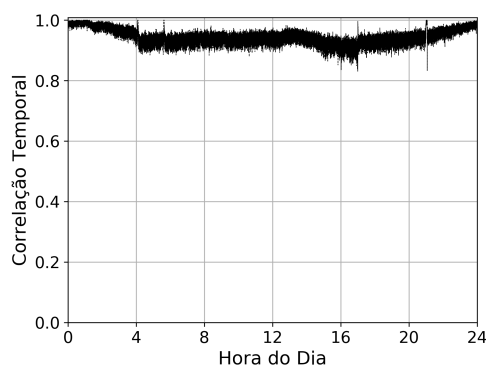
5.4 Correlação Temporal das Arestas

A correlação temporal das arestas [Büttner et al., 2016] é uma métrica que mensura a probabilidade de uma aresta persistir por dois instantes consecutivos em um grafo temporal. O intuito de analisar essa métrica é complementar as informações obtidas na Seção anterior. Ao analisar esta métrica, pode-se entender melhor qual a probabilidade de um contato entre os veículos se manter ao longo do dia. Se um contato tende a existir, pode significar que estes veículos possuem um relacionamento, como em uma rede social. Será discutida primeiro a análise realizada na cidade de Roma. Observando a Figura 5.7a, é possível notar que os encontros ocorridos durante o dia tendem a ser recorrentes. Isso mostra, que os relacionamentos criados pelos veículos são duradouros, fazendo com que um automóvel esteja sempre em contato com seu círculo social. Observa-se que no período da noite, esta probabilidade diminui um pouco, mas ainda mantendo-se alta, com valores próximos à 0.8. Pressupõe-se que isso ocorre por ser o fim do expediente e os táxis começam a se deslocar para diferentes bairros, fazendo com que alguns contatos não existam mais.

Já na Figura 5.7b observa-se que a correlação temporal na cidade de São Francisco é alta e tende a manter valores mais constantes durante todo o período do dia. Isso significa que, também neste *trace*, os veículos criam relacionamentos que duram ao longo do dia, fazendo assim com que as arestas tenham grande probabilidade de continuar existindo. A correlação temporal pode ajudar no aprimoramento de aplicações para ITS (*Intelligent Transportation System*) pois permite entender o comportamento das arestas (conectividade) de um grafo. No caso de redes veiculares, como é necessário aproveitar da melhor forma possível o tempo de contato entre os veículos, pode-se projetar soluções personalizadas para cada tipo de situação e local.



(a) Roma



(b) São Francisco

Figura 5.7: Correlação Temporal das arestas com as horas do dia.

5.5 Correlação entre as Métricas

Com o intuito de verificar como as métricas analisadas se relacionam, foi calculada a Correlação de Pearson e gerado um mapa de calor. O intuito da geração dessa correlação, foi tentar identificar como as métricas estão relacionadas nos diferentes *traces*. Explorar esse mapa de calor pode contribuir para a descoberta de novas características do trânsito em cada cidade.

O conhecimento gerado pode revelar quais ações podem ser tomadas para solucionar problemas existentes na mobilidade veicular. Na Figura 5.8 é possível observar os resultados obtidos nesse processo. A seguir, será apresentado de forma separada para cada cidade os resultados obtidos, pois eles são diferentes e cada cidade apresenta um desempenho diferente.

Roma:

Analisando as correlações para o *trace* de Roma, pode-se verificar correlações consideradas fortes, diretas e inversa (valores entre 0.9 e 1 e entre -1 e -0.9) e as correlações fortes, diretas e inversas (valores entre 0.8 e 0.9 e entre -0.9 e -0.8). Uma correlação direta significa que à medida que o valor de uma determinada variável avaliada aumenta, as variáveis correlacionadas também aumentam seu valor. Observando a Figura 5.8a pode-se identificar duas correlações diretas e fortes. A primeira é entre o coeficiente de agrupamento e o grau médio dos nós. Isso mostra que quando o grau dos nós aumenta, também aumenta a probabilidade de este nó estar envolvido em um grupo com objetivos semelhantes. Isso acontece pois o nó aumenta seu círculo de contatos, aumentando a chance de algum vizinho ter os mesmos objetivos. Outra correlação direta e forte analisada é entre a densidade da rede e a centralidade de proximidade. Este resultado era esperado visto que à medida que a densidade da rede aumenta, também aumentam as arestas presentes no grafo, fazendo assim com que os nós se tornem mais próximos uns dos outros.

Nas correlações inversas, à medida que uma variável aumenta a outra diminui seu valor e vice-versa. Nota-se duas correlações consideradas fortes. A primeira delas é entre o número de componentes e o coeficiente de proximidade. Isso acontece pois, à medida que o número de componentes aumenta, a quantidade de nós nesses componentes diminui, fazendo com que os nós se tornem mais distantes uns dos outros. Desta forma uma comunicação entre eles precisa efetuar mais saltos (retransmissões). Outra correlação observada é entre a densidade e o número de componentes. Ela é considerada inversa e forte pois, à medida que a densidade da rede aumenta, mais arestas fazem parte do grafo, diminuindo assim o número de componentes.

São Francisco:

Ao observar a Figura 5.8b pode-se ver que existem várias correlações entre as métricas. Para melhor organizar a análise, primeiro serão discutidas as correlações diretas e

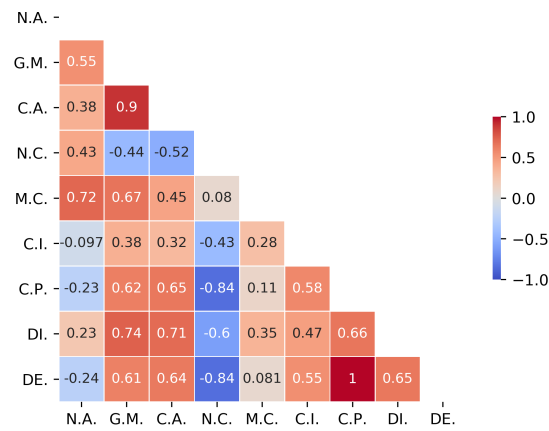
muito fortes. Existem cinco métricas que se correlacionam de forma muito forte e direta. Estas métricas são o Número de Arestas, o Grau Médio dos nós, o número de nós no Maior Componente, a Centralidade de Proximidade e a Densidade da rede. Isso é compreensível, visto que essas métricas estão diretamente ligadas. Por exemplo, se o número de arestas de um grafo aumenta, conseqüentemente o grau médio dos nós e a densidade da rede também aumentam. Mais arestas no grafo, significa também que o grafo tende a estar mais conectado. Com isso, o número de nós nos componentes também aumenta. Na mesma direção, o aumento de nós em cada componente, resulta também na aproximação dos mesmos, o que por sua vez ocasiona o aumento da centralidade de proximidade.

Outra métrica que também está relacionada diretamente com às cinco métricas citadas anteriormente é o Coeficiente de Aproximação. Essa métrica também apresenta uma correlação forte com todas as cinco métricas citadas anteriormente. Isto já era esperado, pois em um grafo mais conectado, a probabilidade que os veículos que fazem parte do mesmo componente também compartilhem o mesmo objetivo é mais alta.

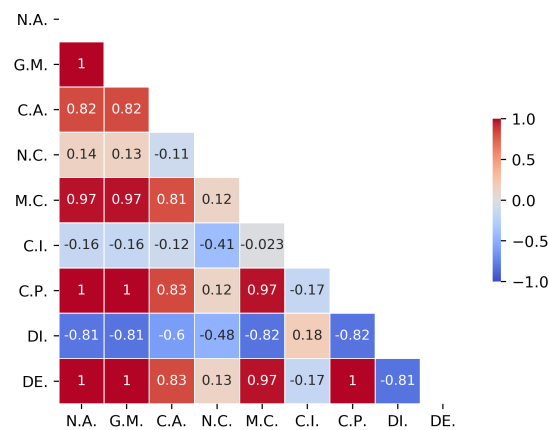
Nas correlações inversas, à medida que uma variável aumenta seu valor em relação a outra diminui. Observa-se que uma única métrica possui relacionamento inverso forte com outras métricas: o Diâmetro da rede. Ao observar as métricas citadas acima, vê-se que elas se correlacionam de forma direta, pois à medida que um grafo fica mais conectado, seus vértices tendem a ser mais próximos uns dos outros. Isso explica a correlação inversa com o diâmetro da rede. Quanto mais conexo um grafo, menor vai ser o diâmetro, pois os nós terão que dar menos saltos para chegar aos outros vértices da rede.

5.6 Variação do Tempo de Agregação do Grafo Agregado

Após realizar todas essas análises, foi possível perceber que o gráfico agregado pode ter um grande impacto na análise dos *traces*. Durante a revisão da literatura, viu-se que os diferentes trabalhos que aplicaram a abordagem agregada para analisar a mobilidade dos veículos utilizaram diferentes tempos de agregação. Diante disso, decidiu-se analisar a variação do tempo utilizado nos grafos agregados impactarão os resultados de métricas de rede complexas. Os tempos utilizados nessa Seção foram os tempos de agregação mais comuns encontrados na literatura.



(a) Roma



(b) São Francisco

Figura 5.8: Correlação de Pearson entre as métricas analisadas. Número de Arestas (N.A.), Grau Médio (G.M.), Coeficiente de Agrupamento (C.A.), Número de componentes (N.C.), Número de Nós no Maior Componente (M.C.), Centralidade de Intermediação (C.I.), Centralidade de Proximidade (C.P.), Diâmetro (DI.) e Densidade (DE.)

5.6.1 Roma

Ao observar os resultados da variação do tempo de agregação na cidade de Roma, é possível verificar que esse fator afeta o resultado das métricas. Algumas métricas apresentaram o comportamento conforme esperado. O número de arestas (Figura 5.9a), o grau dos nós (Figura 5.9b) e o número de nós no maior componente (Figura 5.10a) reagiram de forma esperada, quando maior o tempo de agregação, maior o número de arestas e consequentemente maior o grau dos nós em cada grafo.

A densidade da rede (Figura 5.9c) também apresenta resultados esperados, pois quanto mais arestas no grafo mais denso ele fica, logo quando aumentamos o tempo de agregação, consequentemente aumentamos a densidade da rede. Na métrica da Centralidade de Proximidade (Figura 5.10c), também existe um aumento dos valores quando se aumenta o tempo de agregação. Isso ocorre porque há a possibilidade de novos caminhos de comunicação entre os pares de nós surgirem no grafo e esses caminhos podem apresentar uma menor distância.

Algumas outras métricas apresentaram comportamentos interessantes. Ao olhar para o diâmetro da rede (Figura 5.10e), é possível observar que o maior diâmetro da rede é quando o tempo de agregação é de 30 minutos. Consequentemente o Coeficiente de Agrupamento (Figura 5.10b) também apresenta maior valor quando o tempo de agregação é de 30 minutos. Sabendo que o diâmetro é o valor do menor maior caminho entre todos os pares de nós, é possível identificar que com o tempo de agregação de 30 minutos, a atraso nas mensagens enviadas será maior que nos outros tempos de agregação.

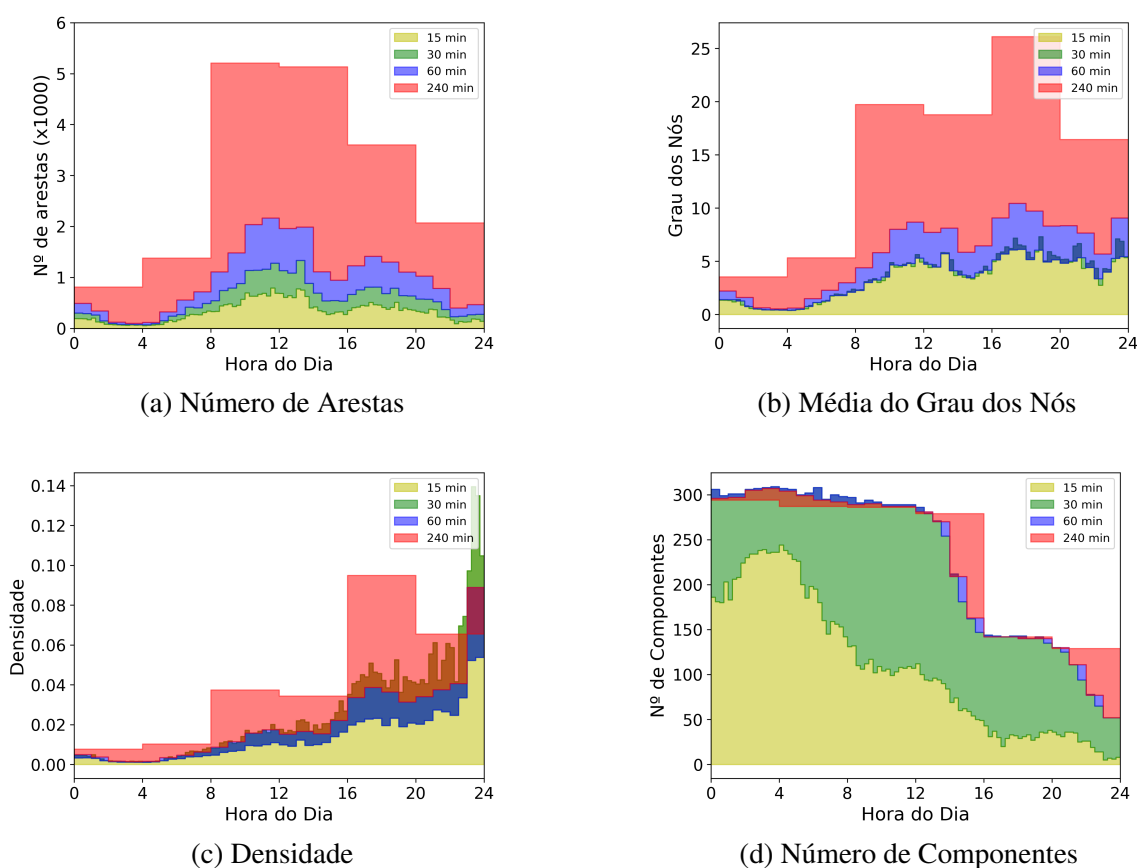
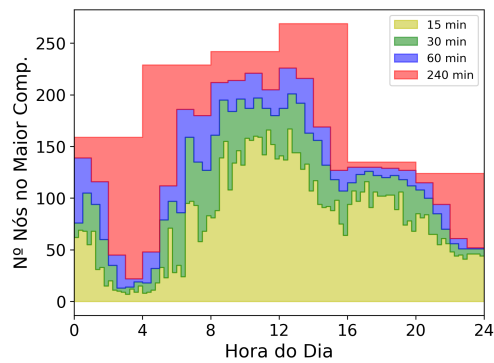
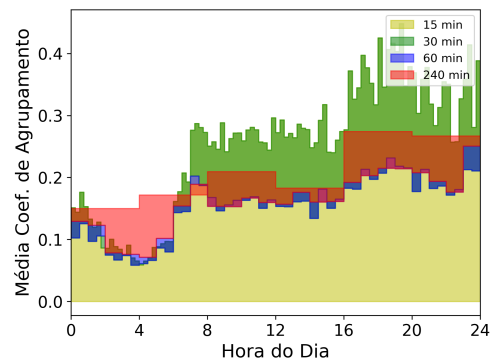


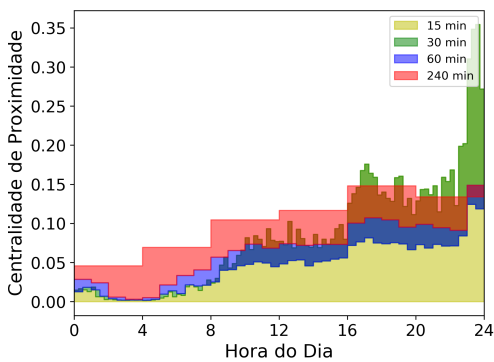
Figura 5.9: Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.



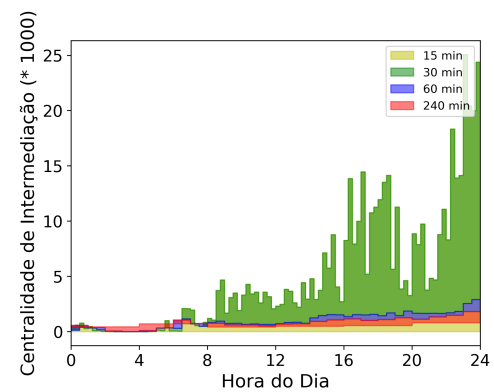
(a) Número de Nós do Maior Componente



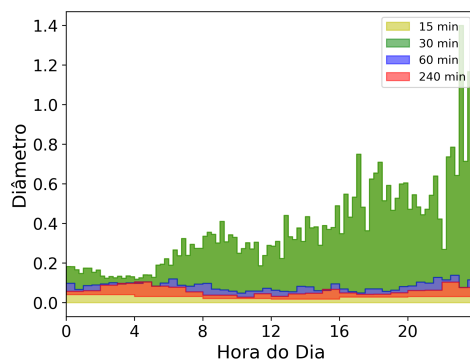
(b) Média do Coeficiente de Agrupamento



(c) Média da Centralidade de Proximidade



(d) Média da Centralidade de Intermediação



(e) Diâmetro

Figura 5.10: Comparando o impacto das diferentes abordagens em Roma.

5.6.2 São Francisco

Assim como na cidade de Roma, já estava previsto que conforme aumenta o tempo de agregação, as métricas sofressem alterações nos resultados. Algumas métricas, apresentaram comportamento semelhante ao visto na cidade de Roma, por isso é necessário realizar uma nova análise dessas métricas (número de arestas, grau dos nós, número de nós no maior

componente, diâmetro e densidade).

Outro comportamento incomum que conseguimos identificar foi o grande aumento ou diminuição nos valores de algumas métricas no período de 12 horas. Após análise, assumimos que essa variação identifica uma lacuna na coleta de dados de alguns táxis. Isso teria impactado essas métricas consideravelmente. Podemos perceber que o diâmetro (Figura 5.12e) da rede sofre um grande aumento no 12 horas, além da centralidade de proximidade (Figura 5.12c) e o número de nós no maior componente (Figura 5.12a) sofre uma queda acentuada em seus valores.

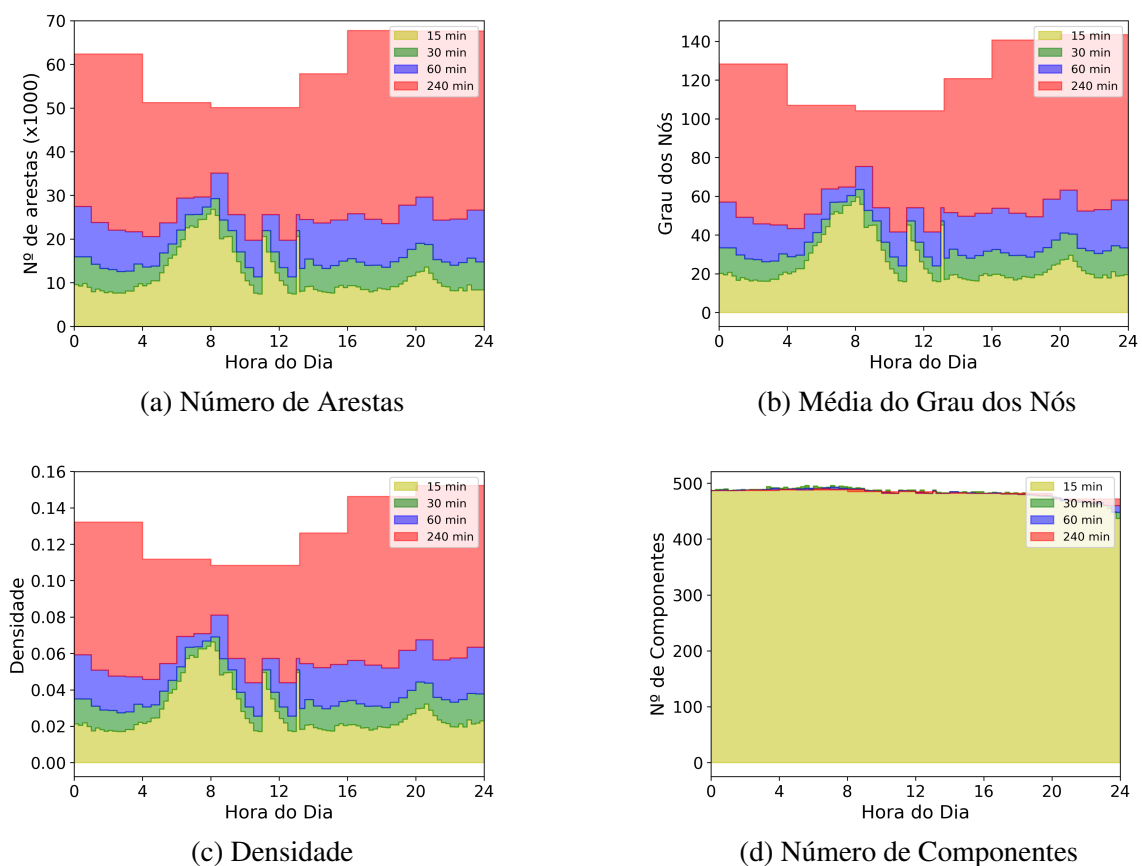
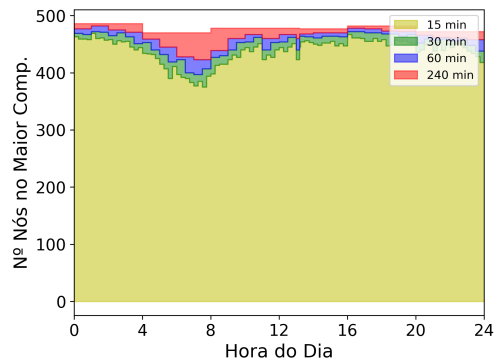


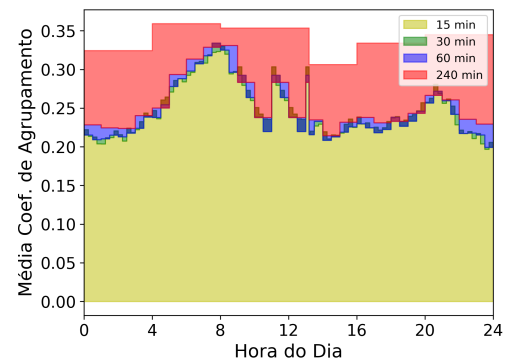
Figura 5.11: Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.

5.7 Comparação do Desempenho de cada Grafo

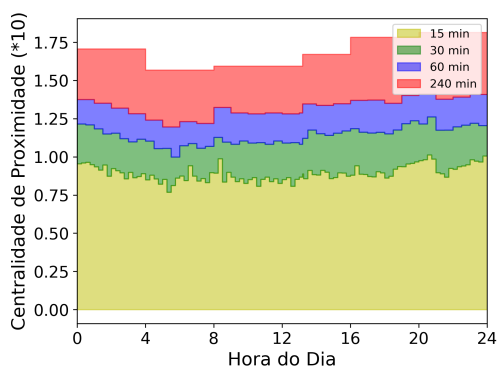
Nessa Seção será feita uma análise do desempenho de cada modelo de grafo. A discussão será dividida em dois momentos: geração dos grafos e análise das métricas. O intuito de gerar essa comparação é dar mais uma ferramenta para auxiliar futuros autores a tomarem a decisão de qual métrica utilizarão em seus trabalhos.



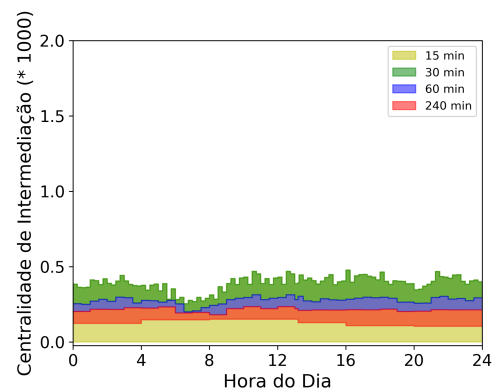
(a) Número de Nós do Maior Componente



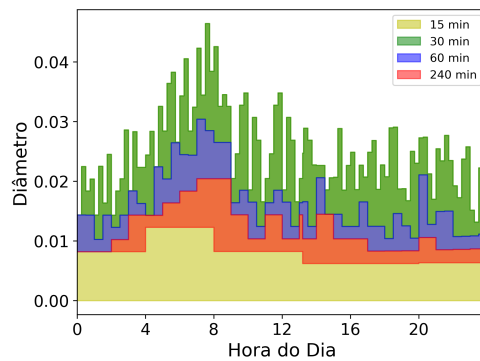
(b) Média do Coeficiente de Agrupamento



(c) Média da Centralidade de Proximidade



(d) Média da Centralidade de Intermediação



(e) Diâmetro

Figura 5.12: Comparando o impacto das diferentes abordagens em São Francisco.

Geração dos Grafos:

A conversão do *trace* em grafos já foi mostrado pelo Algoritmo 1. Resumindo, primeiramente adicionam-se todos os nós no grafo e depois realiza-se uma comparação de todos os pares de nós para ver se a distância entre eles é menor que o raio pré-definido. O número de iterações necessários para gerar um grafo com v vértices é:

$$C_{v,2} = \frac{v!}{2!(v-2)!} \quad (5.1)$$

Isso faz com que a complexidade do algoritmo de geração do grafo seja $O(n!)$. Para gerar um grafo instantâneo, é necessária uma única execução para gerar o grafo, pois um único segundo será analisado. Já no grafo temporal, são necessárias n iterações, sendo n o número de segundos que se deseja converter. A complexidade do grafo agregado é a soma da complexidade para se gerar os grafos agregados mais m , em que m é a complexidade para se agregar os grafos temporais, visto que primeiro precisamos gerar todos os grafos temporais para depois agregá-los.

É perceptível que o desempenho para se gerar um grafo instantâneo é melhor quando comparado ao desempenho de se gerar os grafos agregados e temporais. A abordagem temporal, apesar de mostrar a evolução das métricas de forma mais detalhada, possui uma complexidade de geração dos grafos maior. A seguir será apresentada a complexidade para se calcular o valor das métricas, que também tem impacto na geração de resultados.

Análise das Métricas:

Com os grafos gerados, é necessário calcular cada métrica para que seja possível analisar os resultados. O tempo para calcular as métricas será considerado como uma constante X , pois apesar de variar com o tamanho do grafo, ele não será o principal ponto na geração dos resultados. O primeiro grafo é o grafo instantâneo, gerar os resultados nesse grafo tem uma complexidade de $O(X)$, visto que somente um segundo será calculado. Já no grafo agregado, a complexidade para se gerar os resultados, será $O(n.X)$, onde n é o número de grafos agregados. Quando maior o tempo de agregação utilizado nessa abordagem, menos grafos serão gerados e conseqüentemente, terão menos grafos para que os resultados sejam calculados. Por fim, no grafo temporal a complexidade é de $O(s.X)$, onde s é o número de segundos que se pretende gerar os resultados.

É possível notar que a complexidade para gerar os resultados de um grafo temporal é superior aos outros tipos de grafos. Isso faz com que a abordagem temporal possua o pior desempenho tanto na geração dos grafos, quanto na análise das métricas. Isso deve ser levado em consideração ao se começar um novo estudo. Ao se tentar gerar um período muito grande de análises, a execução dos algoritmos pode se tornar não factível.

5.8 Discussão dos Resultados

Após analisar os resultados obtidos, pode-se observar como os diferentes grafos impactam em métricas de redes complexas. O primeiro grafo analisado foi o grafo instantâneo. Nesse tipo de grafo, um instante aleatório do trace é escolhido para ser analisado. Esse ins-

tante t passa a representar o comportamento de todo o tempo analisado. A vantagem da análise realizando esse tipo de grafo é o desempenho para gerar os grafos e processar as métricas. Por ter um único grafo, todo o processamento acontece de forma rápida e os resultados são obtidos com pouco tempo de processamento. Por outro lado, essa abordagem possui uma desvantagem que pode atrapalhar as análises. A perda de informação quando se utiliza esse grafo é muito grande. Quando se escolhe um instante t para representar o comportamento de todo um período, o fator temporal é ignorado. O instante t pode não representar de forma confiável o que de fato acontece durante todo o período do *trace*.

Outro grafo analisado foi o grafo agregado. Nessa abordagem, o fator temporal é levado em consideração e para gerar um grafo, um intervalo de tempo é escolhido para realizar a geração do grafo. Todos os nós e arestas existentes durante esse intervalo são agrupados em um único grafo. Mesmo apresentando um baixo desempenho para gerar os grafos, o desempenho de análise das métricas é bom. Comparando com o grafo instantâneo ainda possui a vantagem de levar em consideração fator temporal. Uma desvantagem desse modelo é que ao agrupar todos os contatos em um único grafo, pode-se gerar informações falsas. Caso um contato tenha acontecido durante um único segundo do tempo que foi agregado, ainda assim ele estará presente no tempo que foi agregado. Isso pode fazer com que os resultados sejam muito "exagerados" com o que realmente está acontecendo.

Por fim, o grafo temporal analisa todo o movimento do *trace*. Nesta abordagem o fator temporal é o principal ponto. Neste grafo é possível ver de forma mais clara e suave a evolução de cada métrica. Com isso fica mais fácil identificar padrões existentes na rede. Uma desvantagem apresentada nessa abordagem é o desempenho para se gerar os grafos e processar as métricas. O tempo para gerar esses grafos é muito maior que o tempo para gerar os outros dois grafos. Com uma complexidade fatorial, quanto mais veículos os *traces* possuírem e quanto maior o tempo que se decide analisar, maior o tempo de processamento. Caso esses valores sejam muito elevados, o tempo de processamento pode se tornar inviável.

Como é possível notar, diferentes abordagens apresentam diferentes vantagens e desvantagens. Por isso percebe-se que ao iniciar um estudo da mobilidade, é preciso analisar qual tipo de abordagem será usada e estar ciente de como essa escolha vai impactar nos resultados. Como percebe-se, os resultados de cada grafo foram diferentes, por isso é necessário avaliar bem qual métrica vai ser usada. Esse trabalho apresentou uma comparação direta entre os três grafos, apresentado as vantagens e desvantagens de cada uma.

Por consequência desse estudo, também se percebe que cada cidade possui características próprias de movimentação veicular. Em cada cidade, nota-se padrões diferentes com relação ao fluxo de veículos, tempo de contato entre veículos e conseqüentemente diferentes resultados das métricas de rede. Isso mostra o valor de se estudar a mobilidade para desenvolver aplicações personalizadas para cada cidade. Essas aplicações são essenciais para

resolver os problemas de trânsito dos centros urbanos.

Capítulo 6

Aplicações

Neste Capítulo, serão apresentadas algumas maneiras de aplicar os resultados obtidos com esse trabalho na literatura. O capítulo está dividido em 5 Seções. Nessas Seções, serão apresentados tópicos relevantes na área de redes veiculares e quais impactos esse trabalho tem nas diferentes áreas englobadas por redes veiculares.

6.1 Comunicação em Redes Veiculares

Redes *ad hoc* são redes sem fio que não requerem o uso de ponto de acesso comum aos nós pertencentes a ela. Todos os dispositivos da rede funcionam como se fossem um roteador, enviando informações que vêm de dispositivos vizinhos na rede [Corrêa et al., 2006]. As redes veiculares são um tipo de redes *ad hoc* compostas por veículos, podendo também conter infraestruturas fixas ao longo das estradas. A comunicação neste tipo de rede é frequentemente complicada devido às características das redes veiculares, tais como: mudança frequente na topologia da rede, velocidade do nó e atenuação do sinal de comunicação.

Os autores do trabalho [Meneguetto et al., 2014], com o objetivo de melhorar a comunicação em redes veiculares, desenvolveram um algoritmo de disseminação de dados geográficos que leva em consideração as partições de rede para ambientes urbanos. Segundo os autores, o algoritmo proposto elimina o problema de *broadcast storm* e maximiza a capacidade de disseminar dados em redes com frequentes desconexões, ao custo de baixo atraso e baixo *overhead*. Os resultados mostram que o algoritmo é eficiente em termos de cobertura, taxa de envio e atraso, além de manter o padrão de envio e recebimento em diferentes densidades de rede.

Da mesma forma, os autores do artigo SOUSA [2017] apresentam um novo protocolo de sinalização de congestionamento para redes veiculares com baixo *overhead* de comunicação. O protocolo usa apenas comunicação V2V, ou seja, é independente de infraestruturas

externas. O objetivo do protocolo é reduzir o tempo médio de viagem dos veículos, garantindo um baixo *overhead* de comunicação na rede de veículos. O protocolo proposto apresentou o melhor desempenho em termos de *overhead* de sinalização. Em cenários com maior demanda de tráfego, o número de mensagens geradas pelo protocolo proposto foi menor quando comparado a outros protocolos.

Para validar um novo protocolo de disseminação de dados, é necessário executar simulações de protocolos para compará-los. Para isso, é necessário gerar comunicação entre os nós. Como vimos em nossos resultados, o tipo de grafo usado para modelar a mobilidade pode influenciar diretamente na comunicação dos nós. Portanto, este estudo reforça a necessidade de realizar uma modelagem cuidadosa dos dados para evitar que as simulações favoreçam um protocolo específico e gere informações incoerentes com a realidade.

6.2 Entendendo a Mobilidade Urbana

A mobilidade urbana tem sido estudada com frequência nos últimos anos. Identificar padrões de mobilidade pode ajudar a identificar pontos de melhoria no tráfego. Conseqüentemente, essas melhorias significam uma melhor qualidade de vida para a população. A vantagem de estudar mobilidade é entender os padrões de mobilidade de uma cidade e aproveitar esses padrões para avançar nas questões da cidade.

O objetivo do trabalho Azolin & Silva [2019] é inserir o transporte coletivo em uma estratégia de avaliação da resiliência na mobilidade urbana diante de uma eventual restrição na oferta de combustível. No estudo de caso realizado na cidade de São Carlos, observou-se que a inserção do transporte público, mesmo em condições de operação mínima, proporcionou um ganho considerável de resiliência: 21.4% no cenário mais pessimista para modais ativos.

Os autores do trabalho Lessa et al. [2019] analisa os níveis de acessibilidade por ônibus na cidade de Belo Horizonte. No trabalho, são propostos indicadores de acessibilidade aos ônibus e mobilidade da população. Os resultados mostraram que algumas regiões apresentam maior discrepância entre os níveis de acessibilidade e mobilidade, principalmente aquelas localizadas em áreas periféricas onde o acesso ao sistema de transporte por ônibus é inferior ao esperado pela metodologia. Os resultados, embora essencialmente exploratórios, podem ajudar a minimizar possíveis distorções na oferta de acessibilidade.

Conforme visto nos trabalhos citados acima, estudar mobilidade pode trazer melhorias para a cidade. Essa dissertação também caracteriza brevemente as cidades de Roma e São Francisco. Apesar de não ser o escopo deste trabalho, foi possível perceber alguns padrões exibidos nas duas cidades que podem auxiliar no desenvolvimento de novos avanços na

mobilidade da cidade. Além disso, os resultados desse trabalho mostraram a importância de escolher qual método usar na modelagem dos dados.

6.3 Projetando Novos Serviços

Vários estudos estão sendo feitos na área de redes veiculares a cada dia. Alguns desses empregos estão desenvolvendo novos serviços que beneficiam o motorista, a mobilidade na estrada ou mesmo a comunicação na rede. Existem também serviços que irão gerar entretenimento para as pessoas no trânsito, tornando sua experiência mais interessante.

Os autores Ruiz et al. [2019] propuseram uma análise comparativa do desempenho dos padrões IEEE 802.11p e IEEE 802.11g na transmissão de vídeos. O objetivo do trabalho foi identificar o comportamento de ambos em um cenário V2V (Vehicle-to-Vehicle) visando um melhor custo-benefício e uma nova opção de conectividade. Os resultados mostraram que enquanto o padrão IEEE 802.11p, praticamente não sofreu perda de qualidade na transmissão do vídeo, o padrão IEEE 802.11g, nem mesmo foi capaz de transmitir o vídeo por completo.

Outro tipo de serviço bem estudado é o que visa reduzir o tempo de deslocamento dos motoristas. No trabalho Gomides et al. [2019], eles propuseram um algoritmo totalmente distribuído capaz de reduzir esses impactos reorganizando o fluxo veicular. O algoritmo desenvolvido pelos autores apresentou diversas melhorias como redução do tempo de viagem, tempo de congestionamento, além de aumentar a velocidade média alcançada com baixo impacto no número de mensagens transmitidas, a fim de permitir um bom desempenho do sistema proposto.

Uma das formas que esse estudo pode ajudar na geração de novos serviços é por meio da validação. Uma parte da geração de um novo serviço é compará-lo aos serviços existentes para mostrar que é superior em algum aspecto. Essa dissertação fornece três tipos de modelagem que permitem avaliar se o serviço criado pode ser melhor em alguns cenários nesses três tipos de modelagem. Essa é uma forma de testar um novo serviço e se ele realmente contribui para a literatura de alguma forma.

6.4 Identificando Padrões

Identificar rotinas na mobilidade de uma cidade é importante. Quando é possível identificar padrões, pode-se aproveitar a previsibilidade para desenvolver soluções que aproveitem esse conhecimento. Existem cada vez mais estudos que estudam o comportamento dos ambientes veiculares. Isso é necessário porque cada local possui um comportamento único. Por isso, deve-se analisar cada ambiente separadamente.

Uma das obras que identifica rotinas em um ambiente é a dos autores Diniz et al. [2017]. Neste trabalho, os autores caracterizam a mobilidade da cidade de Roma. No estudo foi possível identificar que as rotinas dos veículos se repetem ao longo dos dias das semanas e posteriormente nos finais de semana. Eles também analisaram quais categorias de pontos de interesse foram mais visitados na cidade ao longo dos dias. Com esse tipo de conhecimento, é possível desenvolver serviços que aproveitem essas rotinas, um exemplo poderia ser o envio de anúncios para pessoas que estão perto de um determinado local e em um determinado horário do dia.

No trabalho Freitas et al. [2018], os autores utilizaram um método para caracterizar diferentes tipos de redes reais, com o objetivo de caracterizar redes veiculares no contexto de modelos de redes complexos. Após realizar algumas análises, os autores constataram que a topologia V2V2I é mais robusta em comparação com V2V e V2I, sendo mais capaz de lidar com falhas e distribuir informações de forma mais eficiente na rede.

A identificação de rotinas em mobilidade urbana vem recebendo cada vez mais atenção. Um grande benefício na identificação de rotinas é aproveitar esse conhecimento em favor de novos serviços. A previsibilidade significa que os sistemas podem atuar com antecedência para resolver diversos problemas de mobilidade urbana. Essa dissertação mostra que, dependendo da modelagem utilizada na mobilidade urbana, essa identificação de rotinas pode não representar o que realmente acontece no ambiente. Portanto, deve-se ter cuidado ao escolher o tipo de modelagem de mobilidade para que o conhecimento gerado não seja condizente com a realidade.

6.5 Planejamento de Cidades Inteligentes

Nos últimos anos, a tecnologia evoluiu consideravelmente. Isso tornou cada vez mais possível desenvolver o conceito de cidades inteligentes. Diversas aplicações já surgiram nessa área, tais como: alerta de acidentes rodoviários, roteamento de veículos para evitar congestionamentos, verificação de quais locais precisam de limpeza em esgotos, identificação de problemas na via. Esses aplicativos ajudam os gestores a tomar decisões mais conscientes na administração da cidade.

O autor Leite et al. [2013] desenvolveu em seu trabalho um aplicativo que visa melhorar a experiência de quem utiliza o transporte público. O sistema desenvolvido fornece informações em tempo real sobre os ônibus disponíveis na cidade. Para isso, utilizaram técnicas de geoprocessamento com base na localização dos usuários do transporte público, pontos de interesse da cidade e informações sobre as rotas dos ônibus.

Os autores do trabalho Gallo [2016] propuseram um esquema focado no monitora-

mento colaborativo ativo realizado a partir de aplicações móveis. Os servidores de aplicativos recebem, validam e permitem a visualização dos dados coletados, facilitando a criação de novos aplicativos. Os autores realizaram um experimento com essa plataforma para mapear as condições de acessibilidade das ruas e calçadas de uma região de quatro quilômetros quadrados da cidade de São Paulo.

Hoje em dia, as pessoas estão tentando otimizar todas as tarefas mais simples, para que tenham mais tempo para realizar as tarefas consideradas importantes. Com a ajuda de sistemas de cidades inteligentes, é possível otimizar algumas tarefas para que a população passe menos tempo no trânsito. Existem ainda outros benefícios em reduzir as emissões de CO₂, aumentando a qualidade de vida da população, facilitando a limpeza das ruas, causando menor proliferação de animais peçonhentos, entre outros serviços. Essa dissertação pode favorecer o desenvolvimento de cidades inteligentes. Um exemplo seria a descoberta dos melhores horários para limpar as ruas. Com a análise do gráfico de tempo, é possível visualizar com mais detalhes o comportamento dos veículos, sendo possível identificar um momento de menor trânsito nas vias para que a limpeza não tenha impacto no trânsito.

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusão

Este trabalho investigou o impacto das diferentes abordagens usadas na modelagem da mobilidade veicular na análise da rede. Para isso foram analisadas duas bases de dados, uma da cidade de Roma e outra da cidade de São Francisco, utilizando três tipos de grafos para modelagem: grafo instantâneo, grafo agregado e grafo temporal. Percebeu-se que os resultados gerados em cada grafo são diferentes. Isso mostra que a abordagem utilizada na modelagem da mobilidade pode afetar diretamente os resultados das análises de métricas de redes complexas e de outras métricas. No grafo agregado, os resultados acabam sendo "exagerados" pois todos os contatos existentes nos quinze minutos são agregados em um único grafo. Já no grafo instantâneo, é possível analisar a curva do comportamento de cada métrica ao longo do dia. Ainda assim, existe uma grande perda de informação nessa abordagem. Por fim, no grafo temporal, é possível ver claramente a evolução de cada métrica ao longo do tempo.

Como esperado, a análise do grafo temporal apresenta de forma clara e legítima como cada métrica se comporta ao longo do dia. Quando usado, esse tipo de grafo mostra, sem perda de informação, as características da rede. No entanto, o custo para computar essas métricas é proporcional à quantidade de grafos gerados, que no caso do modelo temporal usado neste trabalho foi de um segundo. Assim, deve-se avaliar com cuidado o modelo a ser usado em função da métrica de interesse. Este trabalho discute isso e serve para mostrar que podem existir tendências/resultados não necessariamente reais ou próximos da realidade dependendo do modelo utilizado.

7.2 Trabalhos Futuros

Este trabalho mostrou também que é possível descobrir algumas propriedades que podem ajudar a desenvolver novas soluções personalizadas para melhorar o trânsito nas cidades. Como trabalhos futuros pretendemos analisar outros traces e outras métricas por mais dias, com o intuito de descobrir características que ajudem a aprimorar o tráfego. Além disso, a partir da análise realizada, pretendemos propor novos serviços baseados nas propriedades e padrões encontrados.

Além disso, pretende-se realizar a comparação das análises entre redes veiculares e redes aleatórias, para provar que redes aleatórias possuem características que são específicas desse tipo de rede. Além disso, a realização dos estudos em outros traces ajudará a validar e enriquecer o trabalho. Um aspecto que se pretende também avaliar é como o raio de comunicação vai impactar na comparação dos três grafos. Pretende-se executar as análises com uma variação do raio e analisar como os resultados vão ser afetados. Além do raio, o tempo em que foi usado para criar o grafo agregado também será analisado. Será feita uma variação do tempo de agregação e geração de novos grafos para que seja possível comparar e encontrar qual o melhor tempo de agregação.

7.3 Publicações

Durante o tempo do mestrado, foi possível gerar resultados que contribuíram para a literatura. Como consequência, algumas publicações foram realizadas para validar os estudos.

Publicados:

- Diniz, G. R.; Loureiro, A. A. & Cunha, F. D. (2017). On the Characterization of Vehicular Mobility. In *DIVANet 17 Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, pp. 23–29.
- Diniz, G. R.; Cunha, F. D. & Loureiro, A. A. (2020c). Improving the Vehicular Mobility Analysis Using Time-Varying Graphs. In *2020 16th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, pp. 197–204. IEEE.
- Diniz, G. R.; Cunha, F. D. & Loureiro, A. A. (2020a). Análise da Mobilidade em Redes Veiculares Usando Diferentes Tipos de Grafos. In *Anais do IV Workshop de Computação Urbana*, pp. 1–14. SBC.

Submetido:

- Diniz, G. R.; Cunha, F. D. & Loureiro, A. A. (2020b). Comparing how Different Types of Graphs Impact the Analysis of Urban Mobility. *Journal of Internet Services and Applications*, 11:1–29

Referências Bibliográficas

- Abdelgader, A. M. & Lenan, W. (2014). The physical layer of the IEEE 802.11 p wave communication standard: the specifications and challenges. In *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*, volume 2, pp. 22--24.
- Alves, R. d. S.; Campbell, I. d. V.; Couto, R. d. S.; Campista, M. E. M.; Moraes, I. M.; Rubinstein, M. G.; Costa, L. H. M.; Duarte, O. C. M. & Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, pp. 17--24.
- Antenor, S.; Andrade, R. d. O. & Machado-Filho, M. F. (2010). Trânsito e aumento da frota de veículos tornam vulneráveis a saúde nas cidades. *Ciência e Cultura*, 62:8 – 10. ISSN 0009-6725.
- Arbabi, H. & Weigle, M. C. (2010). Highway mobility and vehicular ad-hoc networks in ns-3. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp. 2991--3003. Winter Simulation Conference.
- Armoogum, J.; Bonsall, P.; Browne, M.; Christensen, L.; Cools, M.; Cornelis, E.; Diana, M.; Guilloux, T.; Harder, H.; Hegner Reinau, K. et al. (2014). *Survey harmonisation with new technologies improvement (SHANTI)*. IFSTTAR.
- Artimy, M. (2007). Local density estimation and dynamic transmission-range assignment in vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(3):400--412.
- Aslam, B.; Amjad, F. & Zou, C. C. (2012). Optimal roadside units placement in urban areas for vehicular networks. In *2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 000423--000429. IEEE.
- Azolin, L. G. & Silva, A. (2019). O transporte público em uma estratégia de avaliação da resiliência na mobilidade urbana. In *33o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*.

- Banerjee, N.; Corner, M. D.; Towsley, D. & Levine, B. N. (2008). Relays, base stations, and meshes: enhancing mobile networks with infrastructure. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Mobile computing and networking*, pp. 81--91. ACM.
- Bracciale, L.; Bonola, M.; Loreti, P.; Bianchi, G.; Amici, R. & Rabuffi, A. (2014). Crawdad dataset roma/taxi (v. 2014-07-17). See <http://crawdad.org/roma/taxi/20140717>.
- Buchanan, C. (2015). *Traffic in Towns: A study of the long term problems of traffic in urban areas*. Routledge.
- Butman, A.; Hermelin, D.; Lewenstein, M. & Rawitz, D. (2010). Optimization problems in multiple-interval graphs. *ACM Transactions on Algorithms (TALG)*, 6(2):1--18.
- Büttner, K.; Salau, J. & Krieter, J. (2016). Adaption of the temporal correlation coefficient calculation for temporal networks (applied to a real-world pig trade network). *Springer-Plus*, 5(1):165.
- Büttner, K.; Salau, J. & Krieter, J. (2016). Temporal correlation coefficient for directed networks. *SpringerPlus*, 5.
- Celes, C.; Boukerche, A. & Loureiro, A. A. (2018). On the temporal analysis of vehicular networks. In *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 01074--01079. IEEE.
- Corrêa, U.; Pinto, A.; Cudas, A.; Ferreira, D. & Montez, C. (2006). Redes locais sem fio: Conceito e aplicações. *Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina*.
- Costa, P. P. d. (2011). *Teoria dos grafos e suas aplicações*. Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Cunha, F.; Maia, G.; Celes, C.; Guidoni, D.; de Souza, F.; Ramos, H. & Villas, L. (2017). Sistemas de transporte inteligentes: Conceitos, aplicações e desafios. *Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'17)*.
- Cunha, F. D.; Silva, F. A.; Celes, C.; Maia, G.; Ruiz, L. B.; Andrade, R. M.; Mini, R. A.; Boukerche, A. & Loureiro, A. A. (2016). Communication analysis of real vehicular calibrated traces. In *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1--6. IEEE.
- Cunha, F. D.; Vianna, A. C.; Mini, R. A. & Loureiro, A. A. (2014). Is it possible to find social properties in vehicular networks? In *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 1--6. IEEE.

- de Araujo, R. B. (2003). Computação ubíqua: Princípios, tecnologias e desafios. In *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, volume 8, pp. 11--13.
- de Sousa, R. & Soares, A. (2015). Estimativa e sinalização de congestionamentos de tráfego através de redes veiculares v2v. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- de Souza, A. M.; Botega, L. C.; Garcia, I. C. & Villas, L. A. (2018). Por aqui é mais seguro: Melhorando a mobilidade e a segurança nas vias urbanas. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC.
- de Souza, A. M.; Botega, L. C. & Villas, L. A. (2017). Gte: Um sistema para gerenciamento de trânsito escalável baseado em compartilhamento oportunista. In *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC.
- de Souza, A. M.; Yokoyama, R. S.; Maia, G.; Loureiro, A. & Villas, L. (2016). Real-time path planning to prevent traffic jam through an intelligent transportation system. In *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, pp. 726--731. IEEE.
- Developers, N. (2010). Networkx. *networkx.lanl.gov*.
- Ding, Y.; Wang, C. & Xiao, L. (2007). A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks. In *Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 59--68. ACM.
- Diniz, G. R. D.; Loureiro, A. A. & Cunha, F. D. (2017). On the characterization of vehicular mobility. *DIVANet '17 Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, pp. 23--29.
- Feofiloff, P.; Kohayakawa, Y. & Wakabayashi, Y. (2011). *Uma introdução sucinta à teoria dos grafos*. IME-USP.
- Fiore, M. F.; Glacet, C. & Bedogni, L. (2018). Temporal reachability in vehicular networks. *INFOCOM 2018-IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 1--9.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3):215--239.
- Freitas, C. G.; Ramos, H. S.; Cabral, R. S.; Rosso, O. A. & Aquino, A. L. (2018). Caracterização de topologia de redes veiculares baseada em teoria da informação. In *Anais do X Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*. SBC.
- Gallo, D. S. (2016). *Monitoramento colaborativo para cidades inteligentes*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

- Glacet, C.; Fiore, M. & Gramaglia, M. (2015). Temporal connectivity of vehicular networks: The power of store-carry-and-forward. In *2015 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp. 52--59. IEEE.
- Gomides, T. S.; Lourenço, M.; de Souza, P. H. & Guidoni, D. L. (2019). Sgtd: Sistema de gerenciamento de tráfego distribuído para redes veiculares. In *Anais Principais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pp. 1042--1055. SBC.
- Guerber, C. R.; Gomes, E. L.; Fonseca, M. & Munaretto, A. (2018). Classificação geosocial de contatos para disseminação de dados em redes veiculares oportunistas. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC.
- He, Y. & Evans, A. (2010). Graph theoretical modeling of brain connectivity. *Current opinion in neurology*, 23(4):341--350.
- Hernández-Moreno, A. & Mugica-Álvarez, V. (2013). Vehicular fleets forecasting to project pollutant emissions: Mexico city metropolitan area case. *Transport Policy*, 27:189--199.
- Hopkins, B. & Wilson, R. J. (2004). The truth about königsberg. *The College Mathematics Journal*, 35(3):198--207.
- Hou, X.; Li, Y.; Jin, D.; Wu, D. O. & Chen, S. (2016). Modeling the impact of mobility on the connectivity of vehicular networks in large-scale urban environments. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(4):2753--2758.
- Hui, P.; Crowcroft, J. & Yoneki, E. (2010). Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(11):1576--1589.
- Jia, Y.; Wu, J.; Ben-Akiva, M.; Seshadri, R. & Du, Y. (2017). Rainfall-integrated traffic speed prediction using deep learning method. *IET Intelligent Transport Systems*, 11(9):531--536.
- Kamini, K. & Kumar, R. (2010). Vanet parameters and applications: A review. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Kchiche, A. & Kamoun, F. (2010). Centrality-based access-points deployment for vehicular networks. In *2010 17th International Conference on Telecommunications*, pp. 700--706. IEEE.
- Leite, D.; Rocha, J. & Baptista, C. (2013). Busão: um sistema de informações móvel para auxílio à mobilidade urbana através do uso de transporte coletivo. In *Anais Principais do IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pp. 170--181. SBC.

- Lessa, D. A.; Lobo, C. & Cardoso, L. (2019). Accessibility and urban mobility by bus in belo horizonte/minas gerais–brazil. *Journal of Transport Geography*, 77:1--10.
- Li, Y.; Jin, D.; Hui, P. & Chen, S. (2015). Contact-aware data replication in roadside unit aided vehicular delay tolerant networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(2):306--321.
- Li, Y.; Jin, D.; Wang, Z.; Zeng, L. & Chen, S. (2012). Exponential and power law distribution of contact duration in urban vehicular ad hoc networks. *IEEE Signal Processing Letters*, 20(1):110--113.
- Lu, R.; Lin, X.; Zhu, H. & Shen, X. (2009). Spark: A new vanet-based smart parking scheme for large parking lots. In *IEEE INFOCOM 2009*, pp. 1413--1421. IEEE.
- Luo, X.; Li, D. & Zhang, S. (2019). Traffic flow prediction during the holidays based on dft and svr. *Journal of Sensors*, 2019.
- Mao, R. & Mao, G. (2013). Road traffic density estimation in vehicular networks. In *2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 4653--4658. IEEE.
- Meneguette, R. I.; De Grande, R. & Loureiro, A. A. (2018). *Intelligent Transport System in Smart Cities*. Springer.
- Meneguette, R. I.; Maia, G.; Madeira, E. R.; Pinto, A. R.; Loureiro, A. & Villas, L. A. (2014). Um algoritmo autônomo para disseminação de informações em redes veiculares. *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'14)*.
- Naboulsi, D. & Fiore, M. (2013). On the instantaneous topology of a large-scale urban vehicular network: the cologne case. *Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)*.
- Naboulsi, D. & Fiore, M. (2017). Characterizing the instantaneous connectivity of large-scale urban vehicular networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(5):1272--1286.
- Nagel, K. & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de physique I*, 2(12):2221--2229.
- Naumov, V.; Baumann, R. & Gross, T. (2006). 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*, pp. 108--119. ACM.

- Nielsen, T. D. & Jensen, F. V. (2009). *Bayesian networks and decision graphs*. Springer Science & Business Media.
- Pallis, G.; Katsaros, D.; Dikaiakos, M. D.; Loulloudes, N. & Tassiulas, L. (2009). On the structure and evolution of vehicular networks. In *2009 IEEE International Symposium on Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pp. 1--10. IEEE.
- Peng, Y.; Abichar, Z. & Chang, J. M. (2006). Roadside-aided routing (rar) in vehicular networks. In *2006 IEEE international conference on communications*, volume 8, pp. 3602--3607. IEEE.
- Piorkowski, M.; Sarafijanovic-Djukic, N. & Grossglauser, M. (2009). CRAWDAD dataset epfl/mobility (v. 2009-02-24). Downloaded from <https://crawdad.org/epfl/mobility/20090224>.
- Qiao, L.; Shi, Y. & Chen, S. (2017). An empirical study on the temporal structural characteristics of vanets on a taxi gps dataset. *IEEE Access*, 5:722--731.
- Qiu, Z.; Zhang, S.; Zhou, W. & Yu, S. (2018). Empirical study on taxi's mobility nature in dense urban area. In *IEEE INFOCOM 2018-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 232--237. IEEE.
- Rahim, A.; Kong, X.; Xia, F.; Ning, Z.; Ullah, N.; Wang, J. & Das, S. K. (2018). Vehicular social networks: A survey. *Pervasive and Mobile Computing*, 43:96--113.
- Raut, S. B. & Malik, L. (2014). Survey on vehicle collision prediction in vanet. In *2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, pp. 1--5. IEEE.
- Rettore, P. H.; Campolina, A. B.; Souza, A.; Maia, G.; Villas, L. A. & Loureiro, A. A. (2018). Autenticação comportamental de motoristas em redes veiculares. In *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC.
- Ruiz, I.; Ademilton, F.; Carvalho, T. & Jailton, J. (2019). Análise comparativa de transmissão de vídeo em redes veiculares utilizando padrões ieee 802.11 ge ieee 802.11 p. *Anais do Encontro Anual de Tecnologia da Informação*, 9(1):14--14.
- Schmidt, R. K.; Köllmer, T.; Leinmüller, T.; Böddeker, B. & Schäfer, G. (2009). Degradation of transmission range in vanets caused by interference. *PIK-Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation*, 32(4):224--234.

- Seo, Y.; Defferrard, M.; Vandergheynst, P. & Bresson, X. (2018). Structured sequence modeling with graph convolutional recurrent networks. In *International Conference on Neural Information Processing*, pp. 362--373. Springer.
- Silva, F. A.; Celes, C.; Boukerche, A.; Ruiz, L. B. & Loureiro, A. A. (2015). Filling the gaps of vehicular mobility traces. In *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 47--54. ACM.
- Silva, F. A.; Silva, T. R. M.; Cerqueira, E.; Ruiz, L. B. & Loureiro, A. A. (2016). Um modelo híbrido para entrega de conteúdo em redes veiculares. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*.
- Silva, F. S.; Moura, D. & Cabral, R. S. (2017). Modelagem e caracterização de redes veiculares utilizando-se grafos temporais e métricas de redes complexas. *XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- Siqueira, P. H. (2005). Uma nova abordagem na resolução do problema do caixeiro viajante.
- Sommer, C.; Eckhoff, D. & Dressler, F. (2013). Ivc in cities: Signal attenuation by buildings and how parked cars can improve the situation. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(8):1733--1745.
- SOUSA, R. S. d. (2017). Protocolo de sinalização de congestionamento para redes veiculares. *Repositório Institucional da UFPI*.
- Tengler, S. & Auflick, J. (2009). Vehicle on-board unit. US Patent 7,554,435.
- Treml, E. A.; Halpin, P. N.; Urban, D. L. & Pratson, L. F. (2008). Modeling population connectivity by ocean currents, a graph-theoretic approach for marine conservation. *Landscape Ecology*, 23(1):19--36.
- Uppoor, S. & Fiore, M. (2011). Large-scale urban vehicular mobility for networking research. In *2011 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp. 62--69. IEEE.
- Vahdat-Nejad, H.; Ramazani, A.; Mohammadi, T. & Mansoor, W. (2016). A survey on context-aware vehicular network applications. *Vehicular Communications*, 3:43--57.
- Wu, H.; Palekar, M.; Fujimoto, R.; Lee, J.; Ko, J.; Guensler, R. & Hunter, M. (2005). Vehicular networks in urban transportation systems. In *Proceedings of the 2005 national conference on Digital government research*, pp. 9--10. Digital Government Society of North America.

- Yaacoub, E.; Filali, F. & Abu-Dayya, A. (2014). Qoe enhancement of svc video streaming over vehicular networks using cooperative lte/802.11 p communications. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 9(1):37--49.
- Zhang, M. & Wolff, R. S. (2008). Routing protocols for vehicular ad hoc networks in rural areas. *IEEE Communications magazine*, 46(11):126--131.
- Zhang, Z.; Boukerche, A. & Pazzi, R. (2011). A novel multi-hop clustering scheme for vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobility management and wireless access*, pp. 19--26. ACM.
- Zhu, H.; Li, M.; Fu, L.; Xue, G.; Zhu, Y. & Ni, L. M. (2011). Impact of traffic influxes: Revealing exponential intercontact time in urban vanets. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 22(8):1258--1266.