

Dissertação de Mestrado

Análise da Topologia de Redes Veiculares Usando Métricas de Centralidade

Igor Marcos Araujo de Oliveira
igormaoliveira@gmail.com

Orientadora:
Dra. Raquel da S. Cabral

Maceió, Dezembro de 2019

Igor Marcos Araujo de Oliveira

Análise da Topologia de Redes Veiculares Usando Métricas de Centralidade

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento do Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas.

Orientadora: Dra. Raquel da S. Cabral

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto - CRB-4 – 1767

O48a Oliveira, Igor Marcos Araujo de.

análise da topologia de redes veiculares usando métricas de centralidade / Igor Marcos Araujo de Oliveira. – 2020
83 f. : il.

Orientadora: Dra. Raquel da S. Cabral
Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 80-83.

1. Redes complexas. 2. *Hellinger*. 3. Rede veicular. 4. VANET.
5. Resiliência(Redes complexas). I. Título.

CDU: 004.72

Folha de Aprovação

Igor Marcos Araújo de Oliveira

Análise da Topologia de Redes Veiculares Usando Métricas de Centralidade

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 17 de dezembro de 2019.



Profa. Dra. Raquel da Silva Cabral

Campus Arapiraca - UFAL

Orientadora

Banca Examinadora:



Prof. Dr. André Luiz Lins de Aquino

Instituto de Computação - UFAL

Examinador interno



Prof. Dr. Thiago Bruno Melo de Sales

Campus Arapiraca - UFAL

Examinador externo

RESUMO

Redes Veiculares são chamadas de VANET, Vehicular Adhoc Network, em VANETs a propagação de dados é um dos temas centrais na busca da eficiência na transmissão de dados. Estudos vêm sendo realizados para melhorar a qualidade na transmissão de dados entre veículos, investigar o comportamento dos veículos na via em determinados períodos de tempo e prever o melhor caminho ou caminho mais curto, sempre com o objetivo de propagar os dados e traçar estratégias para o caso de falhas de conexão. Desta forma, a conexão, entre os veículos é uma barreira que pode inviabilizar o objetivo da rede, considerando as falhas constantes do trânsito de dados entre emissor e receptor, impedindo que os dados cheguem ao destino em tempo de evitar por exemplo uma colisão entre veículos autômatos. Este trabalho busca, analisar a topologia das redes veiculares das cidades de Colônia na Alemanha, Madri e Créteil na França, mapeando as mesmas como redes complexas para cada tempo de coleta e extraindo propriedades métricas da teoria dos grafos e redes complexas como: *Degree Medium*, *Clustering Coefficient*, *Betweenness*, *Closeness*, *Diameter*. Em seguida, é aplicado o conjunto de dados ao quantificador estocástico de *Hellinger* para avaliar as mudanças entre os instantes de tempo de coleta. Neste sentido, a avaliação indica possíveis divergências entre os instantes de tempo que podem justificar problemas potenciais no percurso da rede, bem como necessidade de melhorias estruturais. Este trabalho baseou-se na metodologia que consistiu nas etapas: I) definição da rede, II) tratamento da rede, III) tratamento das características da rede, IV) inspeção visual. Os resultados foram gerados numericamente e graficamente para permitir a avaliação e interpretação comportamental das redes estudadas com base nas medidas de centralidade e o quantificador estocástico utilizado neste trabalho.

Palavras-chave: Redes Complexas, Hellinger, Redes Veiculares, VANETs, Resiliência, Tráfego, Vulnerabilidades

ABSTRACT

Vehicle networks are called VANET, in VANETs data propagation is one of the central themes in the search for efficiency in data transmission. Studies are being conducted to improve the quality of data transmission between vehicles, to investigate vehicle behavior on the road at certain time periods and to predict the best or shortest route, always with the aim of propagating data and strategizing the case. of connection failures. Thus the connection between vehicles is a barrier that can make the network objective impossible, preventing data from reaching its destination in time to avoid, for example, a collision between automata vehicles. This paper seeks to analyze the topology of vehicular networks in the cities of Cologne, Germany, Madrid and Créteil in France, mapping them as complex networks for each collection time and extracting metric properties from graph theory and complex networks such as: *Degree Medium, Clustering Coefficient, Betweenness, Closeness, Diameter*. The data set is then applied to *Hellinger's* stochastic quantifier to evaluate changes between collection time points. In this sense, the evaluation indicates possible divergences between time periods that may justify potential problems in the network path, as well as the need for structural improvements. This work was based on the methodology that consisted of the following steps: I) network definition, II) network treatment, III) network characteristics treatment, IV) visual inspection. The results were numerically and graphically generated to allow the evaluation and behavioral interpretation of the studied networks based on the centrality measures and the stochastic quantifier used in this work.

Keywords: Complex Networks, Hellinger, Vehicular Networks, VANETs, Resilience, Traffic, Vulnerabilities

AGRADECIMENTOS

Resiliência, esta é a palavra que marcou todo o percurso da produção desta dissertação. Entre perdas pessoais, dificuldades financeiras e problemas familiares, Deus me proporcionou força e saúde para superar todas as dificuldades, adaptando em todos os momentos de forma a minimizar os impactos negativos. Agradeço principalmente aos meus pais Clovis e Gleide, pois não mediram esforços para que até aqui chegasse de forma íntegra, o caminho sempre foi duro para nossa família, mas sempre estivemos frente às dificuldades, perseverando e encontrando as mais criativas soluções para os problemas. Não poderia esquecer Larissa, minha irmã, agradeço pelos momentos de abusos.

Agradeço à minha futura esposa Rafaela, que em todos os momentos esteve ao meu lado incentivando e proporcionando os momentos mais marcantes e felizes diante às dificuldades dos últimos anos.

Agradeço à minha família pelo apoio e entre aqueles que se foram durante o curso e não pude agradecer em tempo: Clayton, Ilka, Lilian, Dayanne, Zezé, tio Cláudio Araujo e tia Judite, em memória. Aos grande parceiro de caminhar amigo e irmão Lucas Dias, seus conselhos são sempre importante.

Agradecimento especial à Universidade Federal de Alagoas e seu time de excelentes professores, por viabilizar o programa de pós-graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento. Minha orientadora quem fez parte e foi essencial no resultado, Professora Dra. Raquel Cabral, por sua paciência e distinta orientação, sempre atenciosa e presente em todos os momentos. Que proporcionou a observação das soluções por outro ponto de vista, buscando o melhor e superando minhas expectativas. Aos avaliadores Dr. André Aquino e Dr. Thiago Sales, suas observações e críticas foram assertivas e importantes, fizeram a diferença.

Por último e tão importante quanto, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, os colegas e amigos da turma de modelagem: Filipe, Vitor, Yana, César e Fábio, por todo auxílio em momentos únicos durante o curso.

Igor Marcos Araujo de Oliveira

LISTA DE FIGURAS

2.1	Tipos de VANETs, Fonte: Li and Wang ²⁸	14
2.2	Grafo das Pontes de Königsberg ¹⁶	17
2.3	Grafo Direcionado, Fonte: Autor.	18
2.4	Grafo Não Direcionado, Fonte: Autor.	18
2.5	Grafo Não Direcionado com graus em seus Vértices, Fonte: Autor.	19
2.6	Grafo Não Direcionado com Laço no Vértice "C", Fonte: Autor.	19
2.7	Caminho Eureliano, Fonte: Autor.	20
2.8	Caminho Hamiltoniano, Fonte: Autor.	20
2.9	Experimento de Milgram ³²	22
2.10	Sistema autônomo de roteadores da internet, Fonte: Filliben and Mai ¹⁹	23
2.11	Centralidade por grau do nó, proximidade e intermediação, Fonte: Rocchini - Adaptado	25
2.12	Cenário urbano de disseminação de dados em uma VANET, Fonte: D. da Costa et al.	26
3.1	Colônia, Alemanha Fonte: Fiore et al.	30
3.2	Créteil, França Fonte: Lèbre and Mouël	31
3.3	Madri, França Fonte: F. et al.	31
3.4	Relação L_l existente entre os veículos V_i e V_j na rede veicular com raio de comunicação R , Fonte: Autor.	32
3.5	Processo para extração dos dados	33
4.1	Distribuição de graus, Rede Colônia	40
4.2	Valores de Hellinger, Rede Colônia	42
4.3	Valores de Hellinger, Rede Colônia, considerando o grafo agregado	44
4.4	Distribuição de graus, Rede Créteil - 7 às 9h	46
4.5	Valores de Hellinger, Rede Créteil - 7 às 9h	48
4.6	Valores de Hellinger, Rede Créteil - 7 às 9h, considerando o grafo agregado	50
4.7	Distribuição de graus, Rede Créteil - 17 às 19h	52
4.8	Valores de Hellinger, Rede Créteil - 17 às 19h	54
4.9	Valores de Hellinger, Rede Créteil - 17 às 19h, considerando o grafo agregado	56
4.10	Distribuição de graus, Rede Madrid A6	57
4.11	Valores de Hellinger, Rede Madrid A6	59
4.12	Valores de Hellinger, Rede Madrid A6, considerando o grafo agregado	61
4.13	Distribuição de graus, Rede Madrid M40	62
4.14	Valores de Hellinger, Rede Madrid M40	64
4.15	Valores de Hellinger, Rede Madrid M40, considerando o grafo agregado	66
B.1	Caminhos Mínimos Rede Colônia	70
B.2	Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Colônia	71
B.3	Betweenness Rede Colônia	71
B.4	Coeficiente de Agrupamento Rede Colônia	72
B.5	Diâmetro Rede Colônia	72
B.6	Distribuição de Graus Rede Colônia	73
B.7	Caminhos Mínimos Rede Créteil - 7 às 9h	74
B.8	Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Créteil - 7 às 9h	75
B.9	Betweenness Rede Créteil - 7 às 9h	75

B.10	Coeficiente de Agrupamento Rede Créteil - 7 às 9h	76
B.11	Diâmetro Rede Créteil - 7 às 9h	76
B.12	Distribuição de Graus Rede Créteil - 7 às 9h	77
B.13	Caminhos Mínimos Rede Créteil - 17 às 19h	78
B.14	Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Créteil - 17 às 19h	79
B.15	Betweenness Rede Créteil - 17 às 19h	79
B.16	Coeficiente de Agrupamento Rede Créteil - 17 às 19h	80
B.17	Diâmetro Rede Créteil - 17 às 19h	80
B.18	Distribuição de Graus Rede Créteil - 17 às 19h	81
B.19	Caminhos Mínimos Rede Madrid A6	82
B.20	Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Madrid A6	83
B.21	Betweenness Rede Madrid A6	83
B.22	Coeficiente de Agrupamento Rede Madrid A6	84
B.23	Diâmetro Rede Madrid A6	84
B.24	Distribuição de Graus Rede Madrid A6	85
B.25	Caminhos Mínimos Rede Madrid M40	86
B.26	Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Madrid M40	87
B.27	Betweenness Rede Madrid M40	87
B.28	Coeficiente de Agrupamento Rede Madrid M40	88
B.29	Diâmetro Rede Madrid M40	88
B.30	Distribuição de Graus Rede Madrid M40	89

LISTA DE TABELAS

3.1	Base de Dados	29
4.1	Base de Dados e Medidas de Centralidade	35
4.2	Resultados Rede Colônia	39
4.3	Resultados de Hellinger Rede Colônia	41
4.4	Resultados de Hellinger Rede Colônia, grafo agregado.	43
4.5	Resultados Rede Créteil - 7 às 9h	45
4.6	Resultados de Hellinger Rede Créteil - 7 às 9h	47
4.7	Resultados de Hellinger Rede Créteil - 7 às 9h, grafo agregado.	49
4.8	Resultados Rede Créteil - 17 às 19h	51
4.9	Resultados de Hellinger Rede Créteil - 17 às 19h	53
4.10	Resultados de Hellinger Rede Créteil - 17 às 19h, grafo agregado	55
4.11	Resultados Rede Madrid A6	57
4.12	Resultados de Hellinger Rede Madrid A6	58
4.13	Resultados de Hellinger Rede Madrid A6, grafo agregado.	60
4.14	Resultados Rede Madrid M40	62
4.15	Resultados de Hellinger Rede Madrid M40	63
4.16	Valores de Hellinger, Rede Madrid M40, grafo agregado.	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Definição do Problema	9
1.2	Objetivo	10
1.3	Contribuições	11
1.4	Revisão da literatura	11
1.5	Organização da Dissertação	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	VANETs	13
2.2	Teoria dos Grafos	16
2.2.1	Redes Complexas	21
2.2.2	Métricas	23
2.2.3	VANETs Como Redes Complexas	25
2.2.4	Hellinger para Análise de Dados em VANETs	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Definição da rede	29
3.2	Tratamento de dados da rede	32
3.3	Determinação das características estruturais	32
3.4	Inspeção visual	34
4	RESULTADOS E ANÁLISES	35
5	CONCLUSÕES	67
5.1	Considerações Finais	67
5.2	Trabalhos futuros	68
A	MÉTODO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	69
B	GRÁFICOS	70
B.1	Gráficos e Histogramas	70
	Referências Bibliográficas	90

INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

O avanço tecnológico é delimitado por ciclos tecnológicos²⁶ que passaram de décadas para microciclos de cinco anos e atualmente é observado novidades tecnológicas a cada seis meses. Este comportamento tem influência direta na sociedade que sempre estará em busca de inovações tecnológicas visando melhorar a segurança e conforto dos usuários. Para suprir essa necessidade, foram criados diversos tipos de sensores para captar este comportamento, neste estudo nos delimitaremos ao veículo, que está presente no cotidiano da maioria da população mundial encurtando distâncias, sejam elas em razão de negócios ou de lazer. Neste escopo, os veículos estão se tornando autônomos e tendo a capacidade de ir para qualquer ponto da cidade apenas interpretando um conjunto de sensores instalados no veículo e para que estes sensores funcionem corretamente, na maioria dos casos é necessária uma interligação entre o veículo e uma rede que interpretará os dados e poderá compartilhar diversos outros dados que possam ser importantes para o veículo alcançar seu objetivo, esta rede é chamada de VANET¹.

Segundo [Kamini and Kumar](#), [Manjyot and Harjit](#) e [Manjot et al.](#) as VANETs nos últimos anos, é estudada com o objetivo de diminuir a exposição dos usuários de veículos à riscos desnecessários, garantindo uma conexão sem fio eficiente entre veículos e equipamentos de infraestrutura da rodovia. O desenvolvimento de algoritmos e soluções que predizem o comportamento da rede veicular ou o estado da rede tem importância destacada, por possibilitar o prévio conhecimento de eventos no trajeto do veículo e contribuir com as tomadas de decisões por um humano, ou em caso de veículos autômatos, por sua central de comando.

Uma VANET que possui o mapeamento dos veículos em intervalos de tempo, detém características semelhantes com grafos, possibilitando a analogia de veículos como vértices e

¹Vehicular Adhoc Network

a comunicação entre veículos e infraestrutura como arestas. Com estas duas informações é possível mapear a VANET como uma rede complexa e por consequência extrair demais dados que trazem um entendimento de como os veículos estão dispostos durante os intervalos de medições, em alguns casos em tempo real. Cientistas de todas as áreas buscam diversas formas de melhorar a assertividade nas tomadas de decisões que possibilitem o sucesso com o máximo de antecedência possível.

Para [Barabasi and Albert](#) as redes complexas são redes dinâmicas por não possuírem uma topologia² única que em um momento qualquer passam a ter nova estrutura topológica gerada por perturbações, como remoção de vértices e/ou arestas, ocasionadas por diversos fatores, dentre eles, ataque de hackers e fenômenos naturais. E como consequência da mudança topológica, certas redes passam a ter alterações de medidas associadas ao grafo³. Até o final do século XX, embora houvessem vários estudos sobre redes, não existiu na literatura investigações específicas que analisassem medidas de centralidade em grafos após perturbações na topologia. Neste trabalho as perturbações são consideradas como sendo as alterações naturais da topologia da rede diante os instantes de tempo de coleta, por tanto, um veículo poderá estar presente ou não em diferentes instantes de tempo.

Considerando todos os aspectos anteriores é levantado o questionamento: *Como quantificar as mudanças estruturais em uma VANET utilizando as métricas de centralidade?*

O problema do trabalho está diretamente relacionada as modificações estruturais da rede, analisando sua estrutura e extraindo métricas de centralidade que possibilitem identificar anomalias estruturais. Mediante o exposto foi levantada a seguinte hipótese:

H1: O quantificador de Hellinger aplicado as métricas de centralidade permite observar divergências entre os instantes de tempo de coleta de uma rede VANET.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem o objetivo de analisar o comportamento de redes VANETs como das cidades de Colônia na Alemanha, Madri e Créteil na Espanha, submetidas a perturbações naturais de acordo com evolução do tempo e medidas pelos instantes de tempo de coleta, considerando o espaço de 100m para comunicação entre os veículos, extraindo suas características pelas medidas de centralidade baseadas nos seus vértices e aplicando a distância Hellinger, semelhante aos parâmetros obtidos por [Cabral et al.](#). Nesta pesquisa é desenvolvido os seguintes pontos:

- Utilizar o quantificador estocástico de Hellinger para identificar divergências estruturais entre os instantes de tempo de coleta.

²Estrutura física onde encontramos a disposição e interação entre os elementos da rede.

³Par de vértices ligados por arestas.

- Compreender o comportamento das VANETs estudadas, baseado-se nas métricas de centralidade de redes complexas e na aplicação do quantificador estocástico de Hellinger.

1.3 Contribuições

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um estudo do comportamento das VANETs caracterizadas como redes complexas, utilizando um quantificador estocástico para extrair características específicas das redes estudadas com a evolução do tempo. Para atingir a contribuição é considerado também os seguinte itens:

- Evidenciar quais medidas de centralidade são vitais para o estudo do comportamento da VANET.
- A utilização do quantificador estocástico de Hellinger no contexto de VANETs.
- Descrever a mudança de comportamento da rede considerando a evolução do tempo.

1.4 Revisão da literatura

A utilização de redes reais para esclarecer o seu comportamento vem sendo estudada pelos pesquisadores com diversas aplicações nas áreas biológicas, sociais e tecnológicas⁴⁰. Ao estudar a dinâmica de redes complexas, compreendemos como um grande conjunto de sistemas dinâmicos que interagem através de um topologia complexa pode se comportar coletivamente⁸. Os estudos em VANETs apontam inúmeros trabalhos, os quais discutem as mais diversas formas de conexão e métodos para troca de dados e melhor aproveitamento da estrutura da rede²⁸, abordando a necessidade de melhor utilização da rede para evitar acidentes, congestionamentos, economia de tempo em trânsito. Os autores Cabral et al.¹⁰ publicaram um estudo sobre a variabilidade de medidas das redes complexas quando as redes são submetidas as perturbações, identificando quais tipos de redes são mais afetadas e a que tipo de perturbação, quantificando através de Hellinger e Kullback-Leibler, generalizando que o melhor quantificador para identificar a divergência é Hellinger nos casos estudados. O estudo das redes complexas se torna importante sobre a ótica da predição da tendencia do comportamento de determinada rede através de métricas de centralidade, que em determinado momento pode haver uma falha ou modificações significativas que prejudiquem ou beneficiem determinado objetivo que a rede. O estudo pode viabilizar a análise de perturbações em redes de sensores sem fio "WSN" e traçar melhores estratégias de disseminação de informações e conseqüentemente obter uma melhor disseminação de dados na rede. No trabalho de Rawat et al.³⁸ foi desenvolvido um framework que resultou no trabalho o qual analisa a conectividade de redes VANETs V2V identificando a taxa de

sucesso e probabilidade de uma informação a ser transmitida. Tal taxa é importante se obtida previamente principalmente em situações de emergência ou urgência onde se requer uma baixa latência e alta eficiência na transmissão dos dados. Já os autores Tang et al.⁴¹ buscaram identificar previamente perturbações, chamadas de Flood, em uma rede de telefonia sobre IP "VOIP" modificando rotas e mudando a estratégia de comunicação mantendo o ótimo funcionamento da rede, neste artigo foi utilizado Hellinger como quantificador para identificar a perturbação e viabilizar ao sistema modificações em suas rotas.

1.5 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- No Capítulo 2, referendo a fundamentação dos conhecimentos utilizados para a proposta realizada neste trabalho, teoria dos grafos, redes complexas, as medidas de centralidade e o quantificador estocástico Hellinger.
- No Capítulo 3, explano a metodologia utilizada, baseada na obra de Cabral et al. que evidencia o melhor aproveitamento do quantificador de Hellinger para a análise de medidas de centralidade.
- No Capítulo 4, apresento os resultados produzidos com suas respectivas análises, interpretações a respeito do uso das medidas de centralidade e utilização de Hellinger para identificar tempos de coleta que se distanciam da uniformidade de leituras em seus respectivos tempos de coleta e podem sinalizar alterações estruturais na rede.
- No capítulo 5, apresento as considerações finais, com comentários dos resultados obtidos e a sugestão de trabalhos futuros baseado na análise deste trabalho.

O capítulo 1, versou sobre a contextualização, motivação e objetivos deste trabalho. O capítulo 2, seguinte, trata da fundamentação teórica utilizada.

2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação deste trabalho baseia-se em conceitos relacionados às atividades desenvolvidas neste trabalho. Iniciaremos com os conceitos e principais características de VANETs, em seguida trataremos da Teoria dos Grafos. Abordaremos também conceitos a respeito da Teoria das Redes Complexas, incluindo destaque sobre o quantificador Hellinger.

2.1 VANETs

Vehicular Ad Hoc Network (VANET), é uma rede veicular dinâmica que vem sendo estudada desde os anos 80 e teve seu início no Japão, segundo [Li and Wang](#) a intenção é prover a comunicação sem fio enquanto os veículos estão em movimento, dentre as aplicações da tecnologia estão a cooperação no monitoramento do tráfego para evitar ou diagnosticar congestionamentos, prevenção de colisões e conexão com a Internet. Temos uma demanda crescente para VANETs com o surgimento de inúmeros sensores para as chamadas *Internet das Coisas (IOT)*, no uso de IOT para VANETs podemos citar os carros autônomos que carregam inúmeros sensores que necessitam de comunicação com a rodovia, chamados de V2I (*Vehicle to Infrastructure*) ou V2V (*Vehicle-to-Vehicle*). Na imagem 2.1 abaixo verificamos três tipos de rede, as chamadas WLAN/Cellular que são basicamente as redes V2I, por possuírem comunicação entre veículo e infraestrutura, já as redes Ad Hoc são caracterizadas como V2V por apenas possuírem a comunicação entre Veículos. Na figura 2.1 também temos o tipo híbrido onde temos uma mistura das características das redes V2I e V2V criando um novo conceito chamado V2X²⁸ ou Híbrida.

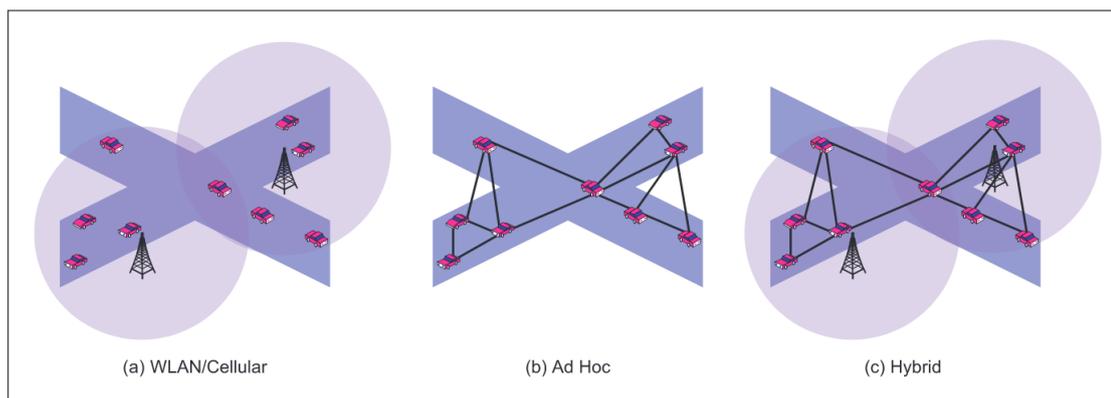


Figura 2.1: Tipos de VANETs, **Fonte:** Li and Wang²⁸

Com o avanço tecnológico em ciclos cada vez mais curtos, as exigências são cada vez maiores para a construção de sensores mais eficientes, permitindo uma larga utilização do conjunto de sensores apoiado em redes de comunicação sem fio, seja conectando veículos a veículos ou a algum sistema de processamento participando da rede. Este tipo de comunicação entre os sensores contribuem em larga escala para a sociedade, evitando como citado por Li and Wang²⁸ o congestionamentos e acidentes. Podemos também adicionar na utilização dos dados gerados, a identificação de necessidade de melhoria na sinalização horizontal da rodovia, construção de vias vicinais¹ para melhoria do tráfego dos veículos, duplicações de vias, mau funcionamento de recursos da via como semáforos, radares, ataques a sensores ou dispositivos que possam por em risco a segurança e integridade do sistema, e também como objeto deste estudo, a identificação de tráfegos atípicos que se afastam do padrão de fluxo da via.

VANETs utilizam conexões via Wi-fi, seja entre veículos chamadas "*Pure Ad Hoc*" ou WAN/Cellular que é a comunicação entre veículo e infraestrutura mais próxima, ou ainda híbrido favorecendo a união das duas anteriores para o bom funcionamento das VANETs. Algumas características devem ser consideradas em VANETs:

- Altamente dinâmica, veículos necessitam estar próximos o suficiente no limite de conexão dos seus sensores para ter uma conexão viável e estável, considerando como variável também a velocidade do veículo^{28,31,30}.
- Frequentemente desconectada, devido a densidade da rede há uma alta probabilidade de desconexão entre os veículos, em muitos casos estes problemas são contornados com roteadores estrategicamente adicionados ao longo da via, mantendo a conexão entre os veículos.
- Armazenamento e Processamento, em sua maioria os vértices ou nós que neste caso

¹Vias que fazem a ligação entre duas vias arteriais, proporcionando um atalho e diminuindo a ocupação da via arterial

são veículos possuem capacidade de armazenamento e processamento suficientes para a tarefa, visto que não são dispositivos limitados como os portáteis.

- Tempo de transmissão da mensagem, em muitos casos a informação deve trafegar o mais rápido possível para que seja possível evitar um acidente por exemplo. Desta forma algumas informações não toleram atrasos na conexão e devem ser transmitidos imediatamente sendo esta uma característica importante que pode inviabilizar a solução em VANETs caso o atraso seja consideravelmente alto.
- Ambientes de comunicação misto, por não haver uniformidade de comunicação nas cidades entre os veículos, a topologia pode ser híbrida aproveitando-se de toda a disponibilidade de conexões encontrada na via para que a informação chegue ao destino com maior agilidade e confiabilidade.
- Conectividade, o padrão geralmente utilizado de conexão é o IEEE 802.11p, mantendo inviável a utilização do protocolo TCP que utiliza *three-way handshake* para iniciar uma conexão, esta prática do protocolo inviabiliza a conexão em alguns casos pois a conexão sofrerá um atraso maior para iniciar, sendo comumente contornado com o protocolo UDP que não se utiliza da checagem de conexão *three-way handshake*. Deve ser considerado também que em uma rede veicular pode existir uma rápida mudança de sua topologia que pode levar a fragmentação dos dados, para contornar a situação, geralmente se lança mão do aumento da potência de transmissão para estabilizar a conexão, em muitos casos esta prática pode gerar anomalias nos sensores diminuindo a assertividade das informações geradas e autonomia dos veículos por necessitarem de mais energia para a transmissão.

A conectividade e transmissão de dados em VANETs é um processo de suma importância, pois qualquer falha pode inviabilizar a comunicação e impedir que o veículo receba os dados ou informações tratadas relacionada ao tempo de viagem ou problemas na via¹, a tempo de uma tomada de decisão pelo monitoramento de tráfego cooperativo⁷, controle de fluxo de tráfego⁹, controle de colisões⁴² ou ainda o serviço de informações em tempo real modificando por exemplo a rota.

Um dos maiores problemas enfrentados no trânsito é o acidente automobilístico, que pode ocasionar a morte de seus condutores, ocupantes e transeuntes. Segundo a *Folha Informativa - Acidentes de trânsito*²¹ da OPAS (Organização Pan-Americana de Saúde), 1,35 milhões de pessoas tem suas vidas interrompidas a cada ano em decorrências de acidente de trânsito, VANETs podem contribuir substancialmente com a redução deste número proporcionando previsibilidade de sinistros ou eventos na via. Por este motivo pesquisadores da academia e da indústria tem aumentado seu interesse em contribuir com o aumento da segurança em veículos, ajudando assim a salvar vidas e proporcionar a redução de colisões, por consequência o número de feridos em decorrência de acidentes. Em outra vertente

temos a análise das vias que também em decorrência de sua característica pode ocasionar acidentes, seja uma má sinalização horizontal ou vertical, congestionamentos constantes, controle de velocidade em locais inadequados, entre outras características dos quais com os dados gerados das VANETs podemos gerar novos dados que determinem uma característica da via.

2.2 Teoria dos Grafos

Grafo é uma representação onde pontos são ligados por linhas ou arestas formando pares de pontos, também existe ponto sem ligações mas nunca linhas que ligam nenhum ponto. Pode-se reescrever como um conjunto G , ou $G(V,A)$ onde V são os vértices, nós ou pontos e A as arestas, links ou linhas. Desta forma um grafo G é um par de (V,A) de forma que $V(G) = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, seja um conjunto não vazio de n vértices ou nós de G e $A(G) = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$ onde $m \leq n$ sendo o conjunto de m arestas ou linhas de G . As quantidades de n vértices e m arestas são denotadas por ordem e dimensão de G respectivamente, definido por um caminho, que é a sequência de vértices e arestas sem repetições.

Um grafo pode também ser representado na forma gráfica e para um melhor entendimento precisaremos estudar o grafo criado por Euler, observa-se a imagem abaixo relacionada ao problema de Euler das pontes de Königsberg², onde temos a seguinte consideração: $a_i \in A$ é incidente a $v_i \in V$ existindo um $v_j \in V$ que a aresta a_i ligue os vértices v_i e v_j . Definimos vértices adjacentes, quando dois vértices são ligados por uma aresta que os une. Arestas adjacentes são as que possuem um vértice em comum. As arestas de um grafo G são segmentos (v_i, v_n) que conectam dois vértices v_i e v_n . Caso uma aresta possua extremidades coincidindo com um vértice chamamos de laço (v_i, v_i) , sendo este um seguimento com origem e extremidades no mesmo vértice.

²No século 18, havia na cidade de Königsberg um conjunto de sete pontes que cruzavam o rio Pregel. Elas conectavam duas ilhas entre si e as ilhas com as margens, por muito tempo os habitantes da cidade se perguntavam se era possível cruzar as sete pontes numa caminhada contínua sem passar duas vezes por qualquer uma delas.

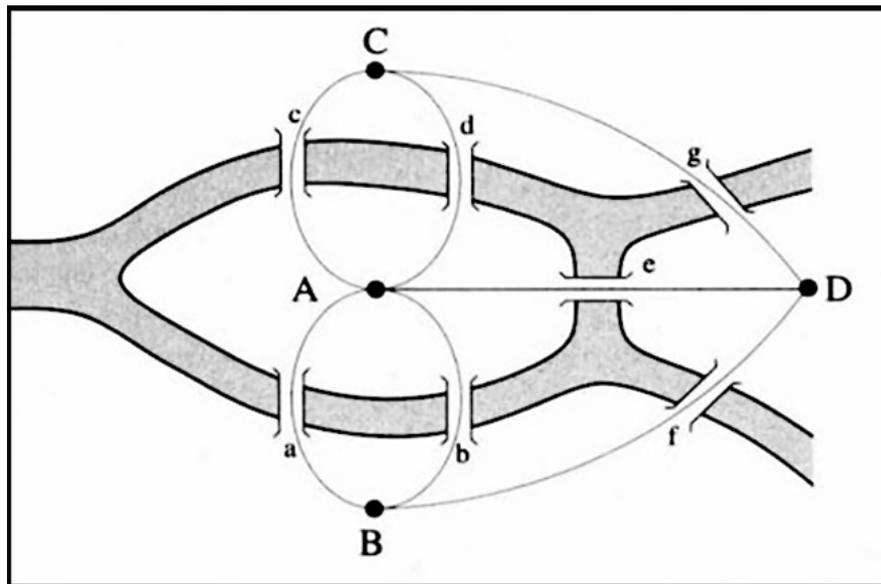


Figura 2.2: Grafo das Pontes de Königsberg¹⁶

Para o problema das Pontes de Königsberg a solução consiste em, partindo de qualquer vértice, tentar atravessar todas as arestas uma única vez e retornar ao vértice de origem. Euler, propôs a solução para este problema e se preocupou em descobrir em que tipo de grafo se pode fazer esse percurso, passando por todas as arestas uma única vez. Esse tipo de percurso foi chamado 'caminho de Euler', e um grafo que consiste de um caminho de Euler foi denominado 'grafo de Euler'. Todo grafo de Euler possui um caminho de Euler³ como o proposto no problema das pontes de Königsberg, para sabermos se existe solução, basta sabermos se o grafo modelo do problema é um grafo de Euler ou não. Um grafo conexo G é um grafo de Euler se e somente se todos os seus vértices são de grau par³.

Imagine que G seja um grafo de Euler. Então ele contém um caminho de Euler. Seguindo esse caminho nota-se que chegamos num vértice 'entrando' por uma aresta e encontramos outra aresta para 'sair' do vértice e continuamos o caminho. Se houver outras arestas adjacentes ao vértice, 'entramos' por uma destas arestas e devemos encontrar uma aresta ainda não visitada para 'sairmos' do vértice. Se houver um número n ímpar de arestas em pelo menos um dos vértices ao realizar o caminhamento, cruzaremos esse vértice $(n/2)$ vezes, passando por $(n-1)$ arestas. Ao passarmos pela n -ésima aresta, 'entraremos' no vértice e não encontraremos arestas ainda não visitadas, desta forma o caminhamento não pode continuar³.

Pela análise do grafo modelo G para o problema das pontes de Königsberg, observa-se que para todo $v \in V$, $gr(v)$ é ímpar. Logo, o grafo G não é um grafo de Euler. Isso significa que o problema não possui solução. Note que não é necessário que tenhamos para todo $v \in V$, $gr(v)$ é ímpar, basta que exista pelo menos um $v \in V$ | $gr(v)$ é ímpar para concluirmos que o grafo em questão não é um grafo de Euler³.

Baseado no grafo de Euler listaremos abaixo alguns conceitos utilizados para a construção deste trabalho:

Grafo direcionado também chamado de Dígrafo ou Quiver que consiste em um grafo G onde G possui um par de (V,A) , cujo as arestas detém uma referência na ponta inicial relacionado ao número de arestas que saem do vértice, na ponta final o número de arestas que chegam no outro vértice, ou seja, um o grafo possui direções de comunicação entre seus vértices baseada em suas arestas. Em VANETs o grafo direcionado pode ser utilizado para representar a comunicação entre os veículos.

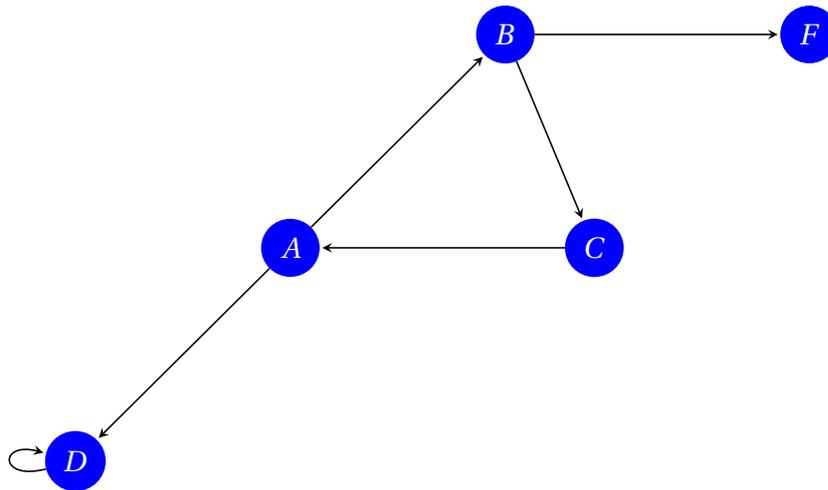


Figura 2.3: Grafo Direcionado, **Fonte:** Autor.

Segundo Boccaletti et al.⁸ grafo não direcionado ou não orientado trata-se de um grafo que não possui direção ou sentido entre seus vértices. Um grafo não orientado pode possuir rótulos nos vértices ou nas arestas, estes rótulos podem ser letras ou números sendo estes chamados de pesos, se $A \rightarrow P(V)$ ou $P(A) \rightarrow V$ torna-se um grafo ponderado. Neste trabalho utilizamos o grafo não direcionado para representar as relações entre os veículos.

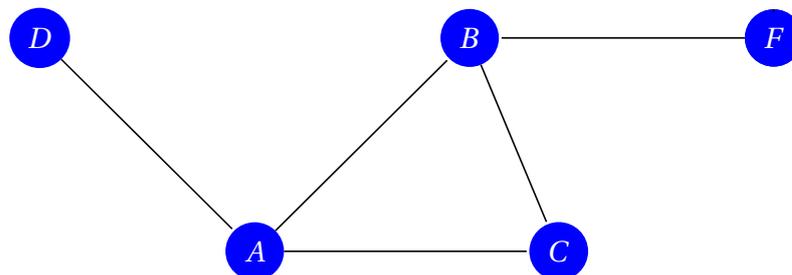


Figura 2.4: Grafo Não Direcionado, **Fonte:** Autor.

A Valência ou grau se refere ao número de arestas incidentes ao vértice, caso tenhamos laço, o grau será contado duas vezes. Em um grafo direcionado, distingue-se o grau de saída, que é o número de arestas saindo de um vértice, e o grau de entrada, que é o número de arestas entrando em um vértice. O grau de um vértice em um grafo direcionado é igual à soma dos graus de saída e de entrada, sendo definido somente quando o número de arestas incidentes sobre o vértice é finito.

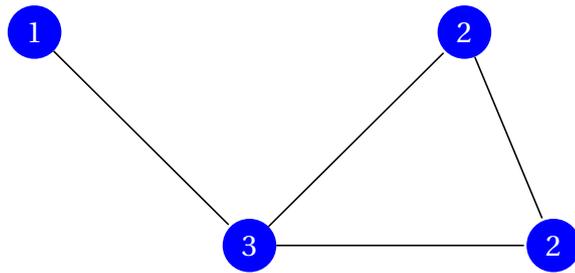


Figura 2.5: Grafo Não Direcionado com graus em seus Vértices, **Fonte:** Autor.

Chamamos laço ou loop uma aresta ou arco do tipo $A = (V_i, V_i)$, relacionando um vértice a ele próprio e tendo comprimento igual a 1.

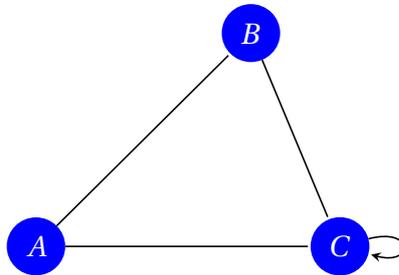


Figura 2.6: Grafo Não Direcionado com Laço no Vértice "C", **Fonte:** Autor.

Definimos caminho como sendo uma sequência de vértices onde em cada um dos vértices existe uma aresta para o vértice seguinte. Existem dois tipos de caminho o caminho euleriano e o hamiltoniano.

Caminho Euleriano

É o caminho que utiliza cada aresta apenas uma vez.

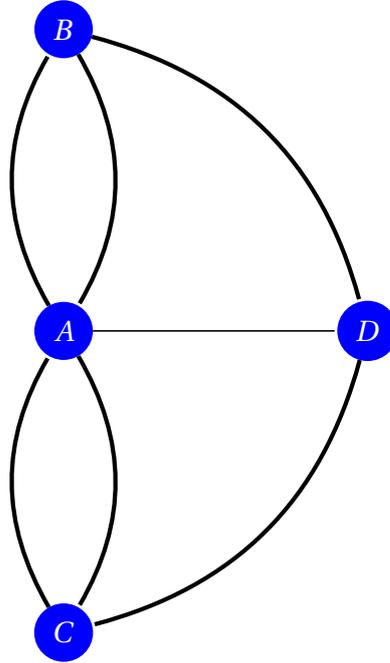


Figura 2.7: Caminho Euleriano, **Fonte:** Autor.

Caminho Hamiltoniano

É o caminho que visita cada vértice apenas um vez.

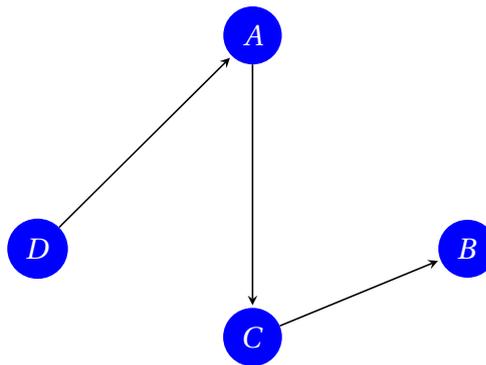


Figura 2.8: Caminho Hamiltoniano, **Fonte:** Autor.

Ciclo ou circuito é o caminho que inicia e encerra no mesmo vértice e que tem comprimento maior que 1, caso o grafo não possua ciclo o chamamos de acíclico.

Um passeio é o caminho percorrido entre dois vértices, seja ele $V_0 = A$ e $V_n = B$ definido como $p(A,B)$ sendo uma lista de vértices e arestas $p(A,B) = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$.

Tipos de Grafos

Um grafo regular é aquele que possui o mesmo número de graus em todos os seus vértices, em contra partida, o grafo completo é aquele que possui a quantidade de arestas em relação a quantidade possível de ligações entre os vértices, no qual podemos calcular da seguinte forma:

$$\binom{V}{2} = \frac{V!}{(V-2)!2!} = \frac{V(V-1)(V-2)!}{(V-2)!2} = \frac{V(V-1)}{2} \text{ arestas.} \quad (2.1)$$

Um ponto importante a ser ressaltado é a densidade de um grafo, que possibilita a análise da quantidade de ligações que possui entre seus vértices. Chamamos um grafo de denso $G(V,A)$ quando $|A(G)| \approx |V(G)|$

2.2.1 Redes Complexas

Para teoria das redes nem todo grafo representa uma rede complexa, segundo Newman³³ as redes complexas apresentam-se através de vários tipos podendo variar os tipos de vértices e arestas, estas características podem resultar em vértices altamente conectados.

Segundo um dos maiores cientistas da atualizada em redes complexas: Barabasi⁵, o termo Redes Complexas corresponde a um grafo que apresenta uma estrutura topográfica não trivial, composto por um conjunto de vértices chamados de "nós", interligados por meio de arestas chamadas também de "linhas". Redes Complexas utilizam-se do formalismo dos grafos adicionando métricas em sistemas reais³⁵. As relações entre os componentes (vértices e arestas) do grafo não seguem nenhum padrão específico, podendo reproduzir tanto grafos totalmente aleatórios, como grafos que seguem uma estrutura regular. A análise de apenas um componente não levaria a nenhuma conclusão sobre o todo, analisar um ser humano por exemplo, não permite que se conheça toda a sociedade em que ele vive. A partir desse argumento vem a necessidade de se desenvolver modelos de redes para estudar as relações, graus e outras métricas do grafo de um conjunto de indivíduos¹¹.

Redes complexas podem ser classificadas por meio de seus vértices, arestas, estrutura física e funcionalidade. Após o surgimento do termo redes complexas vários modelos foram propostos, por exemplo: Radom Graph(Aleatórias)¹⁵, Small-World(Pequeno mundo)^{32,43}, scale-free(Livres de escala)⁵. Estes tipos de redes são constantemente utilizados para modelar exemplos do nosso dia-a-dia: redes de amizades, redes de colaboração que são caracterizadas como redes de pequeno mundo. Neste contexto qualquer vértice liga-se a outro qualquer a partir de outro vértice por um pequeno número de arestas. Para provar isto Milgram³² experimentou estimar o tamanho de uma rede social e quantas etapas que ele gramou de graus de separação são necessários para que dois estranhos estabeleçam algum tipo de vínculo.



Figura 2.9: Experimento de Milgram³²

Neste experimento Milgram enviou centenas de cartas para pessoas em Bostom e Nebraska, nas cartas pedia que enviassem a uma pessoa na cidade de Massachusetts. O problema era que Milgram não forneceu o endereço da pessoa, apenas o primeiro nome e algumas outras informações pessoais. Aconteceu que as pessoas enviaram a mesma carta para outras pessoas que talvez conhecessem o colega de Milgram desconsiderando os outliers em média as cartas chegaram ao destinatário após cinco reenvios, desta forma Milgram generalizou que com seis reenvios seria possível chegar a qualquer pessoa no planeta, validando o conceito de Pequeno Mundo^{32,4}

As redes livres de escala, *Scale-Free*, tem característica topológica de poucos vértices altamente conectados com alto grau, que chamamos de hubs, e em sua maioria vértices com poucos graus. Estas redes são geralmente resistentes ou resilientes a falhas, pois a probabilidade de em uma escolha aleatória afetar um vértice com alto grau é baixa, justamente por possuir em sua maioria vértices com baixo grau que não são vitais para a rede. Como exemplo para a rede do tipo livre de escala temos a Web, onde milhões de páginas representam os vértices e os links que cada uma contém em seu conteúdo, representam as arestas. Este tipo de rede é, sem dúvida, um dos mais comuns e importante pois pode retratar a economia mundial, rede de colaboração de cientistas, perfis para seguidores em redes sociais, redes biológicas, epidemias, entre outras.

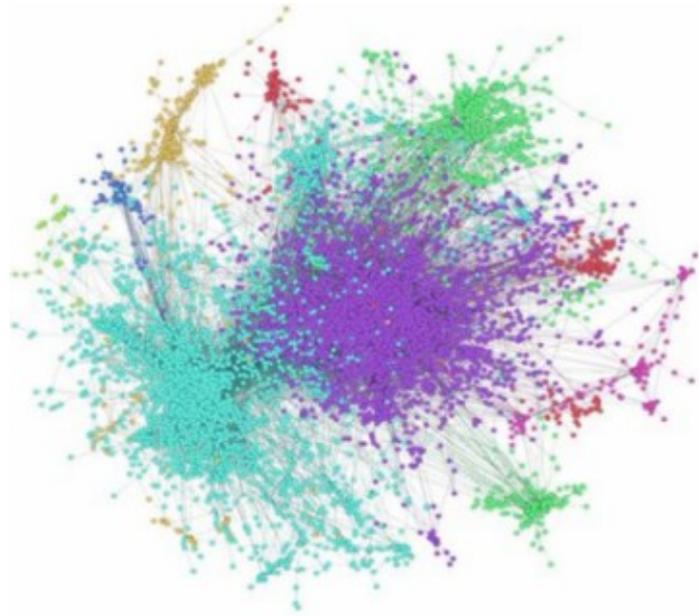


Figura 2.10: Sistema autônomo de roteadores da internet, **Fonte:** Filliben and Mai¹⁹

2.2.2 Métricas

Grau de um nó ou Degree, é o número de vértices adjacentes a um determinado vértice x_i , chama-se de grau de x_i . Em um grafo direcionado $\vec{G} = (V, \vec{E})$, diferenciamos o grau de saída (output) do grau de entrada (input):

$$k_{x_i}^{out}(\vec{G}) = \sum_{x_j \in V: x_j \neq x_i} A[x_i, x_j] \quad (2.2)$$

$$k_{x_i}^{in}(\vec{G}) = \sum_{x_j \in V: x_j \neq x_i} A[x_j, x_i] \quad (2.3)$$

Desse modo, chamamos de grau de x_i :

$$k_{x_i}(\vec{G}) = k_{x_i}^{out}(\vec{G}) + k_{x_i}^{in}(\vec{G}) \quad (2.4)$$

Centralidade de um nó ou Degree Centrality, é definida como o número de ligações incidentes de um vértice, esta medida nos informa qual a probabilidade de um vértice receber alguma informação da rede. Logo, a centralidade de um vértice v de um grafo $G = (V, E)$ é dada por:

$$C_D(v) = deg(v) \quad (2.5)$$

Uma vez que a direção das arestas podem influenciar o cálculo, em redes direcionadas existem duas medidas distintas de centralidade de grau: *indegree*, que corresponde ao número de ligações direcionadas para o nó e *outdegree*, que consiste no número de ligações que o nó

encaminha para os demais vértices da rede.

Segundo Boccaletti et al.⁸ o caminho mais curto, do inglês *Shortest path lengths*, representa um papel importante principalmente para avaliar a comunicação dentro de uma rede, o caminho mais curto é representado em um grafo G como a distância geodésica, ou seja, a menor distância entre os vértices i e j , oferecendo um caminho ideal para comunicação mais rápida. Esta métrica é muito utilizada por exemplo na internet. A média de todos os caminhos mais curtos de uma rede é chamado de caminho característico ou *Closeness* onde define o quanto cada vértice está próximo dos demais. Por outro lado o diâmetro da rede é o valor máximo de $d_i j$, entre os vértices i e j , ou seja o caminho mais distante observado dentro de uma rede.

Diâmetro da Rede ou *Network Diameter*, o diâmetro da rede é basicamente o maior de todos os caminhos mais curtos calculados da rede, ou seja a menor distância entre dois nós mais distantes da rede.

$$r = \max_{u,v \in V} d(u,v) \quad (2.6)$$

Proximidade ou *Closeness Centrality* considerando um um grafo conectado, a proximidade de um nó é uma medida de centralidade calculada pela inversa soma do comprimento dos caminhos mínimos entre um dado nó v e todos os demais nós do grafo. Desse modo, quanto mais central for o nó, mais próximo dos demais esse se encontrará. Sua fórmula é definida como:

$$C(v) = \frac{1}{\sum_{\forall u \in V, u \neq v} d_G(u,v)} \quad (2.7)$$

Onde, $d(u,v)$ é a distância do caminho mínimo entre u e v .

Usualmente, na literatura costuma-se usar sua versão normalizada, dada não mais pela soma de seus caminhos mínimos e sim pela média destes, como visto a seguir:

$$C(v) = \frac{N-1}{\sum_{\forall u \in V, u \neq v} d_G(u,v)} \quad (2.8)$$

Onde, N é o número de nós do grafo, ou seja, $N = |V|$. Para grafos extremamente grandes a diferença -1 torna-se irrelevante, podendo ser descartada.

Intermediação ou *Betweenness Centrality*. Trata-se de uma medida de centralidade de um grafo baseada em caminhos mínimos. A intermediação de um nó v é dada do seguinte modo:

$$g(v) = \sum_{s \neq t \neq v} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (2.9)$$

Onde σ_{st} é o número total de caminhos mínimos do nó s para o nó t e $\sigma_{st}(v)$ é o número de caminhos mínimos de s para t que utilizam o nó v como intermediário.

Coefficiente de agrupamento ou *clustering coefficient*, é o número de ligações entre os vizinhos mais próximos de um nó.

Os estudos das medidas de centralidade de redes foram evoluindo ao longo do tempo. Centralidade, proximidade e intermediação é apontada por Freeman²², como medidas essenciais aos estudos e análises de redes.

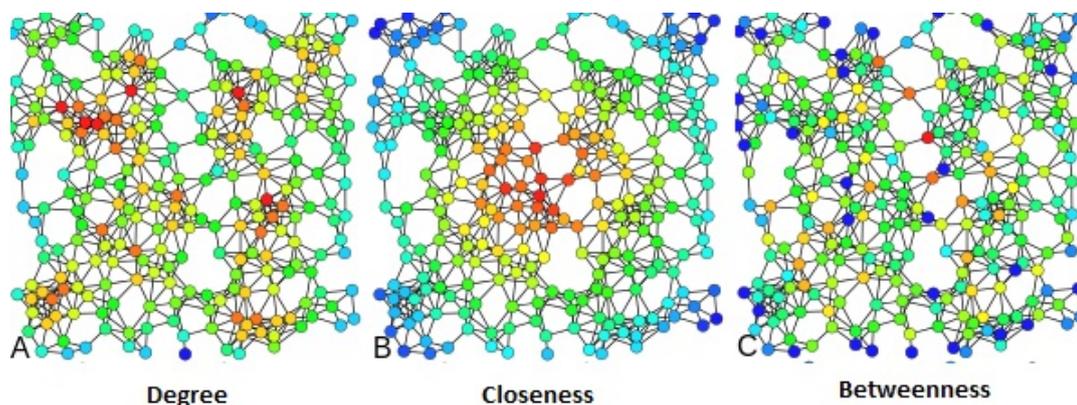


Figura 2.11: Centralidade por grau do nó, proximidade e intermediação, **Fonte: Rocchini - Adaptado**

Na figura 2.11 é observado de forma gráfica os tipos de métricas de centralidade afirmada por Freeman²² como sendo essencial para análise em redes, sendo definido como: A) Degree ou Degree Centrality (Centralidade por grau do nó), B) como Closeness (Proximidade) e C) como Betweenness (Intermediação).

2.2.3 VANETs Como Redes Complexas

Pesquisas científicas em redes de computadores tem como objetivo maior prover a conectividade dos usuários independentemente do cenário exposto. Técnicas estão em desenvolvimento para que o acesso das aplicações sejam realizadas em situações críticas de conectividade, e que todo o processo realizado seja totalmente transparente. Manter o conforto do usuário ao consumir determinado conteúdo e manter a rede disponível para uso das outras aplicações é o maior desafio a ser explorado. Esta relação é inversamente proporcional ao aumento da quantidade de dispositivos conectados e a expansão da infraestrutura atual de comunicação. Inicialmente, surgiram as redes móveis não estruturadas, Mobile Ad hoc Networks chamadas de MANETs, onde um nó podia assumir funções tanto de sistema terminal quanto de encaminhador, não havendo necessidade de uma infraestrutura específica para a comunicação entre dois ou mais nós da rede. Com a possibilidade da inserção de sistemas dentro de veículos, equipados com capacidades de comunicação, surge uma nova abordagem que estende as características das MANETs se tornando VANETs¹⁷.

As redes *ad hoc* trouxeram um diferencial significativo para as comunicações de curto

alcance. A possibilidade de manter conexões com diversos nós sem a presença de uma infraestrutura para gerenciamento dessa rede, possibilita uma gama de soluções que podem ser pensadas para os mais diversos cenários. Um nó pertencente a uma rede *ad hoc* possui interfaces sem fio que o permite trocar informações com outros nós, e possibilitando a rede autonomia para se auto gerenciar.

A maioria das aplicações em VANETs requer algum protocolo de disseminação de dados eficiente, confiável e que realiza múltiplos saltos da fonte até o destino (*multihop*)³ Isso torna esta tarefa uma das mais desafiadoras. Por exemplo: tanto a prevenção de colisões de veículos como o aviso pós-colisão, requerem uma disseminação de dados eficiente e robusta principalmente quando as distâncias entre o emissor e os receptores pretendidos são maiores do que a faixa de transmissão de rádio dos mesmos².

As VANETs possuem características bem específicas como: topologia altamente dinâmica, rede frequentemente desconectada, endereçamento geográfico e modelagem de mobilidade, vários exemplos são expostos no trabalho do autor Aparecido², tais características tem semelhanças diretas com características da teoria dos grafos e redes complexas.

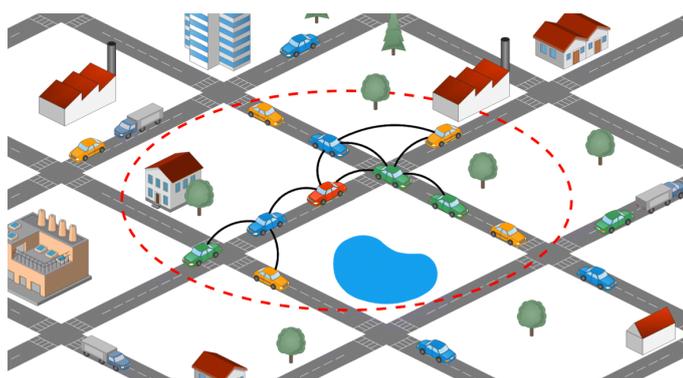


Figura 2.12: Cenário urbano de disseminação de dados em uma VANET, **Fonte: D. da Costa et al.**

A figura 2.12 mostra um cenário de disseminação de dados, em que há um conjunto de veículos dentro de uma área de atividade (elipse pontilhada em vermelho na Figura 2.12). O AoI⁴ é criado a partir de um determinado evento, que tem suas dimensões definidas com base na categoria do evento. O veículo de origem (veículo vermelho na Figura 2.12) tem uma mensagem para disseminar dentro do AoI, mas possui apenas 3 vizinhos dentro de seu alcance de rádio. Nesse sentido, a mensagem deve ser transmitida através de nós de repetição para alcançar outros veículos dentro do AoI. Portanto, o veículo de origem deve escolher nós de retransmissão para realizar a disseminação de dados com alta cobertura, baixo custo e mínimo atraso.

³Multihop é um tipo de comunicação em redes de rádio em que a área de cobertura da rede é maior que o alcance de rádio de nós únicos. Portanto, para alcançar algum destino um nó pode usar outros nós como repetidores³⁶.

⁴AoI descrita como *Area of Interest*, em tradução livre Área de Interesse.

Nesse cenário, é necessário analisar as iterações entre os nós da rede para selecionar os melhores veículos para retransmitir a mensagem de dados. Conceitualmente Redes Complexas são entendidas como uma abstração que permite analisar as relações entre pares de objetos na forma de gráficos e também, o impacto que tais relações trazem para o grafo analisado. Nesse contexto, as métricas de centralidade são essenciais para quantificar a importância de um determinado nó para a rede, que se baseia em certas características específicas na interação entre os nós e a estrutura topológica³⁴.

2.2.4 Hellinger para Análise de Dados em VANETs

A distância ou divergência de Hellinger é utilizada para quantificar a semelhança entre duas distribuições de probabilidade. Foi concebida a partir da integral de Hellinger proposta e 1909 por Ernest Hellinger. A distância de Hellinger é definida por [Diaconis and Zabell](#):

$$D_H(p, q) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{\varepsilon \in \omega} (\sqrt{p(\varepsilon)} - \sqrt{q(\varepsilon)})^2} \quad (2.10)$$

Em que $0 \leq D_H \leq 1$, para $p(\varepsilon) = 0, \forall q(\varepsilon) > 0$, neste trabalho é utilizado a distância de Hellinger como passo final para identificar a semelhança ou dissimilaridade entre as distribuições de probabilidade gerada pelos dados de cada instante de tempo por intermédio do resultado de seus histogramas.

Considerando duas variáveis discretas X e Y definidas no mesmo espaço amostral $\omega = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ onde $p(\varepsilon) = Pr(X = \varepsilon_i)$ e $q(\varepsilon) = Pr(Y = \varepsilon_i)$

3

METODOLOGIA

ESTE capítulo descreve os cenários e a metodologia utilizada neste trabalho e suas respectivas etapas.

A metodologia utilizada para a presente pesquisa utiliza um modelo exploratório¹³, que consiste em quatro etapas cíclicas:

- a) Definição da rede
- b) Tratamentos de dados da rede
- c) Determinação das características estruturais
- d) Inspeção visual

A definição da rede foi baseada em 3 bases de dados públicas do projeto TAPAS, que são comumente utilizadas para estudos em redes complexas e VANETs, as redes foram encontradas em: <http://kolntrace.project.citi-lab.fr> e <http://vehicular-mobility-trace.github.io/>

Nesse trabalho, foram utilizados cinco cenários reais de redes veiculares. Foram utilizadas as comunicações V2V, onde os vértices são considerados veículos e as arestas as relações indicadas nas bases de dados entre os instantes de tempo. Buscando dar ao estudo um maior realismo no que se refere a um ambiente de rede veicular, os cenários analisados foram obtidos a partir das mobilidades veiculares que são utilizados em diferentes abordagens.

Foi utilizado no ambiente de desenvolvimento para a análise o hardware, Intel Core i7-4790K 4.0GHz, 32GBRAM, 128GBSSD e de software foi utilizado o Windows 10 Pro, R 3.6.1 for Windows³⁷, RStudio 1.2.5001 for Windows³⁹ em conjunto com os pacotes:

- igraph
- ggplot2

- dplyr
- utils
- statip
- ggtools
- MASS

O conteúdo do código personalizado e construído para esta análise está localizado em <https://github.com/igormarcos/IgorMarcos2018/>

3.1 Definição da rede

As redes objeto de estudo desta pesquisa é a relação entre os veículos em suas respectivas bases de dados, evidenciadas na tabela 3.1, objetivando a análise e comportamento dos veículos além de explorar a quantificação das mudanças estruturais entre os tempos de coleta. Foram definidas as rede mediante a disponibilidade de dados abertos e da estrutura exposta dos dados, o qual facilitou a construção do código para receber os dados e produzir resultados. As redes VANETs neste trabalho são classificadas como não-direcionada, ou seja, as ligações existentes entre os veículos independem de uma orientação ou direção. Nos grafos relacionado a cada base de dado é considerado relação entre os vértices (veículos) que estiverem em um raio de comunicação de até 100m. Nestes dados não foi removido os veículos desconectados da rede, pois o objetivo é analisar conforme os veículos estão dispostos na rede.

Os vértices da rede são os veículos, agrupados pelos tempos de coletas que aqui referencio como instante de tempo pertencentes a rede, as arestas são as ligações, refere-se ao contato ou comunicação persistente entre os veículos. As bases de dados escolhidas seguem os valores quantitativos de veículos expostos na tabela 3.1 abaixo:

CENÁRIO	VANET	QTD. VEÍCULOS
1	Colônia	107.373
2	Créteil - 7 às 9h	3.045
3	Créteil - 17 às 19h	2.894
4	Madrid A6	1.507
5	Madrid M40	2.012

Tabela 3.1: Base de Dados

Cenário: Colônia

A base de dados de Colônia na Alemanha foi desenvolvida por [Fiore et al.](#) do Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão (ITS-DLR), trata-se de uma base de dados de simulação para tráfego de veículos com o maior realismo possível. Resultou em uma coleta de dados para cerca de 400 quilômetros quadrados no período de 24 horas em um dia útil típico compreendendo mais de 700.000 viagens de carros individuais.

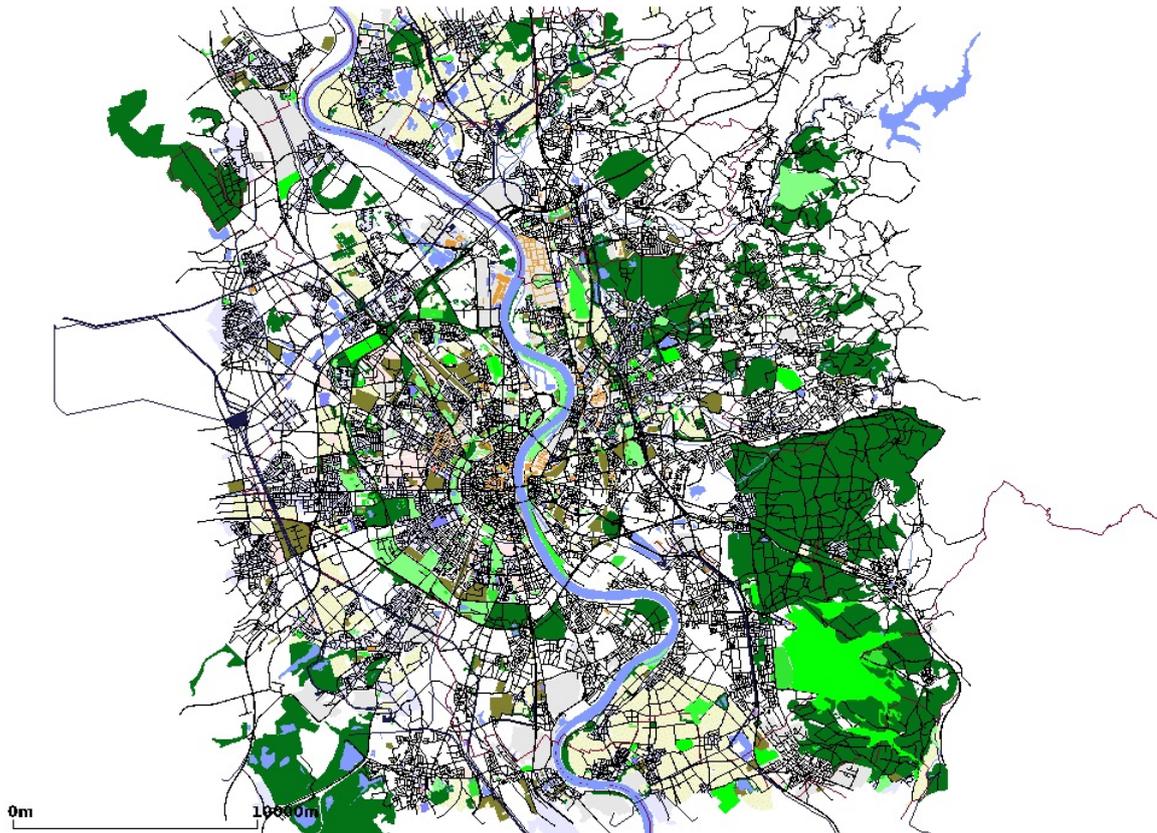


Figura 3.1: Colônia, Alemanha **Fonte:** [Fiore et al.](#)

Cenário: Créteil - 7 às 9h e Créteil - 17 às 19h

A base da cidade de Créteil na França foi coleta no horário de pico entre 07 e 09 horas e 17 e 19 horas, que resultou em um trace com cerca de 10.000 viagens de veículos individuais em uma terça-feira durante uma semana útil de setembro.²⁷

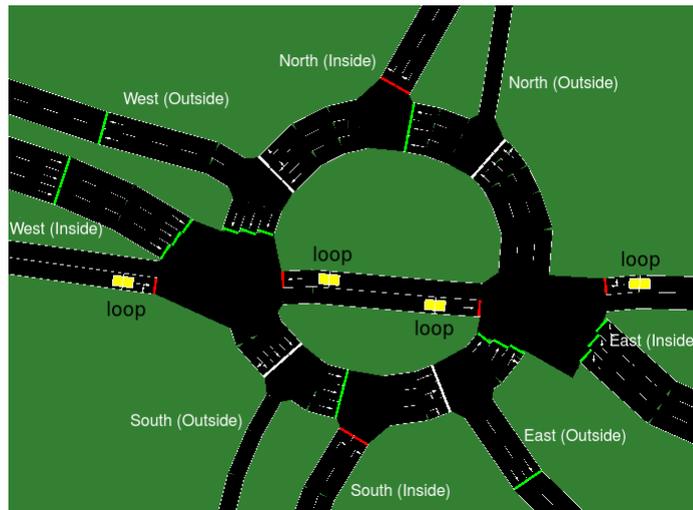


Figura 3.2: Crèteil, França **Fonte:** Lèbre and Mouèl

Cenário: Madrid A6 e Madrid M40

Outra base trabalhada é a do Projeto Madrid²⁴, que são dados sintéticos coletados através de medições reais realizadas na cidade de Madri na Espanha. Os dados foram cedidos pelo Escritório Espanhol de Gerenciamento de Tráfego (Dirección General de Tráfico, DGT) e a prefeitura de Madri, onde detalha as condições do tráfego nas rodovias arteriais denominadas: M40 e A6.

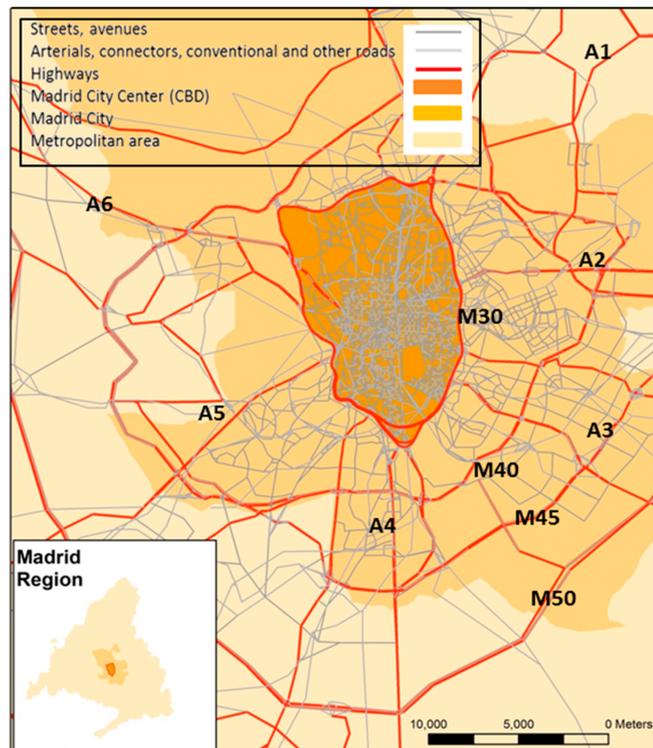


Figura 3.3: Madri, França **Fonte:** F. et al.

3.2 Tratamento de dados da rede

Nesta etapa foram elaborados alguns tratamentos da rede, tal como limpeza e padronização de alguns dados, de forma mínima e minuciosa, para evitar que a reprodutibilidade seja prejudicada.

Os dados estão contidos em arquivos TXT e obedecem a seguinte disposição: - **a)** Os dados são tabulados por espaço em branco, - **b)** Os dados seguem a ordem, VertexTo, VertexFrom, TimeStart, TimeStop, - **c)** Os dados são expressos em números inteiros.

Foram realizadas rotinas para a conversão das bases em TXT para GML nos datasets, necessários para os cálculos das métricas, plotagem das redes e obtenção da dissimilaridade observada entre os instantes de tempos de coleta.

Neste grafo é considerado uma relação entre os veículos quando: um veículo estiver em um raio de até 100m de distância do outro, conforme expresso na figura 3.4 abaixo:

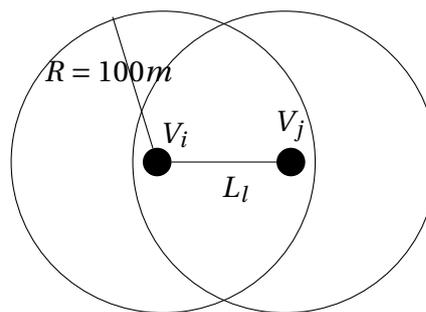


Figura 3.4: Relação L_l existente entre os veículos V_i e V_j na rede veicular com raio de comunicação R , **Fonte:** Autor.

3.3 Determinação das características estruturais

De acordo com De Nooy et al.¹³ a exploração de uma rede pelas métricas que descrevem sua caracterização estrutural é uma forma mais precisa quando comparada a inspeção visual, no entanto as métricas por vezes são abstratas e de difícil interpretação. Por isso, deve-se utilizar ambas abordagens analíticas.

Foram escolhidas as métricas como: número de vértices e arestas, número de graus, grau médio, diâmetro da rede, distância média, coeficiente de agrupamento, centralidade de proximidade (Closeness) e centralidade de intermediação (Betweenness), dos quais foram aplicadas nas bases de dados contidas na tabela 3.1 e extraído seus resultados, após foram submetidas a análise utilizando a métrica de dissimilaridade de Hellinger¹⁰, considerando que p em Hellinger é probabilidade da frequência da métrica extraída do Histograma de coeficiente de agrupamento, centralidade de proximidade (Closeness) e centralidade de

intermediação(Betweenness), para cada instante de tempo da rede que se deseja comparar e q a probabilidade da frequência da métrica extraída do Histograma de coeficiente de agrupamento, centralidade de proximidade (Closeness) e centralidade de intermediação(Betweenness), para cada instante de tempo da rede comparada excluindo-se o instante de tempo de p , assim não se compara o instante de tempo i com ele mesmo, assim a comparação é feita de um para todos. As métricas aferidas denotam de forma quantitativa o comportamento das redes, observando no entanto os tempos de coleta e identificando divergências no comportamento da rede entre os tempos de coleta, fornecendo assim mais um indicador de "assinatura" da rede, onde qualquer divergência considerando o padrão de fluxo de veículos da VANET, podendo ser indicador a ser observado analiticamente.

Para esta pesquisa utilizamos o fluxo de processos 3.5 abaixo:

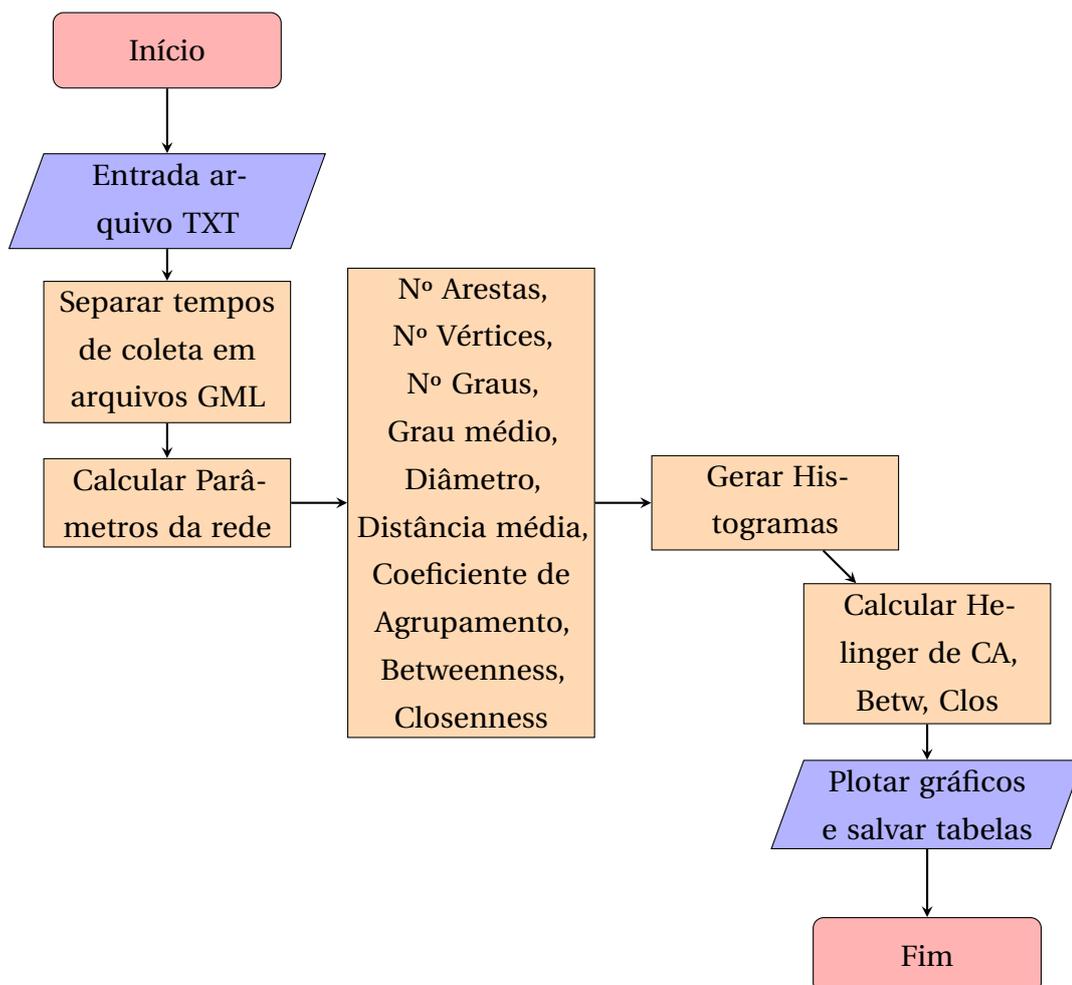


Figura 3.5: Processo para extração dos dados

3.4 Inspeção visual

A visualização gráfica é considerada por inúmeros pesquisadores como uma das melhores formas de observar a relação entre as "coisas", ou seja, a observação gráfica enriquece a análise dos dados. Por este motivo na maioria dos trabalhos científico existem representações visuais que simplificam a análise e dão sentido ao que pode passar despercebido por uma análise tradicional. Levando em consideração a importância da representação gráfica em redes complexas, neste trabalho são gerados gráficos das redes para representar suas relações e permitir a análise visual da dinâmica existente pela disposição dos vértices e arestas que podem evidenciar suas relações.

A análise das redes estudadas consistiu em explorar suas propriedades e características aplicadas a um quantificador estocástico, Hellinger¹⁰, que por sua vez gera uma representação gráfica que caracteriza o padrão de comportamento da rede. As redes estudadas foram expostas a uma análise numérica e gráfica, com o intuito de observar a dinâmica de iteração e evolução comparativa de suas propriedades ao longo dos instantes de tempo de coleta.

Neste Capítulo foram apresentadas as quatro etapas da metodologia utilizada: determinação da rede, tratamento de dados, determinação das características estruturais, inspeção visual. No capítulo seguinte apresentamos as análises e interpretações dos resultados.

4

RESULTADOS E ANÁLISES

COM a aplicação dos métodos explanados e a fundamentação teórica neste trabalho abordada, apresento os resultados, contextualizando com o problema central deste trabalho e objetivos propostos.

Na tabela 4.1 identificamos os cenários V2V, a quantidade de veículos, quantidade de tempos de coleta, grau médio da rede, coeficiente de agrupamento, diâmetro, betweenness médio e closeness médio considerando a base de dados completa sem a separação dos seus tempos de coleta.

CENÁRIO	VANET	QTD. VEÍCULOS	QTD. TEMPOS	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENNESS MÉDIO	CLOSENESS MÉDIO
1	Colônia	107.373	24	18,66	0,7866	87,72	23,63	0,0000023
2	Créteil - 7 às 9h	3.045	24	41,76	0,8557	14,88	72,17	0,0402237
3	Créteil - 17 às 19h	2.894	24	38,02	0,8596	14,40	67,40	0,0402442
4	Madri A6	1.507	20	17,99	0,7817	29,00	197,83	0,0250473
5	Madri M40	2.012	20	20,74	0,7636	37,35	285,3	0,0166827

Tabela 4.1: Base de Dados e Medidas de Centralidade

Na tabela 4.1 temos os valores Betweenness e Closeness médio, referem se a média dos valores obtidos da rede. Após separados os tempos de coleta foram calculadas novamente todas as métricas existentes na 4.1 para cada instante de tempo, que geraram outra tabela de resultados. Os valores de Betweenness e Closeness nesta nova tabela se referem a média dos valores obtidos para cada nó da rede considerando o instante de tempo calculado.

Para calcular Hellinger foi utilizado o seguinte algoritmo: \bar{R}

Algoritmo 1: CALCULAR HELLINGER

```

1 Função: CALCULAR HELLINGER
2 início
3    $i \leftarrow 1$ 
4    $n \leftarrow$  QUANTIDADE DE INSTANTES DE TEMPO
5   for  $i$  to  $n$  do
6     NetworkFile1  $\leftarrow$  frameTable$NetworkFile[ $i$ ]
7     graph1  $\leftarrow$  arquivoGMLTimestemp[ $i$ ]
8     edgeBet  $\leftarrow$  data.frame(edge.betweenness(graph1))
9     histInfoBet1  $\leftarrow$  hist(edgeBet$edge.betweenness.graph1.)
10    edgeClo  $\leftarrow$  data.frame(edge.closeness(graph1))
11    histInfoclo1  $\leftarrow$  hist(edgeClo$edge.closeness.graph1.)
12    idvertex  $\leftarrow$  data.frame (vertex.attributes(graph1))
13    idvertexNrow  $\leftarrow$  QUANTIDADE DE INSTANTES DE TEMPO
14    for  $v$  to idvertexNrow do
15      | valueEdgeTrans  $\leftarrow$  transitivity(graph1, type="local", vids = name)
16    end
17    for  $j$  to QUANTIDADE DE INSTANTES DE TEMPO do
18      NetworkFile2  $\leftarrow$  frameTable$NetworkFile[ $j$ ]
19      graph2  $\leftarrow$  arquivoGMLTimestemp[ $j$ ]
20      edgeBet2  $\leftarrow$  data.frame(edge.betweenness(graph2))
21      histInfoBet2  $\leftarrow$  hist(edgeBet2$edge.betweenness.graph2.)
22      edgeClo2  $\leftarrow$  data.frame(edge.closeness(graph2))
23      histInfoclo2  $\leftarrow$  hist(edgeClo2$edge.closeness.graph2.)
24      idvertex  $\leftarrow$  data.frame (vertex.attributes(graph1))
25      idvertexNrow  $\leftarrow$  QUANTIDADE DE INSTANTES DE TEMPO
26      for  $y$  to idvertexNrow do
27        | valueEdgeTrans2  $\leftarrow$  transitivity(graph2, type="local", vids = name)
28      end
29      if (NetworkFile1  $\neq$  NetworkFile2) then
30        | resultBet  $\leftarrow$  he.distance.hist(histInfoBet1$counts,histInfoBet2$counts)
31        | resultClo  $\leftarrow$  he.distance.hist(histInfoClo1$counts,histInfoClo2$counts)
32        | resultTrans  $\leftarrow$ 
33        | he.distance.hist(histInfoTrans1$counts,histInfoTrans2$counts)
34      else
35      end
36    end
37  end
38 fim

```

Algoritmo 2: CALCULAR HELLINGER2

```
1 Função: CALCULAR HELLINGER2
2 início
3   he.distance ← function(p,q){
4      $D \leftarrow (1/\sqrt{2}) * (\sqrt{\text{sum}((\sqrt{p}) - \sqrt{q})^2}))$ 
5     return(D);
6   }
7   Função: HISTOGRAMAS HELLINGER
8   he.distance.hist ← function(pi,qi){
9      $p \leftarrow \text{get.probabilities}(pi); q \leftarrow \text{get.probabilities}(qi);$ 
10     $D \leftarrow \text{he.distance}(p,q);$ 
11    return(D);
12  }
13  Função: GERAR PROBABILIDADES
14  get.probabilities ← function(pc){
15     $p \leftarrow pc / \text{sum}(pc);$ 
16    return(p);
17  }
18 fim
```

A cada rodada é coletado o vetor de valores de betweenness, closeness e coeficiente de agrupamento, em seguida utilizado na função `he.distance.hist` onde são calculadas as probabilidade. Por fim a distância Hellinger com base nas probabilidades, gerando um valor para cada instante de tempo comparado desde que não seja comparado com ele mesmo.

Verificando a tabela 4.1 temos:

A rede **Colônia** possui um número significativo maior de vértices(veículos) que as demais redes, como consequência pode possuir o maior caminho a ser percorrido por uma informação em trânsito na rede, nesta rede para uma informação perpassar do início ao fim, pode percorrer no pior dos caso 87 graus de separação tomando como base apenas o diâmetro da rede, porém o grau médio da rede é o segundo mais baixo das redes listadas, 18, indicando que na maioria das vezes a informação pode perpassar com facilidade. O coeficiente de intermediação (Betweeness) está em 23, isto nos informa que cada veículo possui ao menos outros 23 veículos para ajudar na transmissão de dados, já o nosso coeficiente de proximidade (closeness) é o mais baixo de todos da rede, indicando que nesta rede os veículos estão distantes entre si, desta forma é necessário que a transmissão seja realizada com equipamentos com características de de potência superior.

A rede de **Creteil** é subdividida em dois cenários: **Créteil - 7 às 9h** e **Créteil - 17 às 19** ambos cenário possuem resultados semelhantes, isto se explica devido ambos cenários terem o mesmo trajeto rodoviário, porém avaliados em horários de pico contrapostos, manhã e tarde. A quantidade de veículos e o horário são variáveis importantes para considerar o resultado obtido, ainda mais se levarmos em consideração que o trajeto rodoviário é basicamente uma rotatória sem semáforos, desta forma explica-se o alto coeficiente de agrupamento e destacado coeficiente de proximidade para a rede.

Madrid A6 e **Madrid M40** são cenários que possuem configurações específicas de rodovias periféricas à cidade, desta forma as mesmas revelam trafego de intensidade moderada, que podemos caracterizar também como rápido em velocidade, observa-se que os resultados dos cenários são aproximados entre si, possuem um coeficiente de intermediação alto em relação aos demais, o que pode indicar que os veículos estão agrupados em quantidade, porém distantes entre si considerando o coeficiente de proximidade;

Cenário: Colônia

Como observado na tabela 4.1 a rede possui características onde os veículos estão distantes entre si porém necessitamos analisar todos os seus 24 instantes de tempo de coleta para identificar se esta característica é divergente do resultado geral em algum dos instantes de tempo. Para obter os resultados separamos seus 24 tempos de coleta e extraímos suas características conforme na tabela abaixo:

TEMPO DE COLETA	ARESTAS	VÉRTICES	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENESS	CLOSENESS
0	6356	2418	5,257	0,744	11	0,000	0,000000171
1	15026	3848	7,810	0,747	15	0,000	0,000000068
2	16744	3867	8,660	0,740	28	0,000	0,000000067
3	19272	4342	8,877	0,759	29	0,000	0,000000053
4	25144	5236	9,604	0,745	30	0,667	0,000000037
5	30242	5793	10,441	0,745	46	1,250	0,000000030
6	43564	7117	12,242	0,745	40	2,667	0,000000020
7	61352	9292	13,205	0,741	55	5,696	0,000000012
8	73608	9643	15,267	0,743	68	12,000	0,000000011
9	97122	10245	18,960	0,755	58	13,745	0,000000010
10	108166	11046	19,585	0,745	115	21,009	0,000000008
11	103936	10580	19,648	0,744	137	22,062	0,000000009
12	110194	10837	20,337	0,748	113	18,000	0,000000009
13	124010	11623	21,339	0,748	110	24,000	0,000000007
14	132850	11610	22,885	0,763	108	24,239	0,000000007
15	140380	12343	22,746	0,746	124	32,000	0,000000007
16	157872	12599	25,061	0,760	156	37,490	0,000000006
17	139912	11612	24,098	0,747	78	41,333	0,000000007
18	143176	12545	22,826	0,753	120	24,467	0,000000006
19	176664	14468	24,421	0,736	170	88,000	0,000000005
20	186412	13303	28,026	0,746	148	70,282	0,000000006
21	165804	12597	26,324	0,752	118	59,941	0,000000006
22	150690	11238	26,818	0,755	110	48,607	0,000000008
23	123880	9144	27,095	0,748	124	29,335	0,000000012
24	96570	7713	25,041	0,752	82	14,000	0,000000017

Tabela 4.2: Resultados Rede Colônia

Os dados expostos na Tabela 4.2 são resultados definidos como consequência da separação dos tempos de coleta, do qual ajudará a entender a rede, observa-se que o Tempo 0 é o estado inicial da rede e os demais os resultados em cada tempo.

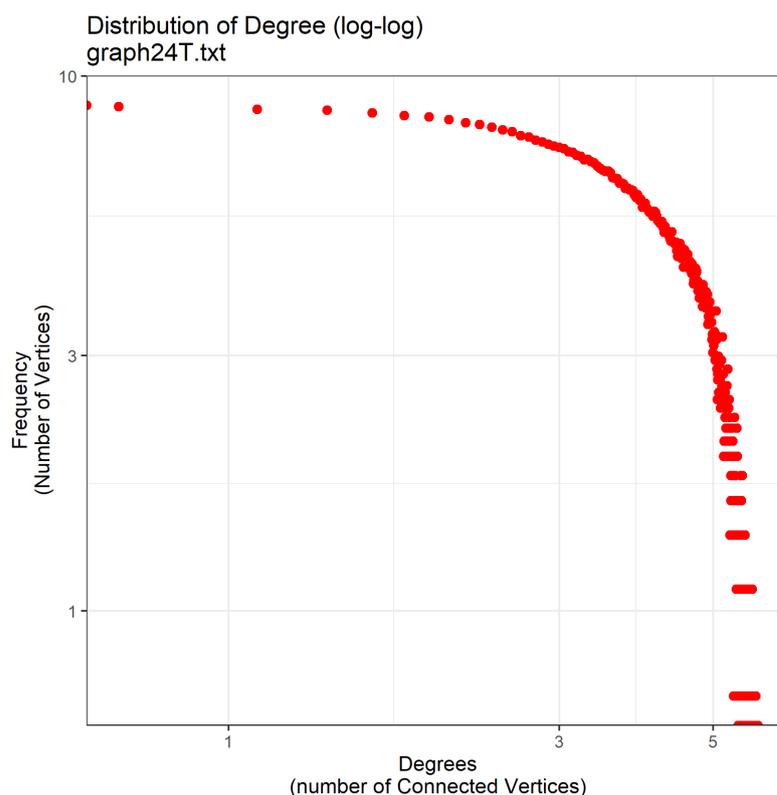


Figura 4.1: Distribuição de graus, Rede Colônia

Na figura 4.1 que os graus de separação entre os veículos se mantêm próximos na maioria dos casos, visivelmente uma distribuição simétrica em torno do grau médio e com ($k > 3$).

A Tabela 4.3 lista os valores para cada instante de tempo de coleta. Como resultado temos a média dos resultados obtidos de Hellinger para as métricas de Betweenness, Closeness e Coeficiente de Agrupamento (transitividade), onde é possível observar visualmente na figura 4.2 uma diminuição acentuada do valor do coeficiente de agrupamento entre os tempos 8 e 24, desta forma é possível verificar que há uma dissimilaridade do intervalo coletado com o restante da rede. Considerando que o valor que há mais divergência é a transitividade verificamos também que na tabela 4.2 há um aumento significativo de veículos no intervalo estudado que pode estar influenciado na característica da rede no intervalo, porém verificando os valores de Closeness e Betweenness para estes resultados não há uma variação acentuada que justifique uma caracterização do comportamento por parte das métricas expostas.

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
0	0,702882	0,608736	0,516457
1	0,637451	0,608391	0,444748
2	0,688686	0,573929	0,440579
3	0,678528	0,699551	0,435483
4	0,675711	0,684669	0,435046
5	0,623001	0,589289	0,43333
6	0,683786	0,644687	0,439355
7	0,688673	0,736794	0,236775
8	0,700026	0,634832	0,23415
9	0,675974	0,580003	0,234497
10	0,619137	0,66113	0,225614
11	0,701662	0,648485	0,22658
12	0,70305	0,635787	0,223062
13	0,675577	0,62241	0,22501
14	0,717454	0,607782	0,230547
15	0,623326	0,769362	0,225727
16	0,675886	0,62549	0,237936
17	0,623211	0,608336	0,228804
18	0,62009	0,726671	0,225247
19	0,742381	0,739626	0,247835
20	0,623008	0,615017	0,238756
21	0,754147	0,651731	0,23701
22	0,6325	0,683307	0,238879
23	0,731595	0,588164	0,245658
24	0,6632	0,738156	0,471517

Tabela 4.3: Resultados de Hellinger Rede Colônia

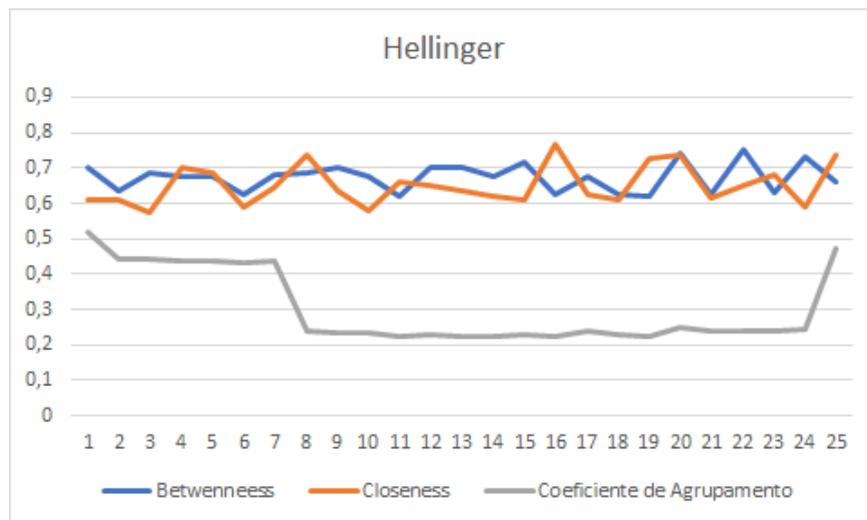


Figura 4.2: Valores de Hellinger, Rede Colônia

Se considerado o grafo agregado, ou seja, a comparação em Hellinger sendo p a frequência sem a separação dos instantes de tempos de coleta e q , a frequência da métrica calculada para cada instante de tempo isolado temos os valores abaixo ilustrados na figura 4.3e na tabela 4.4:

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	0,74180223	1,02090338	0,56075683
2	0,71422341	0,73225609	0,46948140
3	0,71164253	0,97031143	0,47481803
4	0,70282444	0,95984042	0,46661809
5	0,70459226	0,95557538	0,45793745
6	0,09451440	1,05553232	0,44662550
7	0,70875738	0,97927654	0,43734621
8	0,70884384	1,07527123	0,40271545
9	0,70777615	1,03739893	0,40036092
10	0,70542196	0,66224834	0,40576659
11	0,03726104	0,79055687	0,40696108
12	0,70686707	0,92536993	0,40872125
13	0,70482666	0,69069384	0,40955874
14	0,70638386	0,94752129	0,40848949
15	0,70512714	1,05123387	0,42410189
16	0,70161779	0,94400663	0,41085956
17	0,70635696	1,00922972	0,42445280
18	0,70592680	0,66442743	0,41707078
19	0,02859413	0,93809251	0,41712002
20	0,70720889	0,94833138	0,41816593
21	0,69799776	0,65432503	0,42413500
22	0,70368859	0,65523111	0,42472126
23	0,02939250	0,94181758	0,42954194
24	0,70787647	0,97238252	0,43033573
25	0,70736030	1,12759905	0,45048141

Tabela 4.4: Resultados de Hellinger Rede Colônia, grafo agregado.

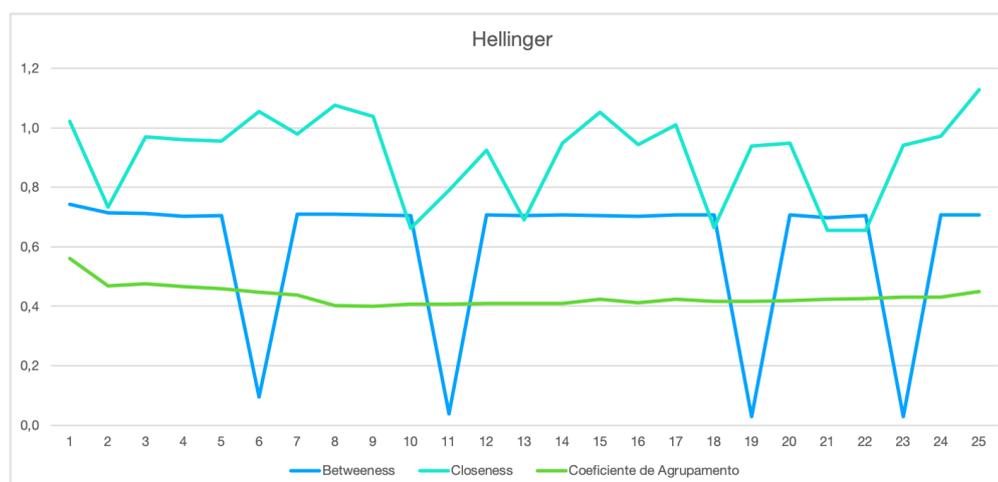


Figura 4.3: Valores de Hellinger, Rede Colônia, considerando o grafo agregado

Na figura 4.3 observamos a comparação utilizando Hellinger para as métricas de Betweenness, Closeness e Coeficiente de Agrupamento onde são comparados cada instante de tempo de coleta com a rede agregada, ou seja, cada instante de tempo de coleta é comparado com o o grafo sem a separação dos instantes de tempo de coleta. Nesta figura podemos observar que há uma divergência visível nos tempos 6, 11, 19 e 23 para a métrica de betweenness. Esta divergência nos sinaliza que nos tempos de coleta destacados os veículos estão mais próximos entre si. Podemos também caracterizar esta divergência como sendo ocasionada pelo aumento do número de veículos nos tempos comparados.

Outra métrica que merece destaque é o Closeness, é possível observar um comportamento bastante irregular que nos destaca necessidade de aprofundar o estudo na métrica para entender a divergência mas que a mesma está relacionada com a importância do veículo na rede para a transmissão da informação e esta irregularidade trás uma característica da rede importante no que diz respeito a necessidade de ajustes nos protocolos de comunicação.

Cenário: Créteil - 7 às 9h

Na Tabela 4.1 a VANET possui características onde o Closeness é bastante acentuado em relação as demais VANETs. Isto se dá devido o trajeto rodoviário ser uma rotatória, assim é comum que os veículos fiquem mais próximos uns dos outros. Neste cenário foi coletado 24 instantes de tempo de coleta que geraram os dados abaixo:

TEMPO DE COLETA	ARESTAS	VÉRTICES	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENNESS	CLOSENESS
0	2	2	2	0,000	1	0	1,000000000
1	3474	152	45,71	0,802	10	47,67	0,000105943
2	3684	155	47,54	0,794	12	65,55	0,000095850
3	1794	138	26,00	0,780	20	194,94	0,000217628
4	2060	118	34,92	0,766	16	69,04	0,000186848
5	2366	114	41,51	0,856	10	8,88	0,000218198
6	1688	119	28,37	0,804	10	35,53	0,000149925
7	2970	125	47,52	0,832	20	60,91	0,000294638
8	2468	130	37,97	0,778	11	40,71	0,000120760
9	1650	117	28,21	0,767	19	75,44	0,000237812
10	2204	130	33,91	0,797	11	23,38	0,000081185
11	2858	121	47,24	0,836	15	30,63	0,000220410
12	1788	130	27,51	0,784	17	34,15	0,000142653
13	3100	132	46,97	0,854	18	116,01	0,000260078
14	4316	141	61,22	0,817	20	127,66	0,000304971
15	6146	174	70,64	0,806	22	175,75	0,000439274
16	7060	163	86,63	0,791	11	51,03	0,000115314
17	3452	145	47,61	0,825	11	50,25	0,000124704
18	3314	138	48,03	0,770	22	120,04	0,000326264
19	3730	146	51,10	0,824	18	52,87	0,000283086
20	4552	142	64,11	0,822	11	25,21	0,000115141
21	3382	137	49,37	0,819	25	204,03	0,000471921
22	1478	106	27,89	0,788	13	48,66	0,000187424
23	1002	96	20,88	0,821	8	5,86	0,000165221
24	874	83	21,06	0,769	21	140,00	0,000728332

Tabela 4.5: Resultados Rede Créteil - 7 às 9h

É observado na tabela 4.5 que o instante inicial de coleta é bastante divergente dos demais instantes de tempo de coleta devido o número de veículos pertencentes a rede neste instante de tempo, desta forma deve-se desconsiderar o instante de tempo inicial da análise.

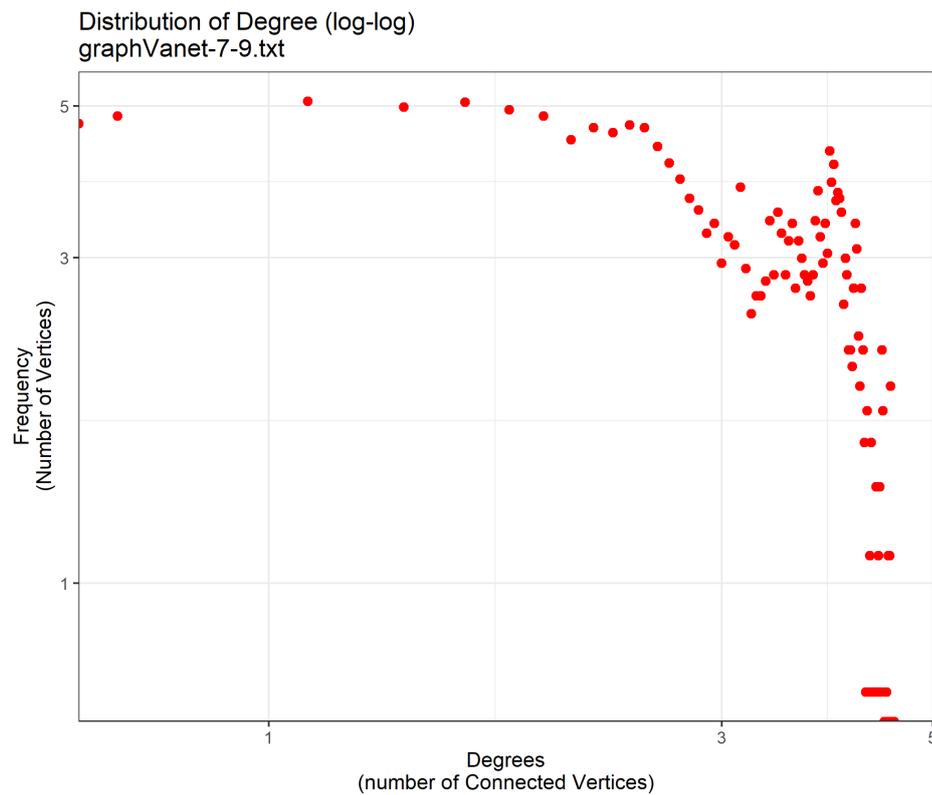


Figura 4.4: Distribuição de graus, Rede Créteil - 7 às 9h

A distribuição de graus da rede observada na figura 4.4 é visualmente assimétrica em relação ao grau médio da rede, porém possui um ($k > 3$)

Na Tabela 4.6 observa-se os valores para os instantes de tempo de coleta de cada métrica aplicada à Hellinger, nesta rede desconsiderando o instante de tempo inicial da rede se observa que há uma uniformidade visual ilustrada na figura 4.5, contudo pequenos picos no valor de Closeness no instante de tempo 9, 10 e 11 que podem estar relacionado com algum evento na via a ser investigado, pois se trata de uma sequencia positiva, negativa e em seguida positiva, incomum para um trafego de uma rotatória.

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
0	2,399912	1,787682	1,741661
1	0,776059	0,796613	0,30874
2	0,769182	0,881939	0,263066
3	0,706416	0,71527	0,270544
4	0,701352	0,759167	0,270666
5	0,748987	0,697342	0,323579
6	0,718998	0,775263	0,276175
7	0,702227	0,777812	0,315059
8	0,777086	0,926815	0,283643
9	0,706993	0,706154	0,251828
10	0,712387	0,842847	0,247857
11	0,626943	0,702513	0,319501
12	0,653133	0,682883	0,275542
13	0,755817	0,832425	0,295155
14	0,712038	0,781655	0,256616
15	0,755912	0,682096	0,28205
16	0,799402	0,7167	0,2971
17	0,651907	0,759463	0,269503
18	0,652078	0,793017	0,305865
19	0,709332	0,860955	0,267868
20	0,645983	0,766584	0,285929
21	0,738246	0,702007	0,290573
22	0,650794	0,816173	0,294037
23	0,766102	0,763776	0,312841
24	0,687918	0,759398	0,253173

Tabela 4.6: Resultados de Hellinger Rede Créteil - 7 às 9h

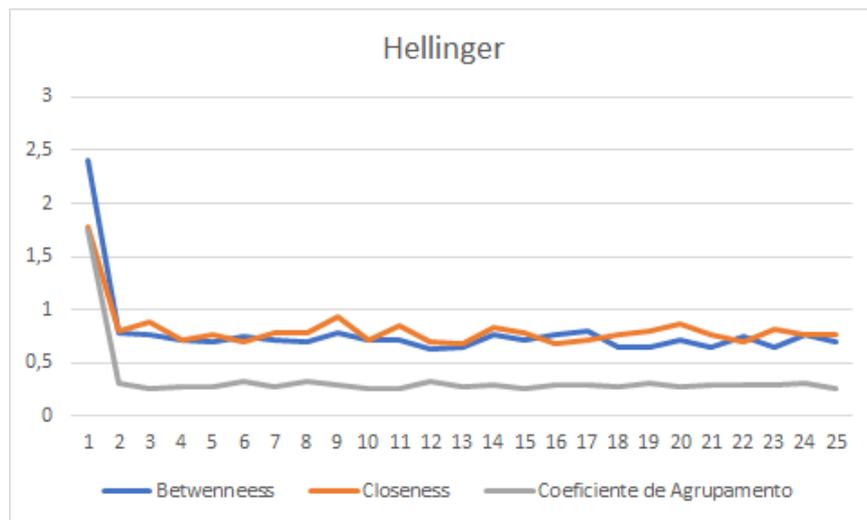


Figura 4.5: Valores de Hellinger, Rede Créteil - 7 às 9h

Se considerado o grafo agregado, ou seja, a comparação em Hellinger sendo p a frequência sem a separação dos instantes de tempos de coleta e q , a frequência da métrica calculada para cada instante de tempo isolado temos os valores abaixo ilustrados na figura 4.6 e tabela 4.7:

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	3,43682266	2,49722830	1,70699938
2	0,99021406	0,88440348	0,08963539
3	0,70570982	0,95591093	0,13690537
4	0,98890600	0,94827363	0,14623572
5	0,99967811	0,92305186	0,14500599
6	0,71285666	0,88986346	0,22760951
7	0,73257018	1,02818648	0,14066943
8	0,70965275	1,18305315	0,21382520
9	0,72572448	0,92894383	0,16280903
10	0,99518602	0,88893907	0,10997346
11	0,72622083	0,94850938	0,08845529
12	0,71235126	0,95032621	0,22898852
13	0,71448515	0,88255479	0,13717982
14	0,99409933	0,88211629	0,19539577
15	0,99549163	1,18397702	0,11288256
16	0,99601940	0,96111179	0,16308871
17	0,70885859	0,89076526	0,18857667
18	0,71037467	0,89591035	0,12726983
19	0,71053148	1,18450038	0,19562994
20	0,99024658	0,93396901	0,12942221
21	0,70949064	0,89243596	0,15816502
22	0,71042767	0,95664881	0,17152704
23	0,71551037	0,95993071	0,18074732
24	1,21506455	0,94098458	0,20630438
25	0,71807298	1,03512217	0,09559728

Tabela 4.7: Resultados de Hellinger Rede Créteil - 7 às 9h, grafo agregado.

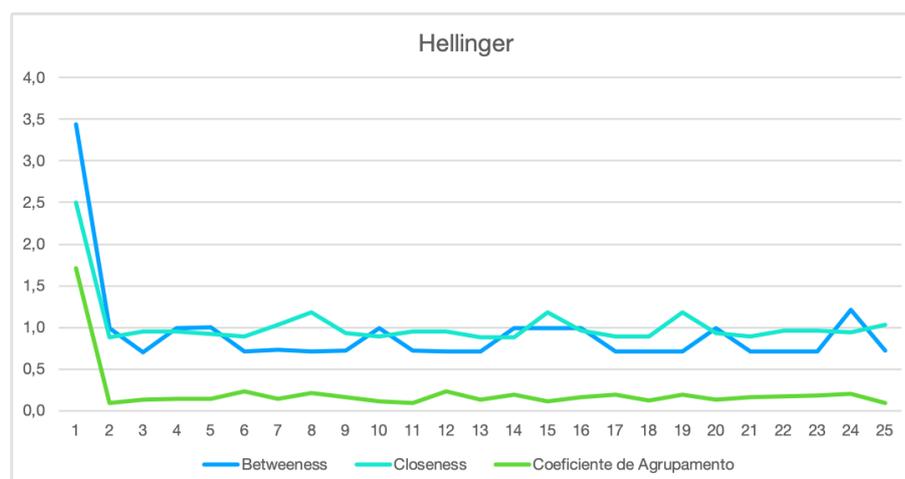


Figura 4.6: Valores de Hellinger, Rede Créteil - 7 às 9h, considerando o grafo agregado

Na figura 4.6 onde consideramos a comparação com o grafo agregado é observado um comportamento bastante regular, contudo ainda assim é possível observar nas métricas de betweenness e closeness picos positivos e negativos, por se tratar de uma rotatória a característica se mantém uniforme. As variações na métrica de closeness nos tempos 8, 15 e 19 informa que nos tempos informados há uma divergência considerável para a métrica do restante da rede, isto pode estar relacionado a quantidade de veículos na rede.

Cenário: Créteil - 17 às 19h

Esta VANET é uma sequência da VANET **Créteil - 7 às 9h**, deve-se considerar que o cenário estudado é contraposto ao horário da VANET anterior, pois aqui é investigado o horário de pico que está relacionado ao retorno dos cidadãos para suas residências, na tabela 4.1 a VANET possui características bastante similares a rede anteriormente estudada, neste cenário temos um número de veículos menor, porém demais métricas se comportam de forma linear, separando seus instantes de tempo obtemos os valores abaixo:

TEMPO DE COLETA	ARESTAS	VÉRTICES	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENNESS	CLOSENESS
0	2	2	2,00	0,000	1	0,000	1,0000000000
1	3694	155	47,66	0,806	15	77,943	0,0001232590
2	3052	148	41,24	0,791	12	62,625	0,0000989071
3	1664	134	24,84	0,758	24	173,983	0,0003012048
4	1584	111	28,54	0,778	14	60,055	0,0001981768
5	1670	111	30,09	0,848	13	46,000	0,0002198285
6	2230	119	37,48	0,810	10	39,072	0,0001650982
7	3396	132	51,45	0,802	27	109,546	0,0003775018
8	3054	134	45,58	0,788	9	41,401	0,0001276488
9	1736	117	29,68	0,789	13	48,722	0,0001992826
10	2164	124	34,90	0,765	19	78,773	0,0002505955
11	2494	119	41,92	0,792	20	35,561	0,0002746498
12	1638	127	25,80	0,739	20	34,928	0,0001591090
13	2682	120	44,70	0,836	10	41,984	0,0002806667
14	2952	129	45,77	0,793	19	129,970	0,0005959476
15	3480	129	53,95	0,798	23	210,442	0,0006226650
16	4240	148	57,30	0,828	12	57,338	0,0001141748
17	2680	137	39,12	0,815	11	44,480	0,0001344809
18	2668	121	44,10	0,793	17	104,115	0,0003862495
19	3640	141	51,63	0,827	12	22,746	0,0000822301
20	4288	137	62,60	0,806	12	38,280	0,0001653713
21	2958	144	41,08	0,818	24	188,873	0,0004529195
22	822	79	20,81	0,781	12	32,248	0,0003681885
23	1326	83	31,95	0,867	5	1,600	0,0001716738
24	580	71	16,34	0,813	6	43,548	0,0002340824

Tabela 4.8: Resultados Rede Créteil - 17 às 19h

Neste cenário também deve-se desconsiderar o instante de tempo inicial pois o número de veículos presentes da rede em relação aos demais instantes de tempo estudados.

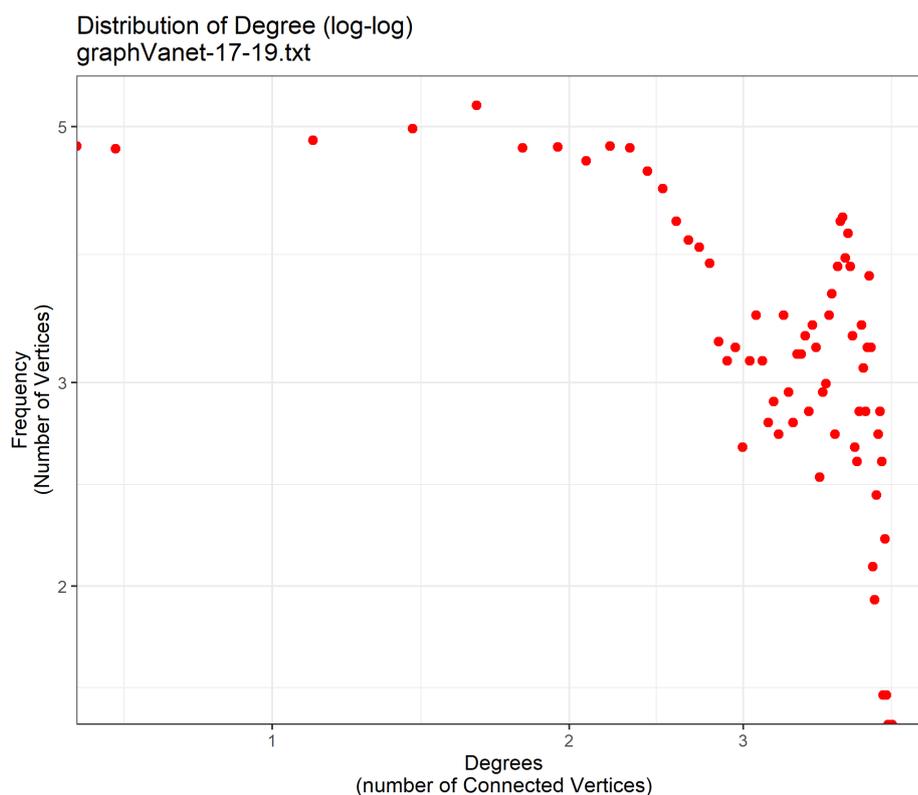


Figura 4.7: Distribuição de graus, Rede Créteil - 17 às 19h

A distribuição de graus neste cenário observada na figura 4.7 é visualmente assimétrica em relação ao grau médio da rede, possui um ($k > 3$) em maior concentração porém percebe-se uma frequência menor em relação a rede **Rede Créteil - 7 às 9h**. Na tabela 4.9 observa-se os valores para cada instante de tempo de coleta de cada métrica estudada aplicada ao quantificador de Hellinger, desconsiderando o instante de tempo inicial pode ser verificado que há uma uniformidade no comportamento das métricas tendo uma pequena variação na métrica de betweenness e closeness no instante de tempo 22, reflexo da diminuição do número de veículos presente na rede verificado na tabela 4.8, também é observado que no instante de tempo 23 há uma dissimilaridade do Coeficiente de Agrupamento que pode sinalizar um evento na via que deve ser melhor detalhado.

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
0	2,400771	1,856216	1,735709103
1	0,742	0,774095	0,290678373
2	0,714658	0,841361	0,283762556
3	0,693032	0,839581	0,264614554
4	0,737022	0,796954	0,25871609
5	0,653624	0,744736	0,255989075
6	0,708406	0,819668	0,248813021
7	0,696772	0,822625	0,246529105
8	0,698871	0,761039	0,266624104
9	0,735736	0,747637	0,241306087
10	0,655369	0,74635	0,247047775
11	0,715629	0,725908	0,31810861
12	0,705073	0,766721	0,294809976
13	0,749056	0,806056	0,281593567
14	0,677991	0,748009	0,258264469
15	0,714191	0,749785	0,25142718
16	0,664379	0,815059	0,248770352
17	0,72037	0,791086	0,277711859
18	0,661085	0,800981	0,285241222
19	0,696374	0,806389	0,271343782
20	0,723367	0,826395	0,268348066
21	0,784508	0,698908	0,261227805
22	0,657374	0,799707	0,274792564
23	0,706505	0,83353	0,419863613
24	0,740463	0,809689	0,230844451

Tabela 4.9: Resultados de Hellinger Rede Créteil - 17 às 19h

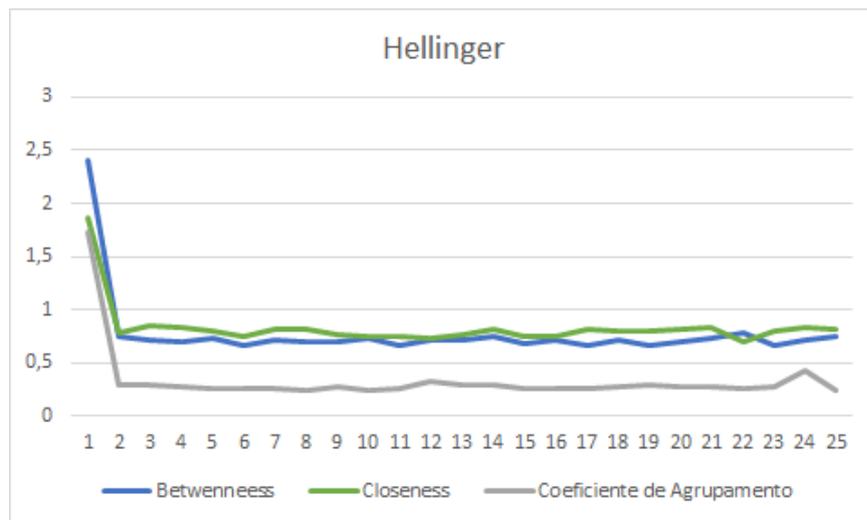


Figura 4.8: Valores de Hellinger, Rede Créteil - 17 às 19h

Se considerado o grafo agregado, ou seja, a comparação em Hellinger sendo p a frequência sem a separação dos instantes de tempos de coleta e q , a frequência da métrica calculada para cada instante de tempo isolado temos os valores abaixo ilustrados na figura 4.9 e tabela 4.10:

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	2,43222161	2,71078204	1,69631423
2	0,69426548	0,76928846	0,06844674
3	0,70039879	0,95097426	0,17210590
4	0,68509067	1,12593831	0,13678420
5	0,13307040	1,10474212	0,12992717
6	0,71207611	0,95606208	0,13048941
7	0,69666646	1,05062414	0,12554618
8	0,71252440	1,11331822	0,10796616
9	0,72977636	1,01277333	0,15555579
10	0,12055579	0,94851741	0,09904723
11	0,70786673	0,98293174	0,11489300
12	0,68281701	0,86577264	0,21994551
13	0,72075322	0,84781496	0,17515889
14	0,71482380	0,98286004	0,17760751
15	0,69281854	0,97678176	0,13313524
16	0,68596708	0,97678176	0,12392945
17	0,70734024	1,11558445	0,11860332
18	0,70182541	0,84421759	0,16518190
19	0,70686336	1,10058765	0,16957755
20	0,71073004	0,86740948	0,14601884
21	0,69236960	0,85411506	0,13764058
22	0,71576127	0,97675228	0,13267605
23	0,71133374	1,04497257	0,15150107
24	0,72590998	1,02871016	0,34400742
25	0,75552276	1,09633094	0,08929616

Tabela 4.10: Resultados de Hellinger Rede Créteil - 17 às 19h, grafo agregado

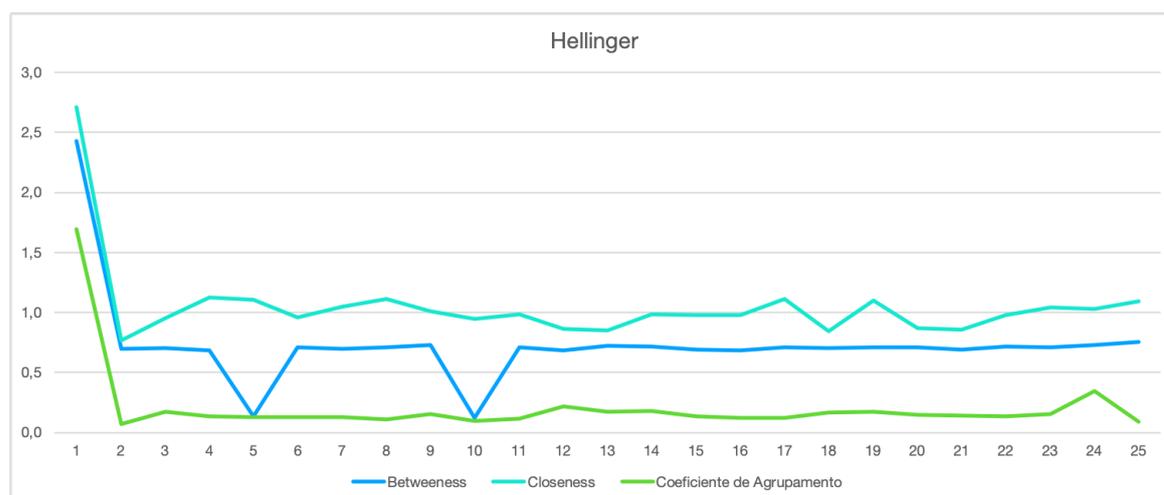


Figura 4.9: Valores de Hellinger, Rede Créteil - 17 às 19h, considerando o grafo agregado

Na figura 4.9 consideramos a rede agregada em relação aos demais tempos de de coleta, é notável que diferente do que observado na figura 4.6 neste cenário temos picos negativos em relação a rede nos tempos 5 e 10 na métrica de betweenness, fato relevante a ser considerado que pode caracterizar o estado da rede neste período de coleta que diverge do período anterior.

Cenário: Madrid A6

Este cenário se refere a uma rodovia periférica à cidade de Madri, desta forma possui uma concentração de veículos menor e com maior velocidade média entre os veículos, este cenário possui 20 instante de tempo de coleta, podemos observar os dados gerais da rede na tabela 4.1. Extraído os resultados baseado nos instantes de tempo para cada métrica e exposto abaixo:

TEMPO DE COLETA	ARESTAS	VÉRTICES	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENNESS	CLOSENESS
1	6	3	4,00	1	1	0	0,50000000000
2	626	85	14,73	0,713322	23	152	0,00076452599
3	1416	172	16,47	0,732035	20	93	0,00004681538
4	2298	260	17,68	0,773154	20	48,5	0,00001808498
5	3112	335	18,58	0,751434	33	118	0,00001066792
6	3634	393	18,49	0,756284	40	166	0,00000777871
7	4028	445	18,10	0,748927	44	248	0,00000632555
8	4516	447	20,21	0,78436	31	95	0,00000572561
9	4096	430	19,05	0,739911	66	1.845	0,00001099699
10	4690	448	20,94	0,771579	20	126	0,00000604847
11	3858	420	18,37	0,75907	47	271	0,00000774039
12	4226	424	19,93	0,786049	26	45	0,00000618640
13	4026	417	19,31	0,785064	20	54	0,00000635530
14	3376	404	16,71	0,7696	27	94	0,00000692473
15	3406	398	17,12	0,759517	39	180	0,00000872258
16	3994	416	19,20	0,778296	24	69	0,00000664322
17	4022	416	19,34	0,758809	27	108	0,00000660943
18	3932	404	19,47	0,756596	33	90	0,00000706394
19	4424	432	20,48	0,76063	21	115	0,00000628292
20	4442	411	21,62	0,785369	18	37,6	0,00000646843

Tabela 4.11: Resultados Rede Madrid A6

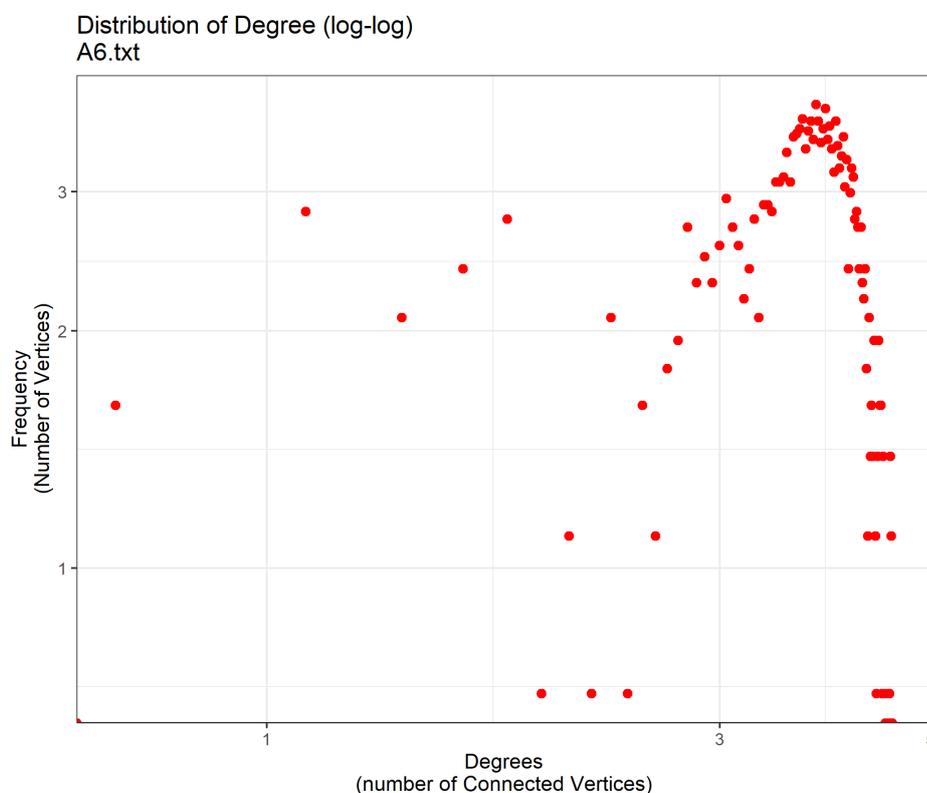


Figura 4.10: Distribuição de graus, Rede Madrid A6

A distribuição de graus no cenário **Madrid A6** possui uma tendência de ser simétrico

em relação ao grau médio conforme observado na figura 4.10 com ($k > 3$). Na tabela 4.12 observamos os valores quantificados com Hellinger para as métricas de betwenness, closeness e o coeficiente de agrupamento, nos dados é possível verificar que há uma linearidade no comportamento da rede, sendo esta perturbada no instante 12 e 98 na métrica Closeness e 15 no coeficiente de agrupamento.

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	2,421057	1,706381	1,732807
2	0,832992	0,856372	0,32764
3	0,758206	0,667939	0,228973
4	0,796945	0,711711	0,190258
5	0,811688	0,762595	0,197784
6	0,734675	0,689304	0,202026
7	0,752292	0,770636	0,210494
8	0,795091	0,712723	0,217635
9	0,774022	0,719816	0,194698
10	0,773066	0,678784	0,199631
11	0,749701	0,829942	0,201293
12	0,776659	0,632169	0,208329
13	0,76537	0,655781	0,216929
14	0,711468	0,643392	0,445081
15	0,727974	0,691165	0,20385
16	0,771377	0,678906	0,194487
17	0,741056	0,675722	0,19381
18	0,808926	0,876074	0,216929
19	0,815975	0,74582	0,195465
20	0,737077	0,652023	0,256622

Tabela 4.12: Resultados de Hellinger Rede Madrid A6

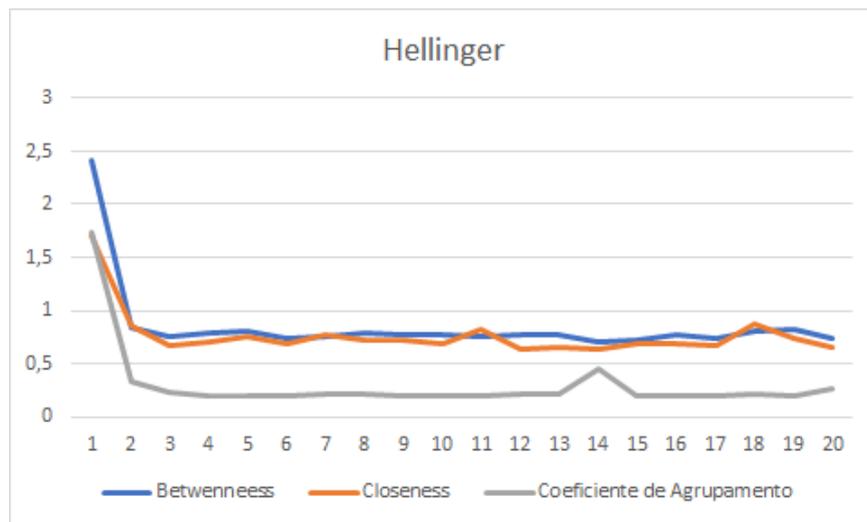


Figura 4.11: Valores de Hellinger, Rede Madrid A6

Se considerado o grafo agregado, ou seja, a comparação em Hellinger sendo p a frequência sem a separação dos instantes de tempos de coleta e q , a frequência da métrica calculada para cada instante de tempo isolado temos os valores abaixo ilustrados na figura 4.12 e tabela 4.13:

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	2,72088205	2,47838979	1,72654444
2	0,69438189	0,74214530	0,52609358
3	0,20111222	0,94311201	0,53606982
4	0,73171599	0,78382552	0,58599163
5	0,71337216	0,78266420	0,58533812
6	0,72086489	1,12126161	0,58723226
7	0,14095288	0,94989639	0,55948006
8	0,70620932	0,73510962	0,62484971
9	0,71977727	0,85312057	0,55701414
10	0,72820108	0,95056511	0,61110914
11	0,69517233	0,94837228	0,57259796
12	0,71940983	1,14357886	0,61999252
13	0,71919874	0,91704241	0,62072669
14	0,71970151	0,90967748	0,46534815
15	0,72130175	0,97562599	0,57805611
16	0,72943175	0,94889898	0,61182898
17	0,71273831	0,76001437	0,56722729
18	0,71316372	0,68110764	0,58792895
19	0,72402994	0,89750691	0,59605163
20	0,71321187	0,87525133	0,62170616

Tabela 4.13: Resultados de Hellinger Rede Madrid A6, grafo agregado.

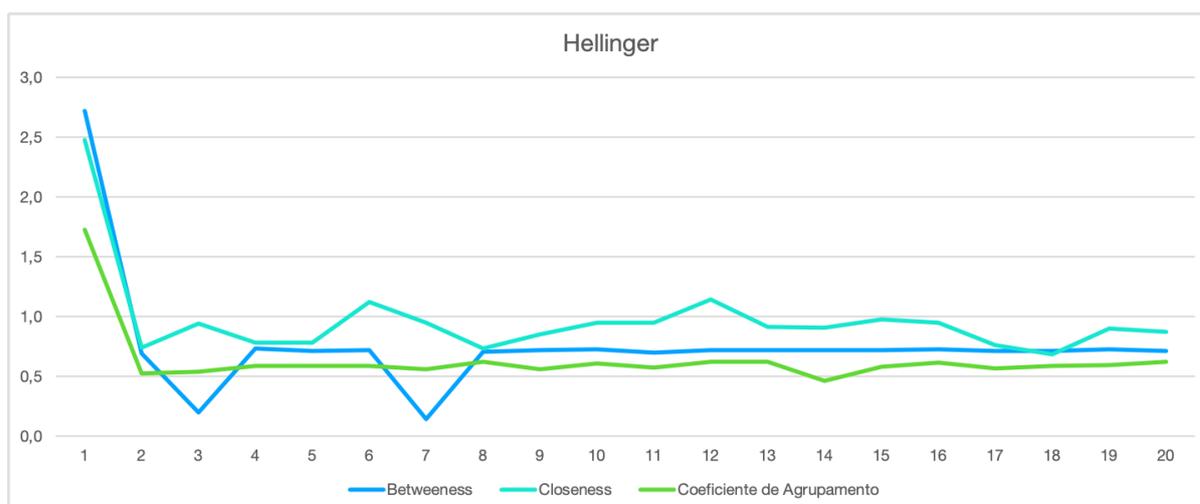


Figura 4.12: Valores de Hellinger, Rede Madrid A6, considerando o grafo agregado

Na figura 4.12 observamos picos negativos na métrica de betweenness nos tempos 3 e 7 que diverge da rede agregada e que está diretamente ligada a quantidade de veículos, pois é nestes tempos que observamos acréscimo de veículos na rede.

Cenário: Madrid M40

Este cenário se refere também a uma rodovia periférica à cidade de Madri, assim possui uma concentração de veículos menor e com maior velocidade média, este cenário possui 20 instante de tempo de coleta, observa-se os dados gerais da rede na tabela 4.1. Extraído os resultados baseado nos instantes de tempo para cada métrica e exposto abaixo:

TEMPO DE COLETA	ARESTAS	VÉRTICES	GRAU MÉDIO	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO	DIÂMETRO	BETWEENNESS	CLOSENESS
1	12	4	6,00	1,0000000000	1	0,00	0,3333333333
2	962	109	17,65	0,7565374440	16	110,31	0,00015292858
3	1866	203	18,38	0,7307672565	35	397,47	0,00006303978
4	2820	310	18,19	0,7605461098	34	366,55	0,00001723633
5	4236	415	20,41	0,7524070524	38	142,69	0,00000670241
6	5058	474	21,34	0,7555617661	35	323,45	0,00000615807
7	5360	496	21,61	0,7511137720	56	180,66	0,00000771302
8	6190	530	23,36	0,7610264664	36	156,58	0,00000449174
9	6304	538	23,43	0,7425841426	36	769,02	0,00000483703
10	6396	531	24,09	0,7529514310	30	410,29	0,00000475875
11	6630	532	24,92	0,7523826823	22	148,72	0,00000430857
12	5872	507	23,16	0,7546568536	46	416,00	0,00000554078
13	5546	500	22,18	0,7525828245	57	371,13	0,00000503701
14	5652	507	22,30	0,7401855704	61	485,13	0,00000519327
15	5332	473	22,55	0,7515017389	39	252,35	0,00000601790
16	4890	462	21,17	0,7532470474	48	249,14	0,00000567455
17	4686	472	19,86	0,7553190985	62	260,50	0,00000546053
18	4718	471	20,03	0,7435626965	31	285,86	0,00000601034
19	5362	483	22,20	0,7531975929	31	145,70	0,00000541647
20	5444	498	21,86	0,7503215235	33	233,79	0,00000501621

Tabela 4.14: Resultados Rede Madrid M40

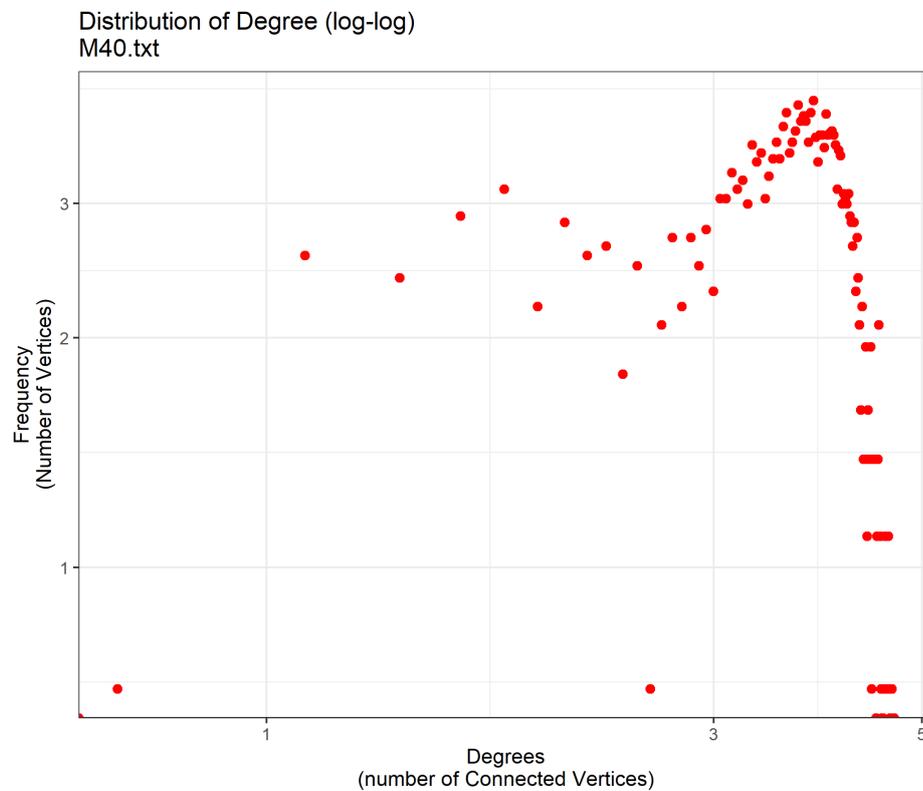


Figura 4.13: Distribuição de graus, Rede Madrid M40

O cenário **Madrid M40** possui semelhança significativa com o cenário **Madrid A6** devido

também ser relacionado a uma rodovia periférica à cidade, a distribuição de graus do cenário tem uma tendência de ser simétrico em relação ao grau médio conforme observado na figura 4.13 com ($k > 3$). Na tabela 4.15 observamos os valores quantificados com Hellinger para as métricas de betweenness, closeness e o coeficiente de agrupamento, na figura 4.14 é possível verificar que há perturbações consideráveis nos instantes de tempo 6 à 13 em todas as métricas analisadas no comportamento da rede.

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	2,30615	1,862429	1,811918
2	0,942184	0,771241	0,329072
3	0,806671	0,789615	0,259102
4	0,797383	0,780828	0,247248
5	0,7518	0,813803	0,234357
6	0,866739	0,801042	0,438927
7	0,774837	0,739563	0,248124
8	0,728664	0,939865	0,234456
9	0,742031	0,687968	0,403834
10	0,790589	0,925596	0,455153
11	0,789409	0,78149	0,282302
12	0,772227	0,820568	0,454188
13	0,831226	0,976148	0,256803
14	0,71443	0,763498	0,237369
15	0,845716	0,812168	0,249004
16	0,832543	0,700906	0,244765
17	0,697952	0,77105	0,236686
18	0,84328	0,761398	0,224848
19	0,730621	0,788059	0,23037
20	0,793484	0,817234	0,244228

Tabela 4.15: Resultados de Hellinger Rede Madrid M40

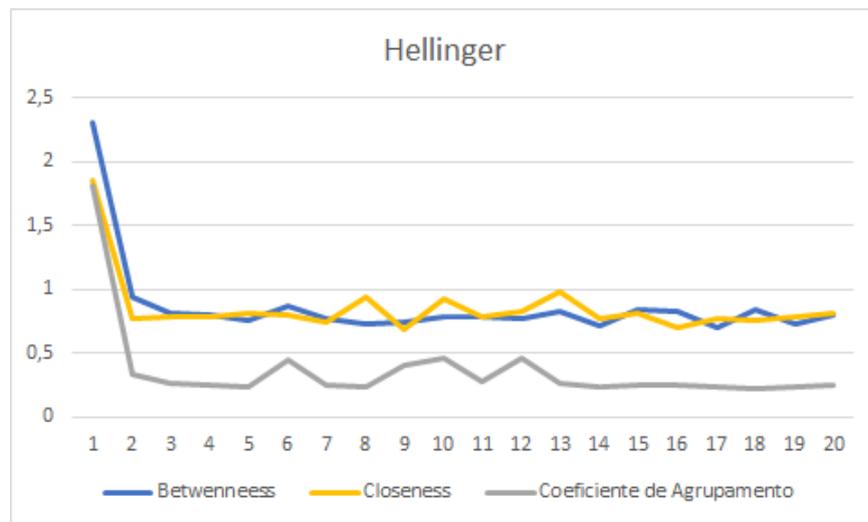


Figura 4.14: Valores de Hellinger, Rede Madrid M40

Se considerado o grafo agregado, ou seja, a comparação em Hellinger sendo p a frequência sem a separação dos instantes de tempos de coleta e q , a frequência da métrica calculada para cada instante de tempo isolado temos os valores abaixo ilustrados na figura 4.15:

TEMPO DE COLETA	BETWENNESS	CLOSENESS	COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO
1	3,20883161	1,37507617	1,37507617
2	1,20766475	0,66049370	0,66049370
3	0,99761426	0,83895742	0,83895742
4	1,00522408	0,67617247	0,67617247
5	0,70652904	0,63141438	0,63141438
6	0,70772325	0,79133518	0,79133518
7	0,71220471	0,72246598	0,72246598
8	0,99316656	0,77725219	0,77725219
9	0,71665422	0,59422678	0,59422678
10	0,99855838	0,71367063	0,71367063
11	0,70514330	0,72954144	0,72954144
12	0,71349973	0,65024784	0,65024784
13	0,71275613	0,73002763	0,73002763
14	0,71526822	0,51001689	0,51001689
15	0,70912351	0,73602887	0,73602887
16	0,70494492	0,58500637	0,58500637
17	0,71180438	0,72921393	0,72921393
18	0,71821915	0,69925327	0,69925327
19	0,99198331	0,62413950	0,62413950
20	0,70826142	0,60382297	0,60382297

Tabela 4.16: Valores de Hellinger, Rede Madrid M40, grafo agregado.

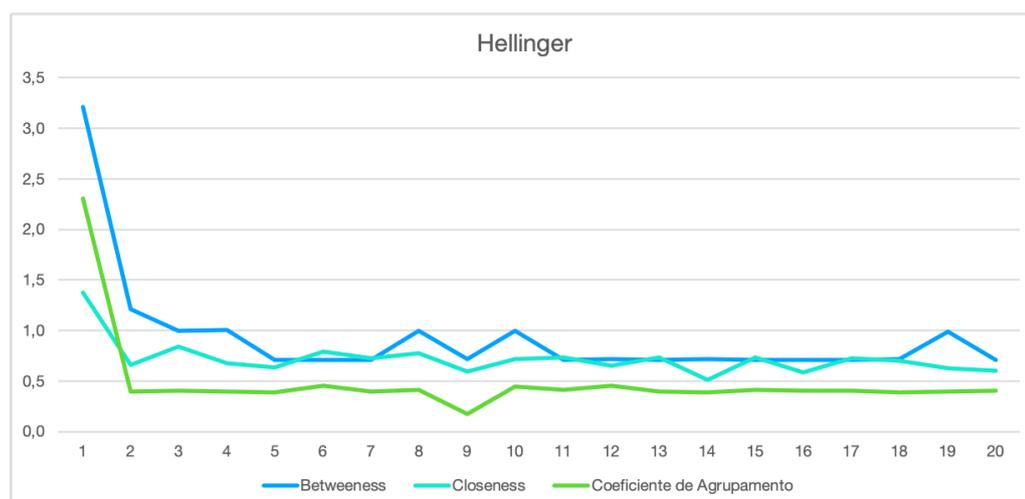


Figura 4.15: Valores de Hellinger, Rede Madrid M40, considerando o grafo agregado

5

CONCLUSÕES

A seguir é apresentado as considerações finais, buscando a contextualização do problema de pesquisa com os resultados obtidos e as sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Considerações Finais

VANETs possuem diversas aplicações, e na era da internet das coisas o protagonismo da VANET vem sendo cada vez mais percebido, em parte pela necessidade de existir tecnologias embarcadas em veículos autônomos. Para que este objetivo se torne uma realidade segura e eficiente, tem-se a necessidade de que os dados trocados entre os veículos sejam cada vez mais rápidos e precisos, que com a utilização de diversos sensores somados aos inúmeros algoritmos e protocolos dotados para a solução funcionem de forma orquestrada e harmônica. Um dos assuntos mais discutidos em VANETs é como disseminar dados de forma eficiente, e neste contexto há um desafio gigantesco pela frente. Este trabalho buscou apresentar uma forma de analisar e extrair uma característica da rede, quantificando suas mudanças utilizando métricas de redes complexas e expondo seus resultados ao quantificador estocástico de Hellinger, assim é possível identificar a dissimilaridade entre os instantes de tempo estudados de cada grafo. Conforme apresentado no trabalho de [Cabral et al.](#) e considerando os diversos tipos de rede existentes, Hellinger é um dos quantificadores mais precisos para identificar a divergência ou dissimilaridade.

As medidas de centralidade de redes complexas possibilitam compreender a dinâmica e o comportamento das redes estudadas, caracterizando a rede e gerando dados para que estes sejam estudados. Permitindo assim ser um caminho para quantificar as mudanças estruturais em uma VANET. Foi então realizado a análise em cinco cenários de redes reais do tipo V2V: Rede Colônia, Rede Créteil - 7 às 9h, Rede Créteil - 17 às 19h, Madrid A6 e Madrid M40. Os resultados evidenciam que a utilização das métricas de centralidade aplicada ao quantificador estocástico de Hellinger ajudam a identificar variações no comportamento

da rede, esta informação pode ser importante para identificar características específicas da rede em determinado instante de tempo, em que se faz necessário uma intervenção para melhoria do tráfego da via ou ainda identificar congestionamentos, entre outros eventos. A disseminação desta informação de forma precisa e tratada por controladores e ou algoritmos específicos podem resultar na eficiência da rede, diminuindo riscos potenciais de acidentes e congestionamentos.

A utilização do quantificador de Hellinger se mostrou importante para identificar as oscilações no comportamento da rede nos instantes de tempo estudados, considerando que inúmeros fatores podem interferir no resultado da rede VANETs como: distância, velocidade, quantidade de veículos e etc. Ter uma só métrica que sinalize que houve uma mudança estrutural no intervalo de tempo específico e apontando uma necessidade de intervenção, possibilita uma ação mais direcionada e assertiva no contexto de inúmeros dados gerados por diversos tipos de sensores. Desta forma, é válida a hipótese onde afirma que: "*O quantificador de Hellinger aplicado as métricas de centralidade, permite observar divergências entre os instantes de tempo de coleta de uma rede VANET*". Quando considerado o grafo agregado para as comparações, potencializamos os resultados pois podemos caracterizar o comportamento da rede em relação a cada instante de tempo de coleta, neste método tempo um tempo de processamento maior, no caso da rede de colônia o processamento durou cerca de 5 dias quando considerado a rede agregada, já relacionado os tempos entre si, durou cerca de 2 a 3 horas.

5.2 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, é considerado a utilização da métrica de resiliência de [Gao et al.](#), expandindo o uso de métricas que resultam em um aperfeiçoamento da análise do comportamento da rede, utilizando métricas de centralidade de redes complexas e expondo características topológicas de interação entre vértices conectados e suas arestas. A orquestração do uso de tempo real da resiliência com o quantificador estocástico de Hellinger, pode gerar um algoritmo mais eficiente para o diagnóstico do estado da via ou comportamento dos veículos.

Apêndice A

MÉTODO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica teve o objetivo de desenvolver o uso da métrica de resiliência em redes complexas, identificando o comportamento da rede durante o curso da vida útil da rede. Durante o processo de verificação da métrica surgiu a questão de como quantificar as mudanças estruturais da rede em seus diversos instantes de tempo registrados de forma transparente nas bases de dados estudadas. O estudo teve início em Fevereiro de 2017 tendo a revisão bibliográfica concluída na entrega desta dissertação.

A busca relacionado aos trabalhos mais relevantes se deu por instrução de um método pessoal do Dr. Alejandro Frery, onde foi iniciada a busca no webofscience⁴⁴ através da sintaxe: `resilience and networks and complex and system and failures`, de posse dos artigos mais relevantes foi extraído o resumo e conclusão dos artigos iniciais e gerado uma nuvem de palavras mais frequentes com o auxílio da ferramenta Wordle⁴⁵ ¹.

Com os resultado das palavras mais frequentes geramos um ciclo de pesquisa alternando a sintaxe a ser pesquisada resultando em artigos relevantes com base na pesquisa, gerando novas perguntas que convergiram para o objetivo desta pesquisa.

¹Wordle é um gerador de "nuvens palavra" do texto que você fornecer. As nuvens dão maior destaque às palavras que aparecem mais frequentemente no texto fonte. Você pode ajustar suas nuvens com diferentes fontes, layouts e esquemas de cores. As imagens que você cria com o Wordle são suas para usar como quiser. Você pode imprimi-los para fora, ou conservá-los a seu próprio desktop para usar-se como você deseja.

Apêndice B

GRÁFICOS

B.1 Gráficos e Histogramas

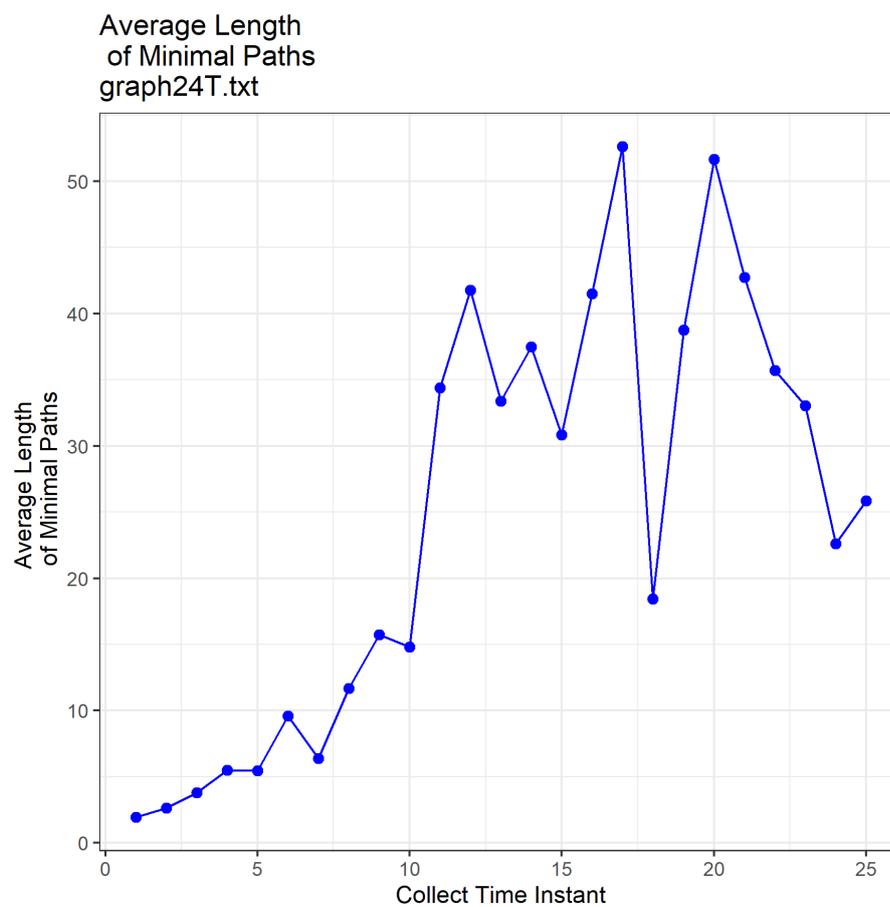


Figura B.1: Caminhos Mínimos Rede Colônia

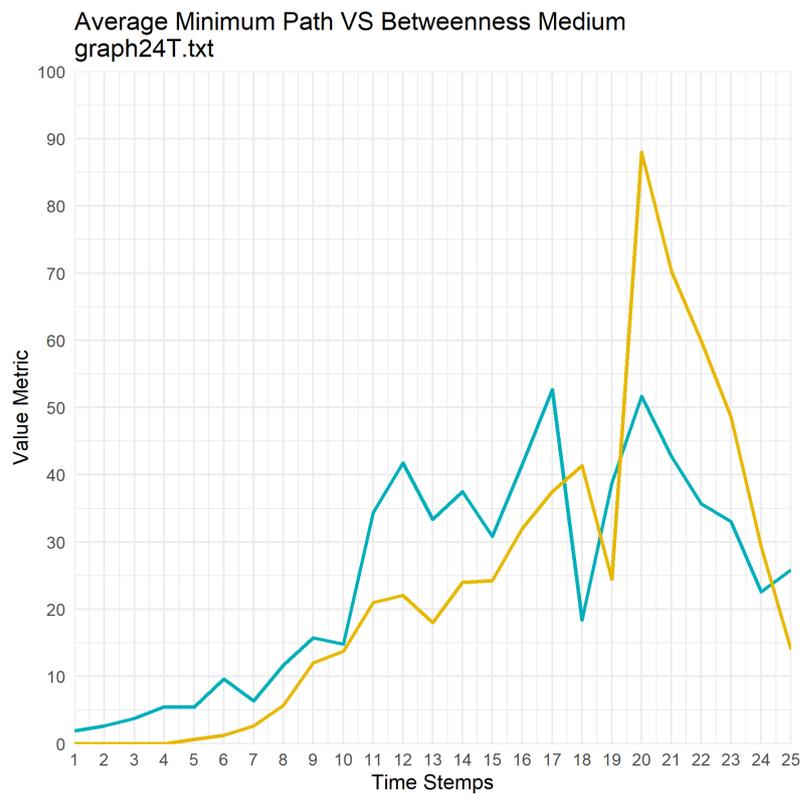


Figura B.2: Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Colônia

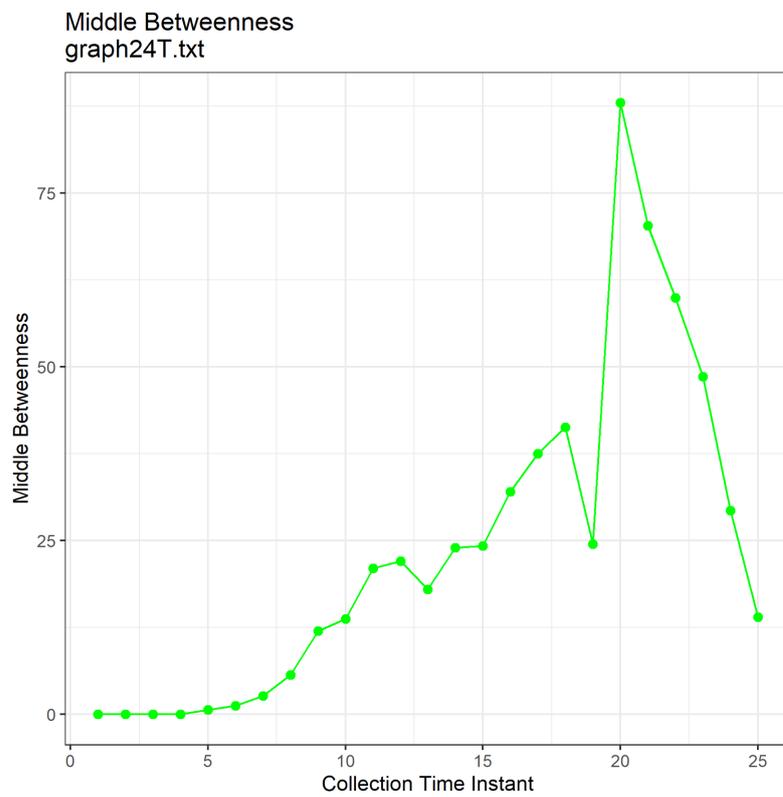


Figura B.3: Betweenness Rede Colônia

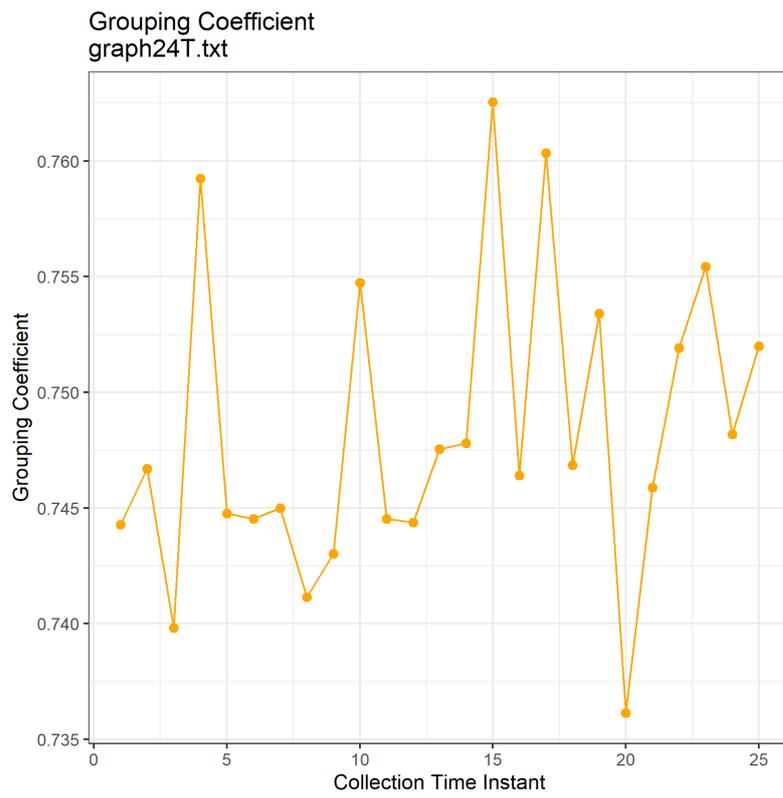


Figura B.4: Coeficiente de Agrupamento Rede Colônia

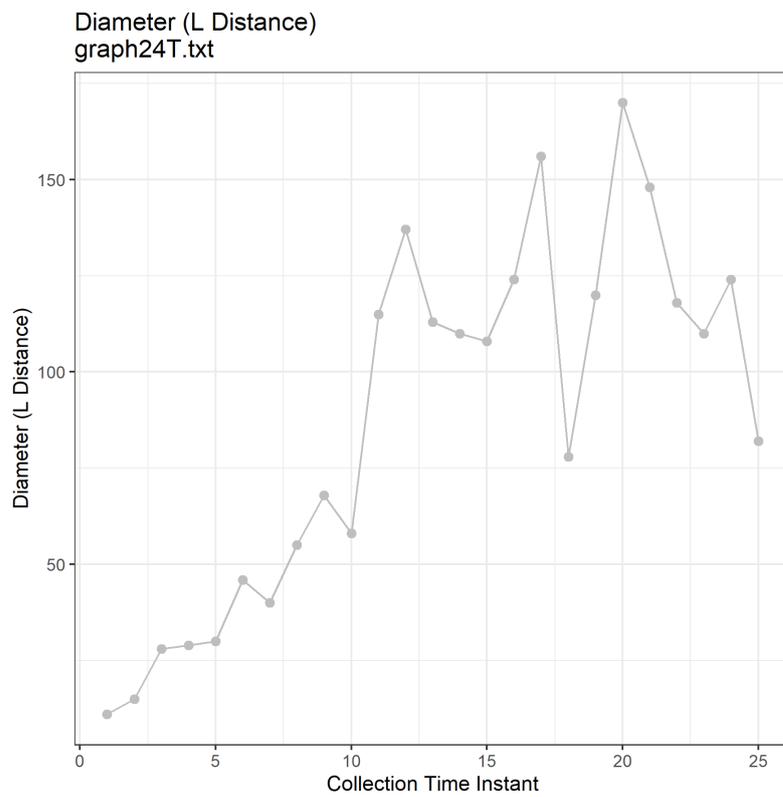


Figura B.5: Diâmetro Rede Colônia

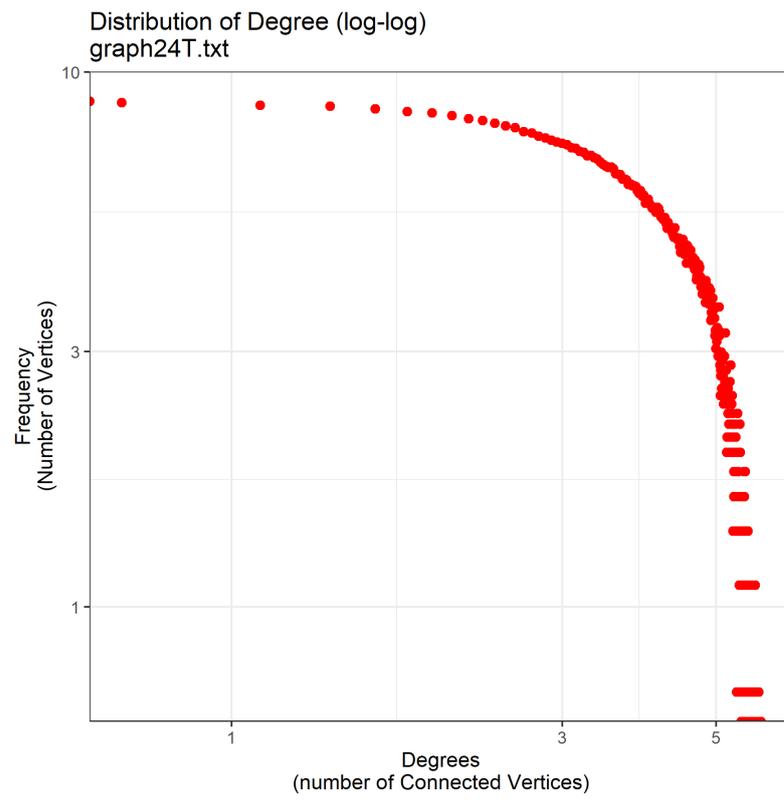


Figura B.6: Distribuição de Graus Rede Colônia

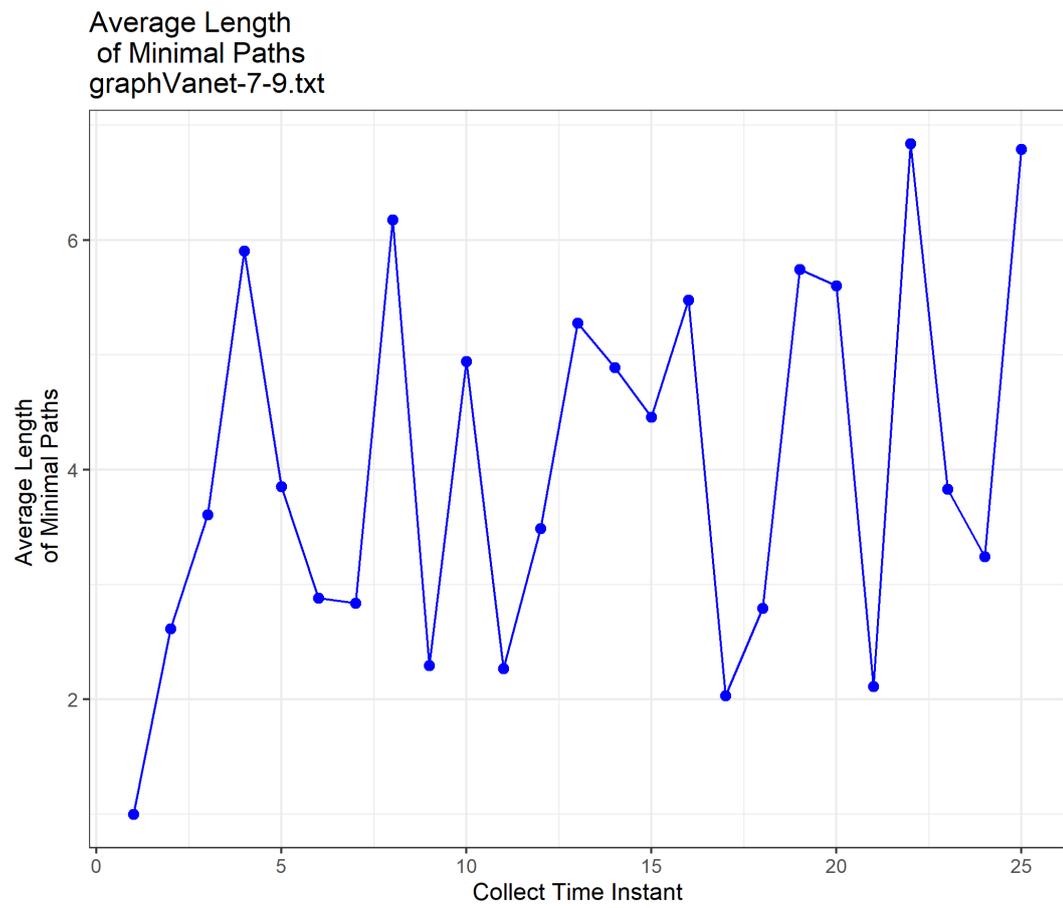


Figura B.7: Caminhos Mínimos Rede Créteil - 7 às 9h

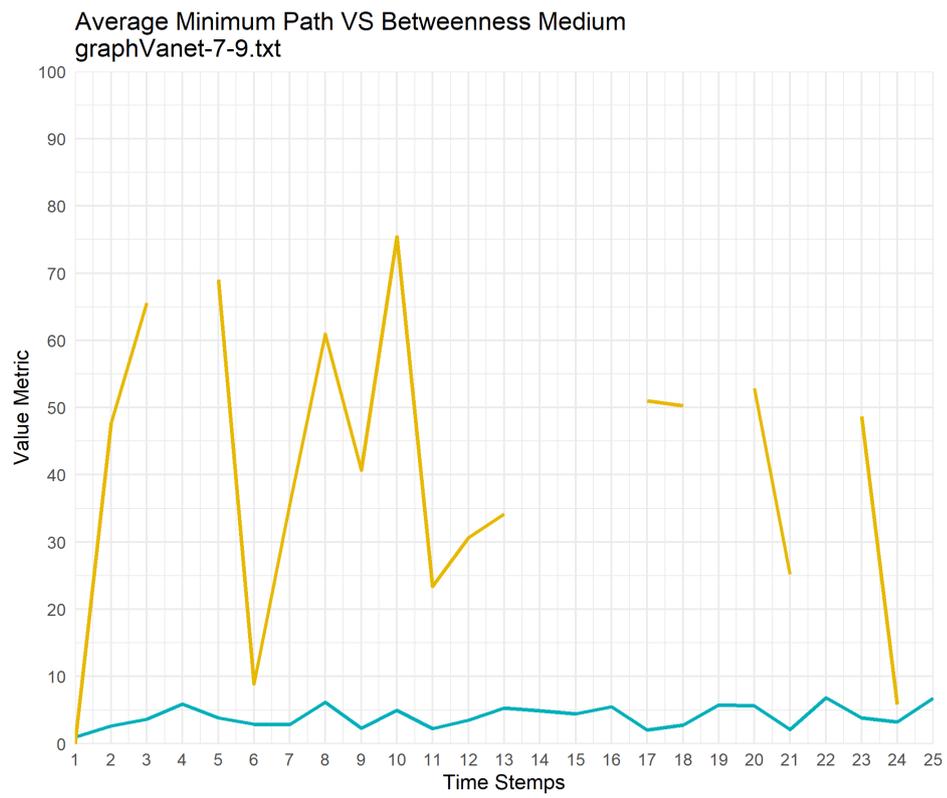


Figura B.8: Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Créteil - 7 às 9h

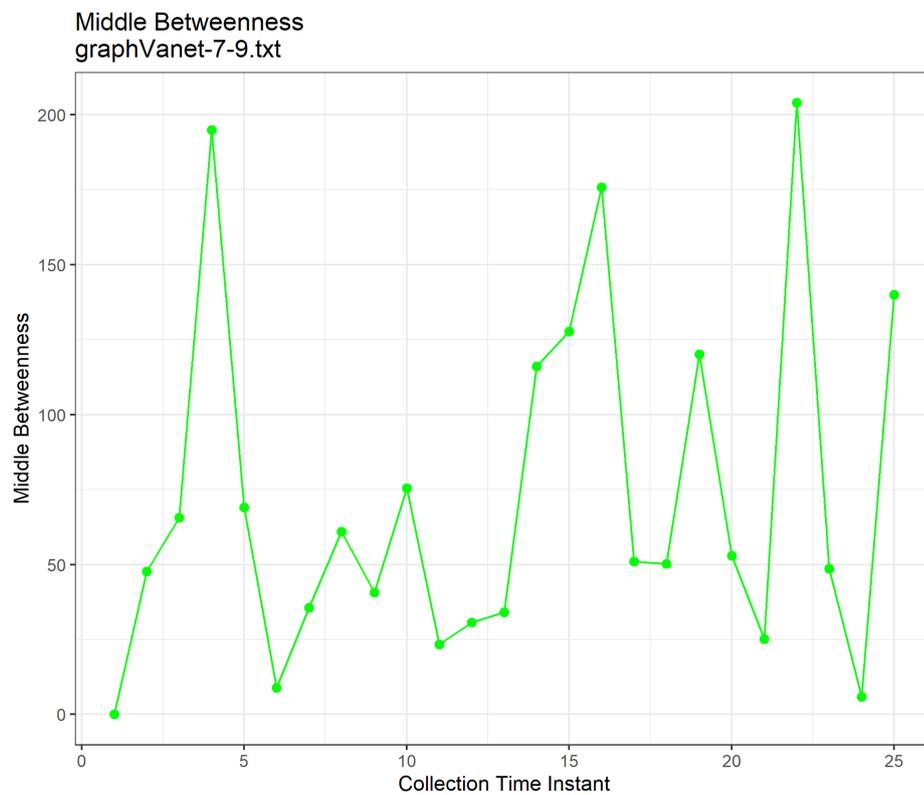


Figura B.9: Betweenness Rede Créteil - 7 às 9h

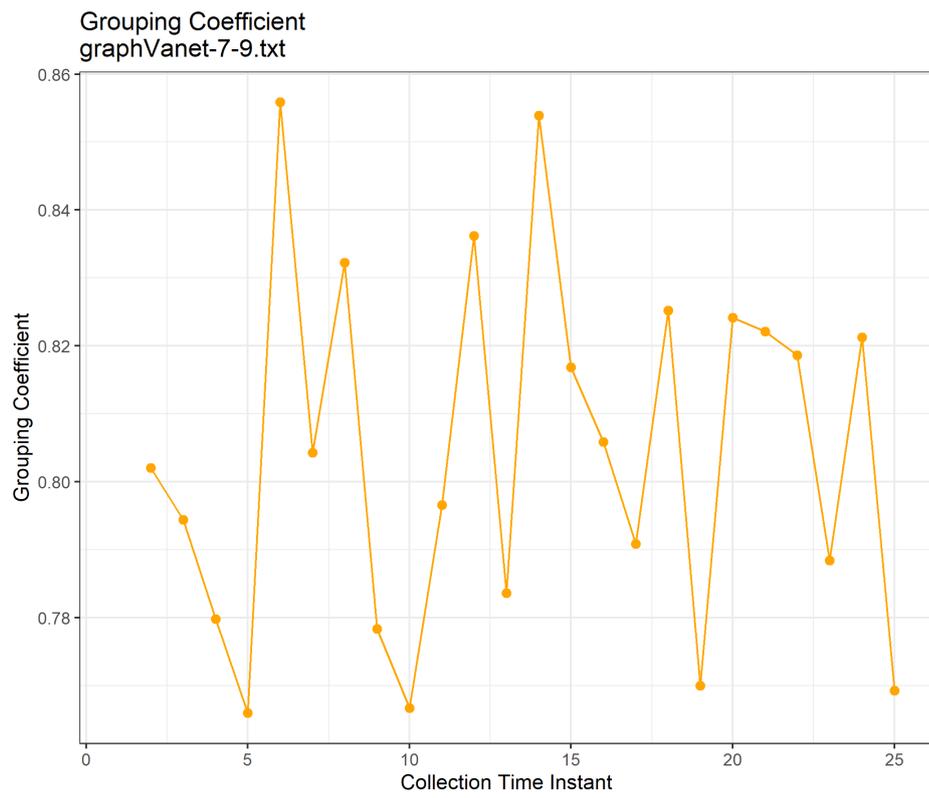


Figura B.10: Coeficiente de Agrupamento Rede Créteil - 7 às 9h

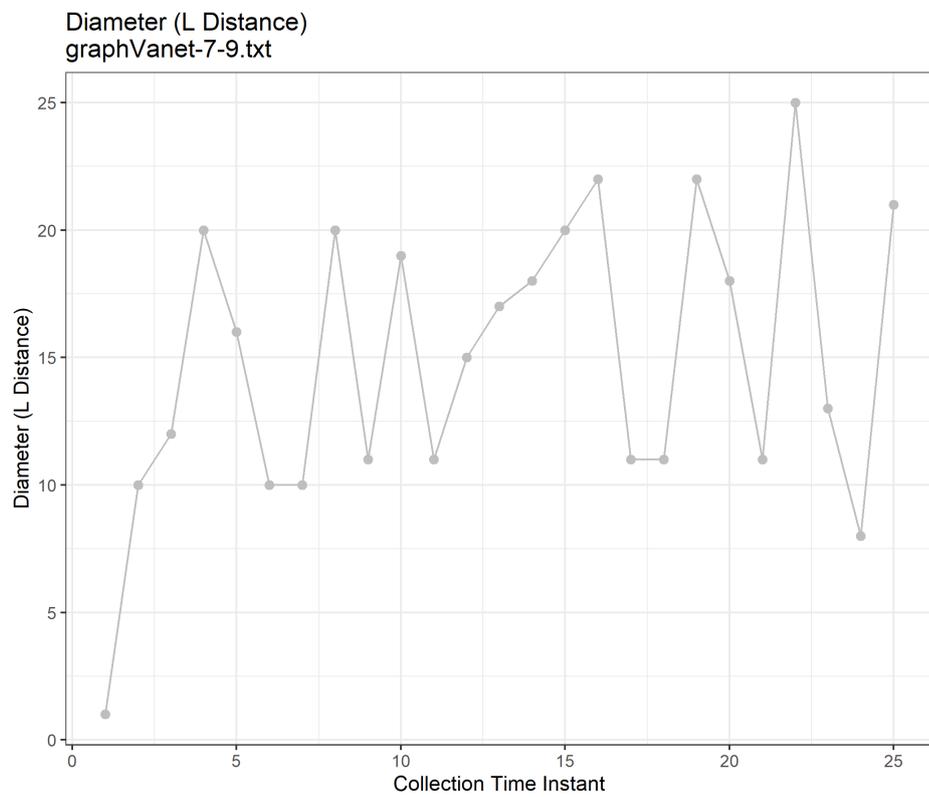


Figura B.11: Diâmetro Rede Créteil - 7 às 9h

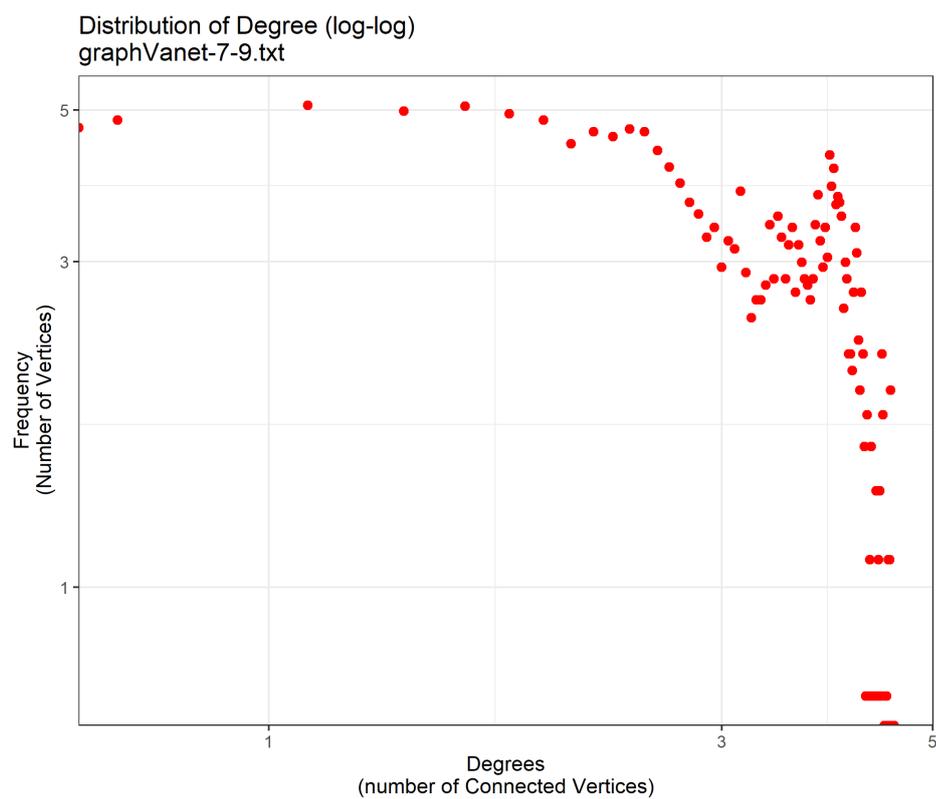


Figura B.12: Distribuição de Graus Rede Créteil - 7 às 9h

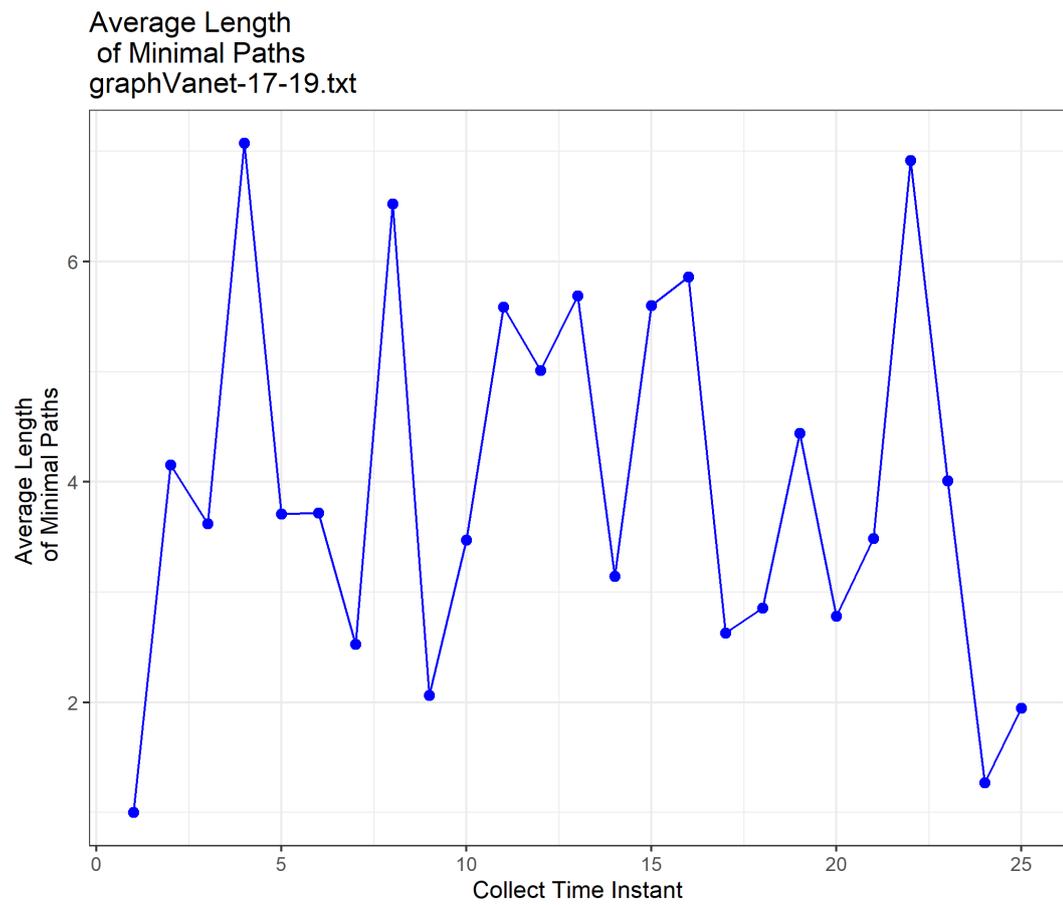


Figura B.13: Caminhos Mínimos Rede Créteil - 17 às 19h

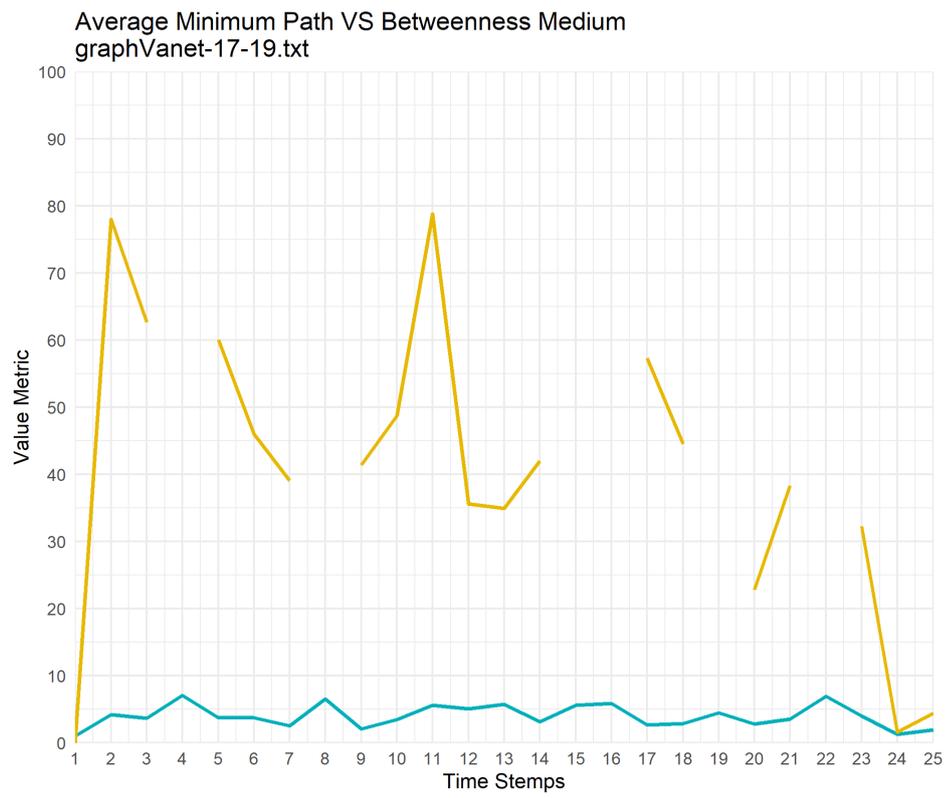


Figura B.14: Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Créteil - 17 às 19h

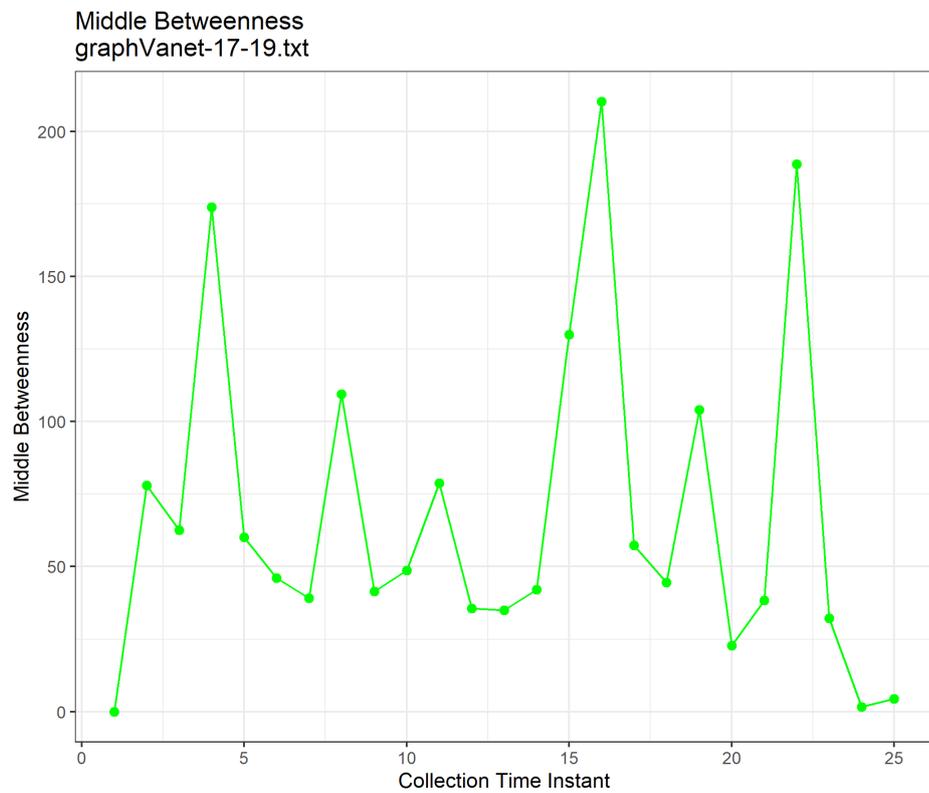


Figura B.15: Betweenness Rede Créteil - 17 às 19h

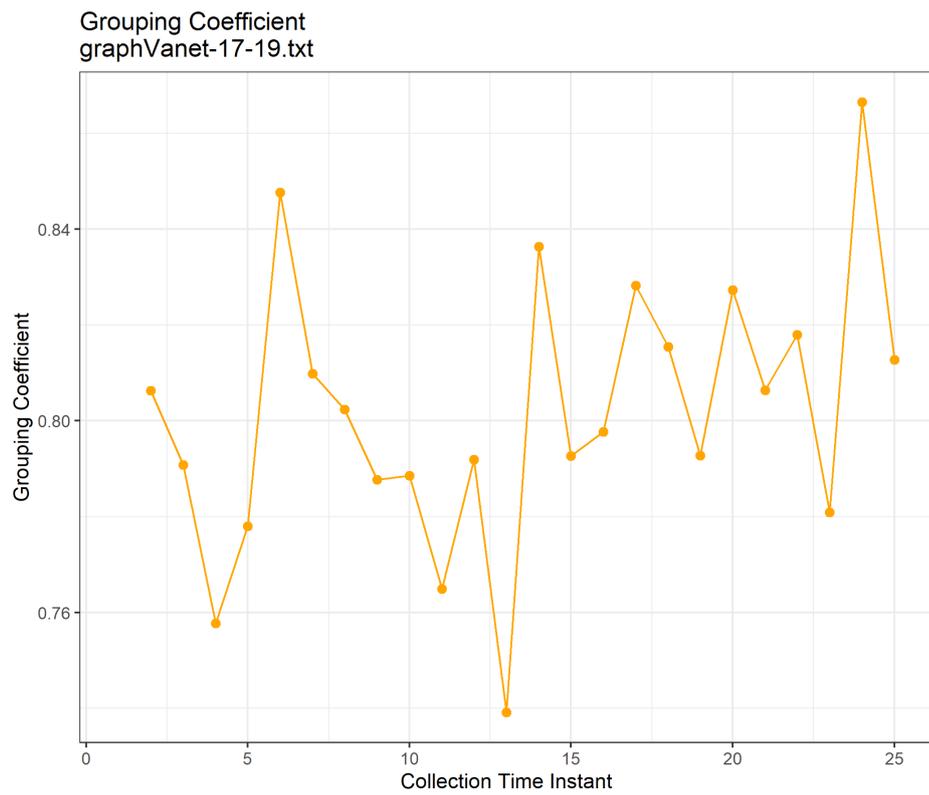


Figura B.16: Coeficiente de Agrupamento Rede Créteil - 17 às 19h

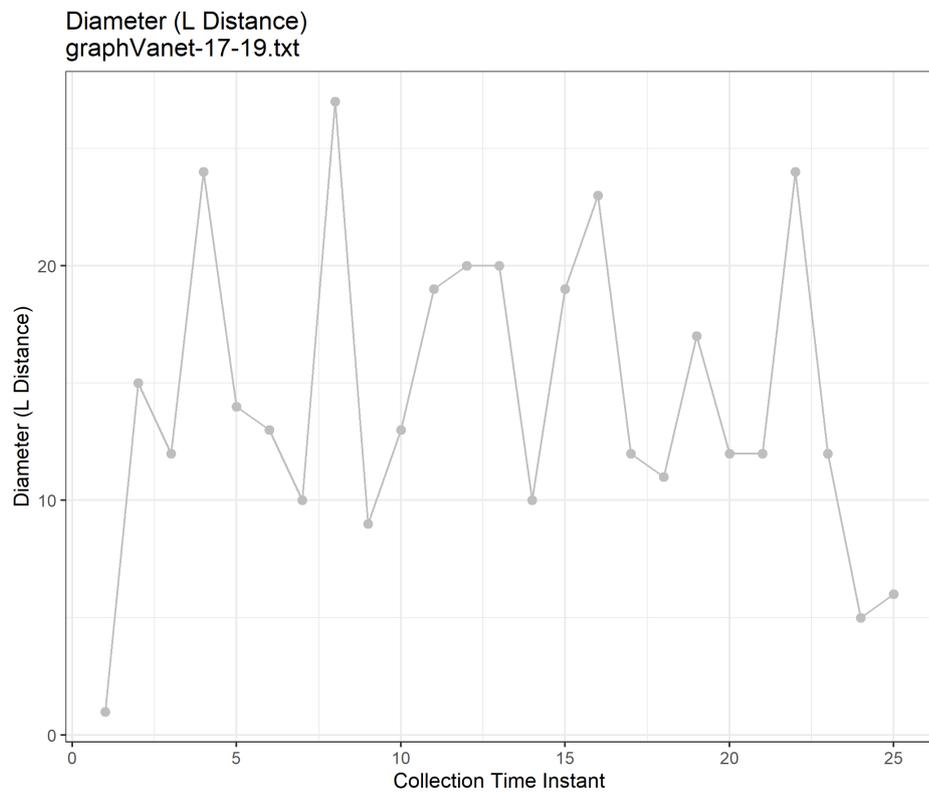


Figura B.17: Diâmetro Rede Créteil - 17 às 19h

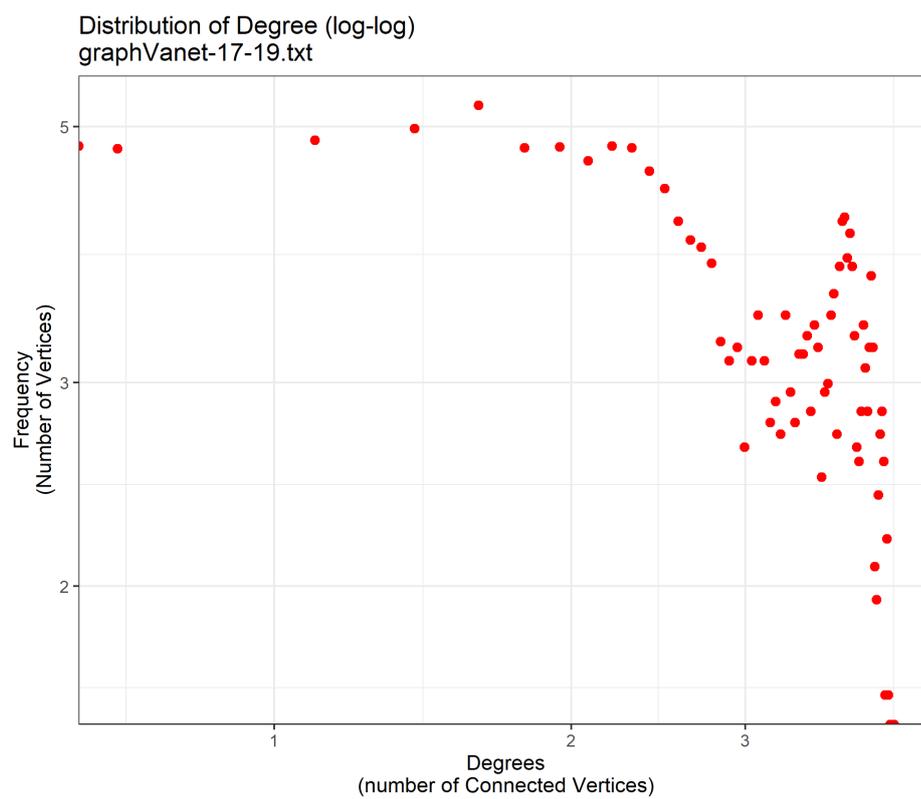


Figura B.18: Distribuição de Graus Rede Créteil - 17 às 19h

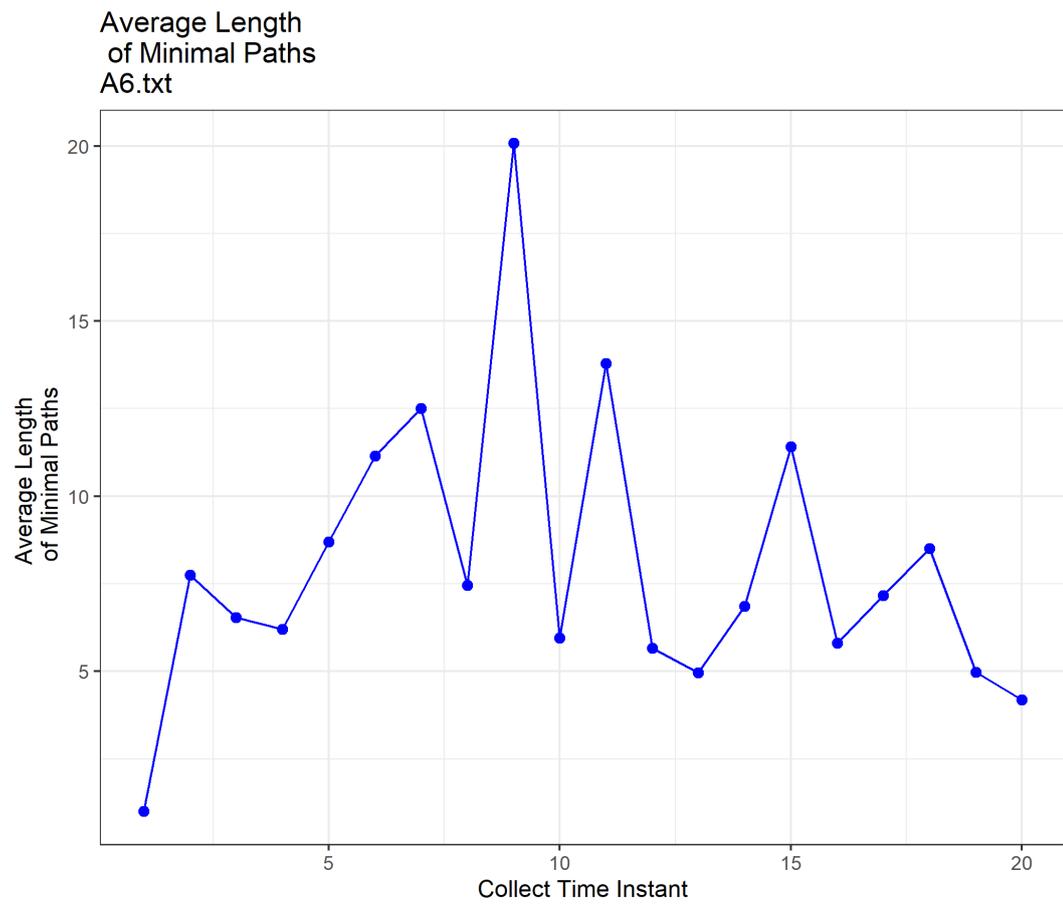


Figura B.19: Caminhos Mínimos Rede Madrid A6

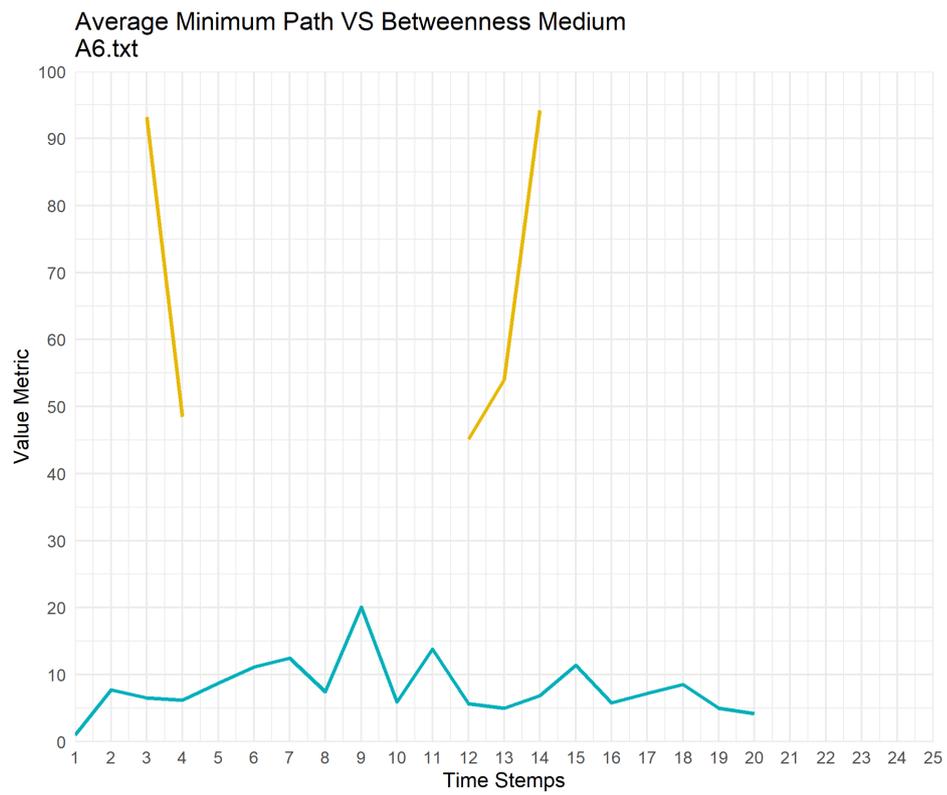


Figura B.20: Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Madrid A6

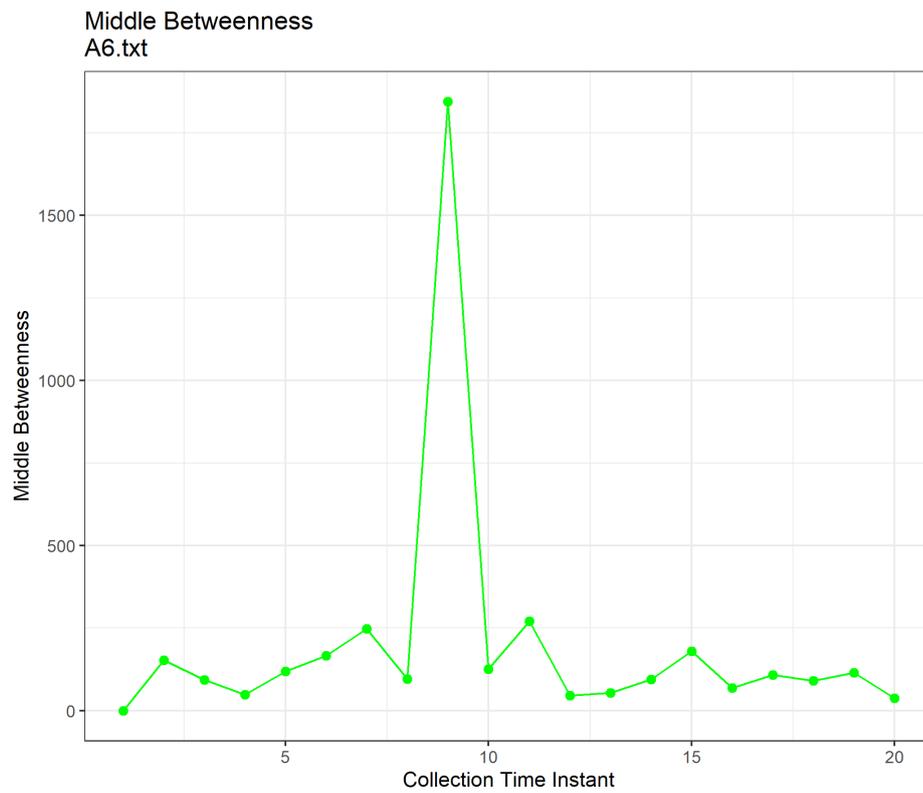


Figura B.21: Betweenness Rede Madrid A6

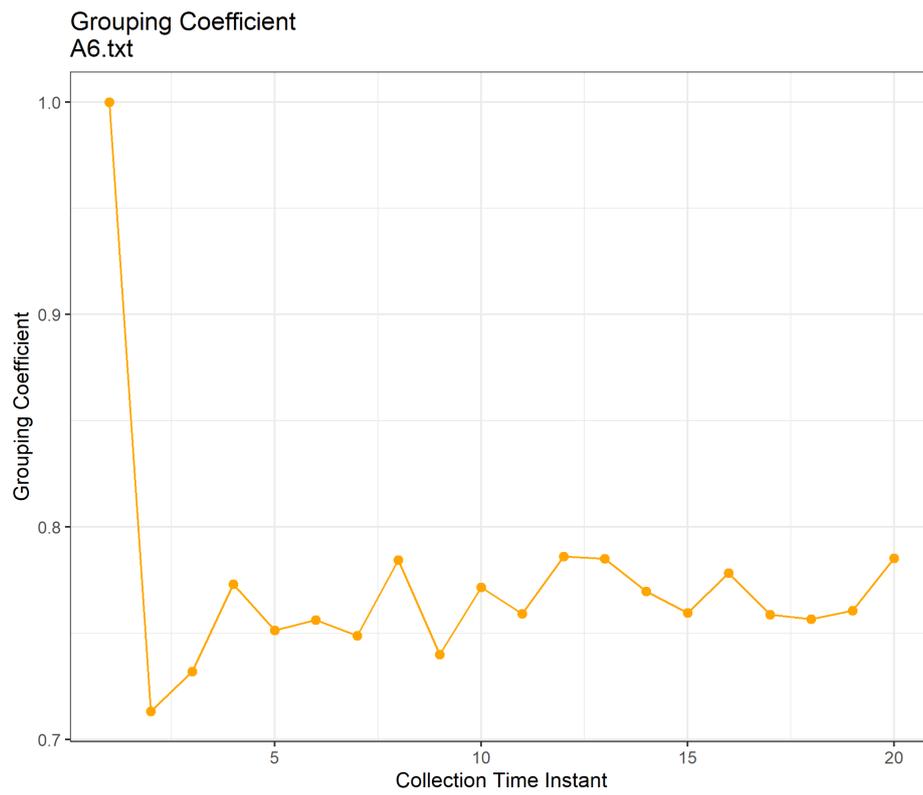


Figura B.22: Coeficiente de Agrupamento Rede Madrid A6

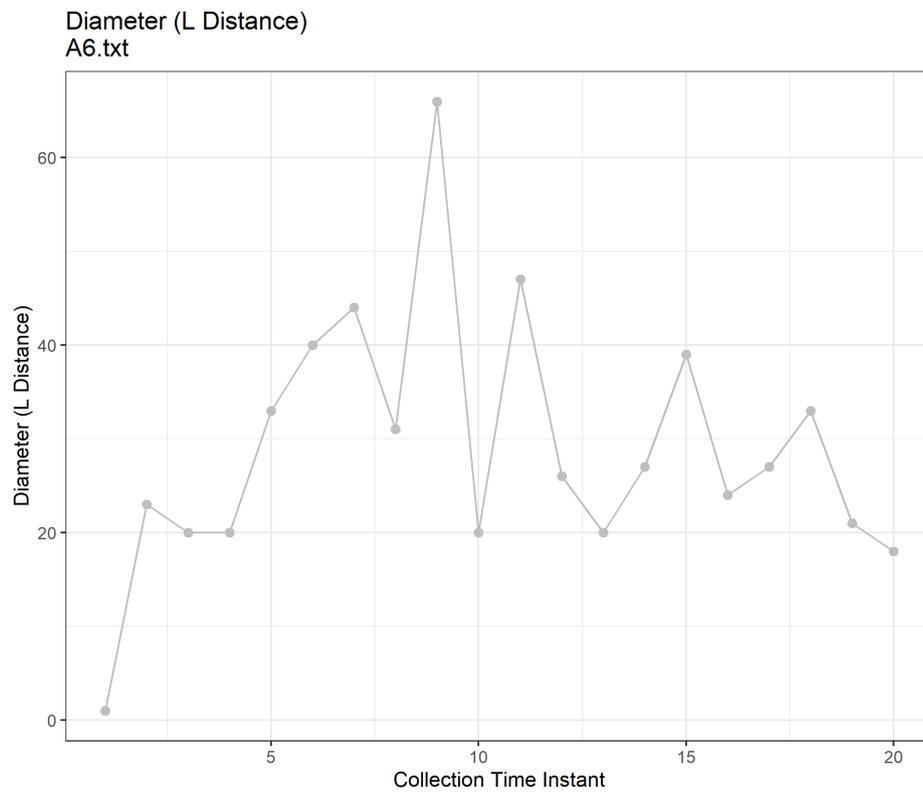


Figura B.23: Diâmetro Rede Madrid A6

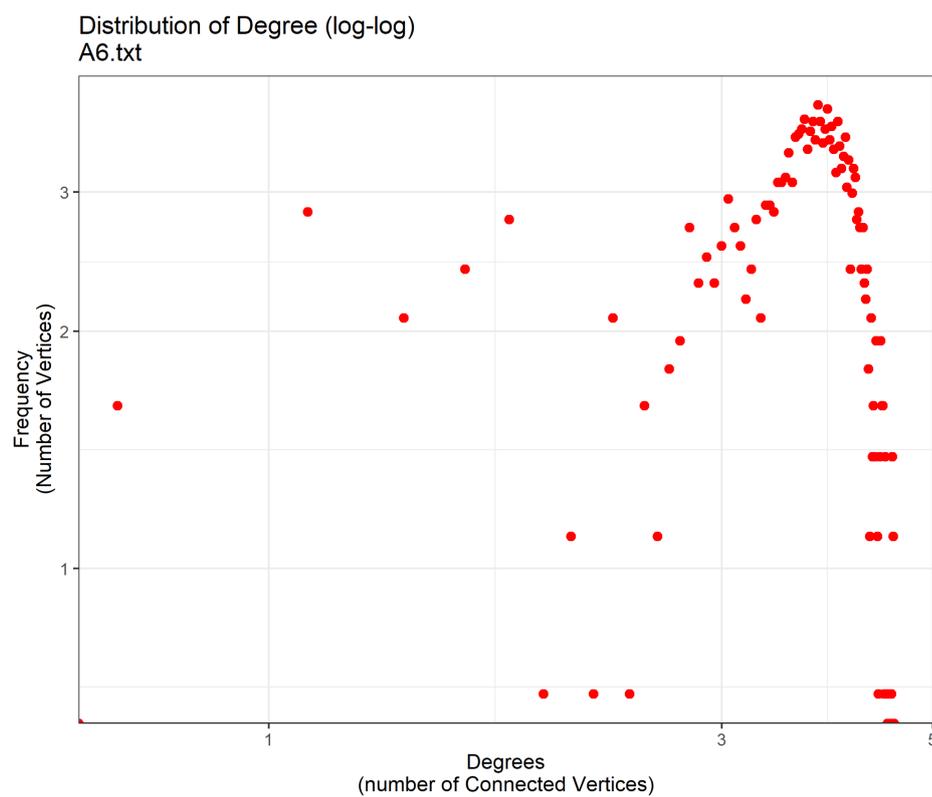


Figura B.24: Distribuição de Graus Rede Madrid A6

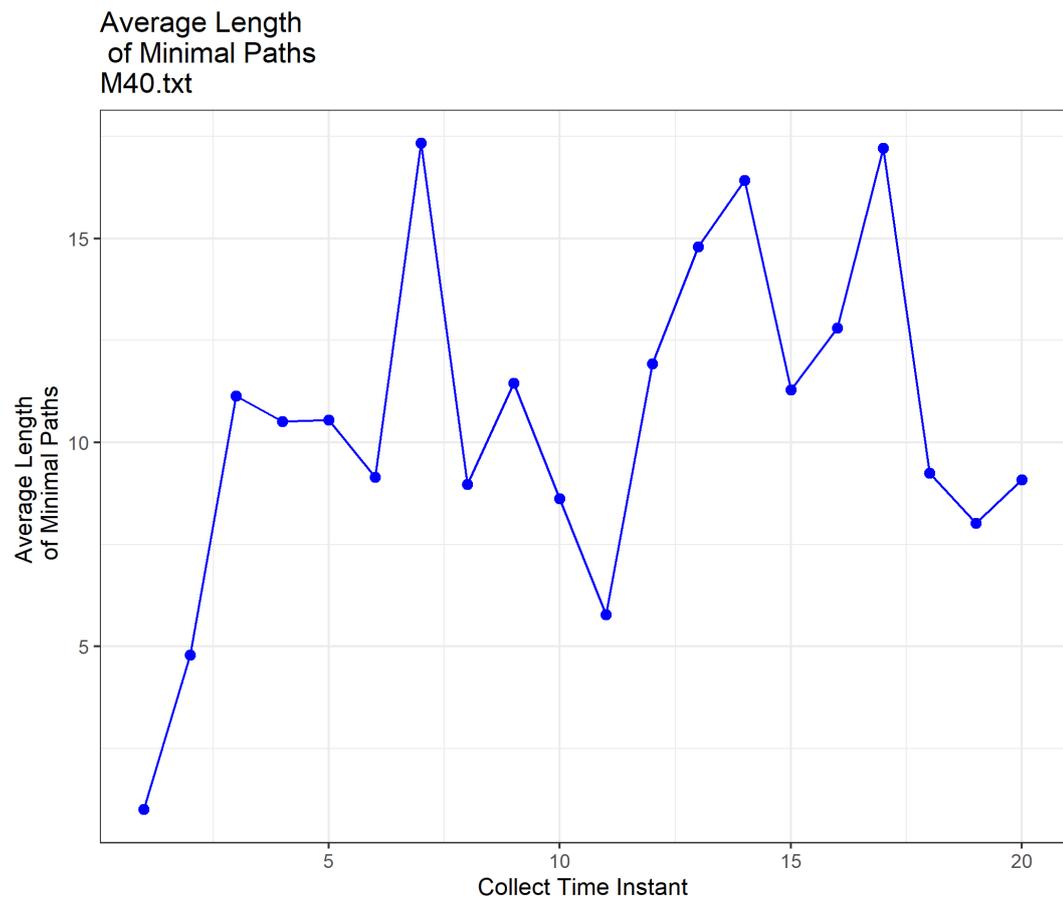


Figura B.25: Caminhos Mínimos Rede Madrid M40

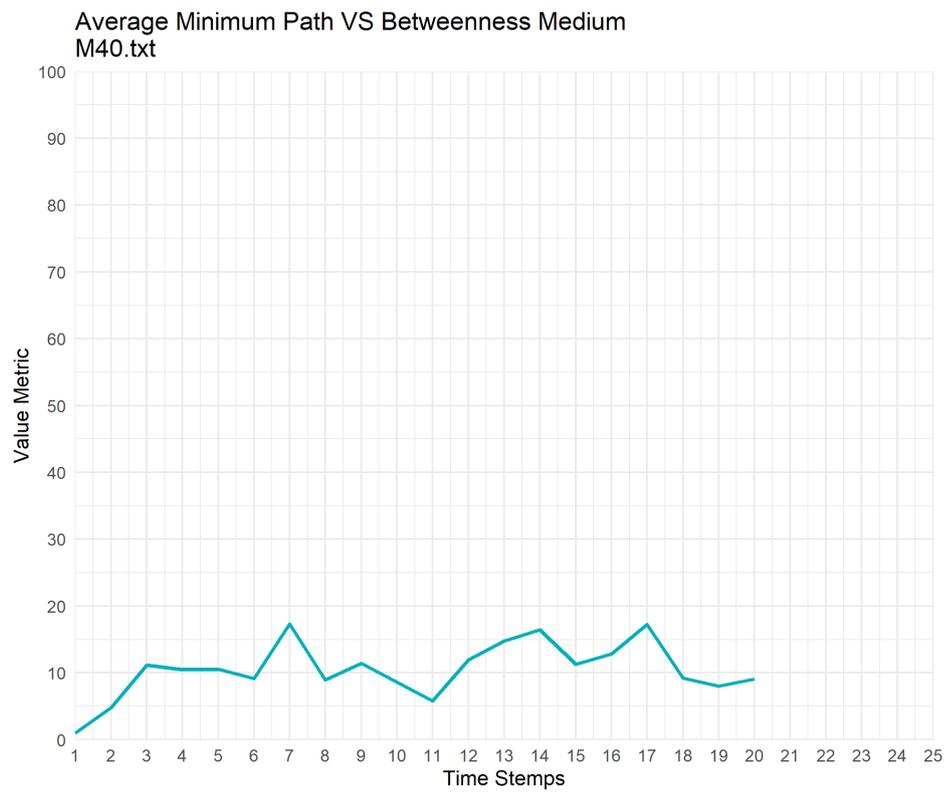


Figura B.26: Caminhos Mínimos vs Betweenness Rede Madrid M40

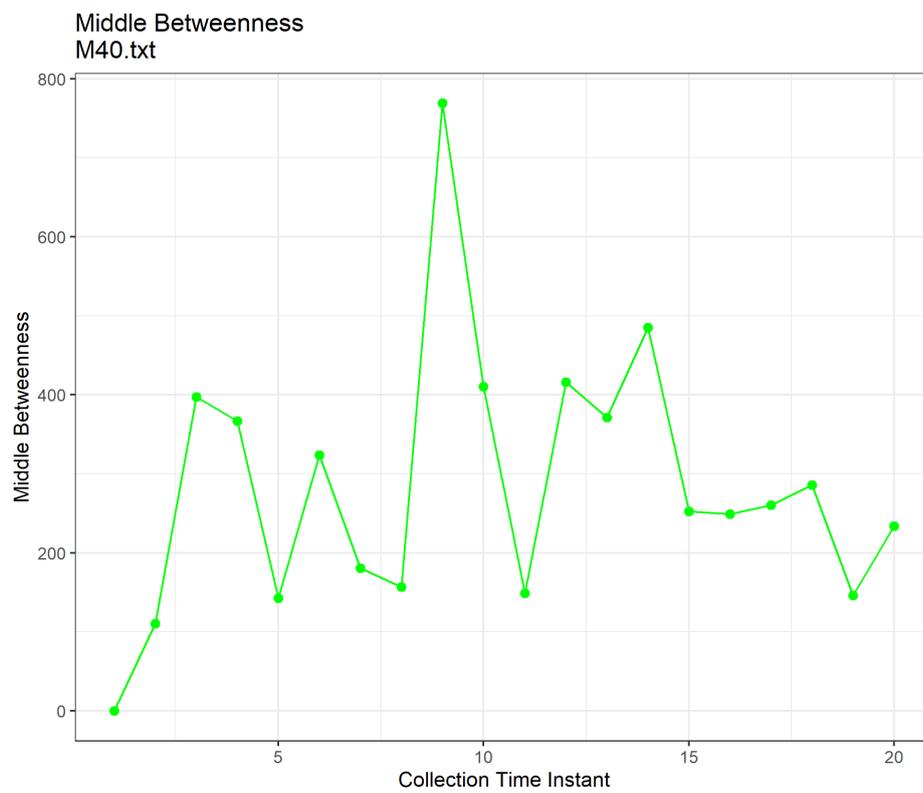


Figura B.27: Betweenness Rede Madrid M40

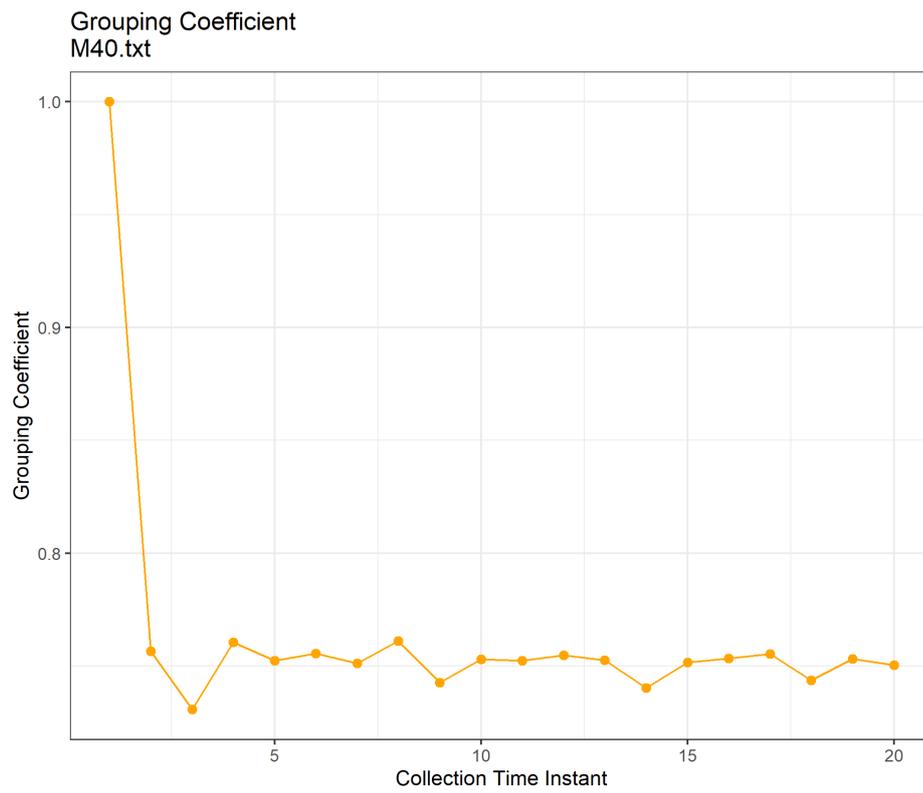


Figura B.28: Coeficiente de Agrupamento Rede Madrid M40

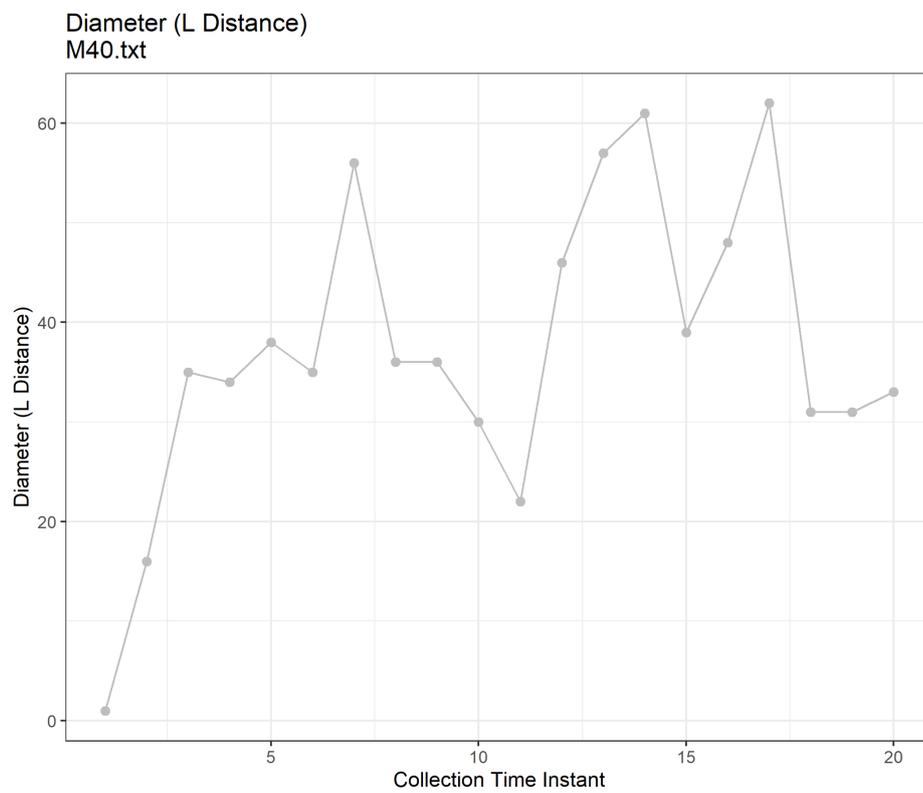


Figura B.29: Diâmetro Rede Madrid M40

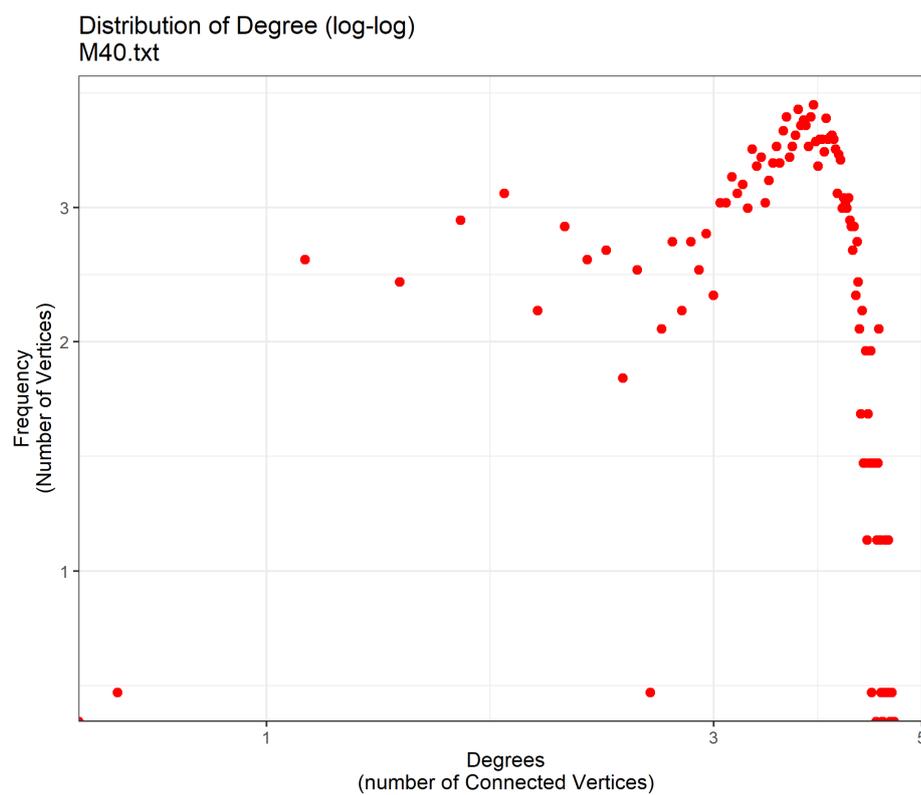


Figura B.30: Distribuição de Graus Rede Madrid M40

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Acer, U., Giaccone, P., Hay, D., Neglia, G. and Tarapiah, S. 2011, Timely data delivery in a realistic bus network, *in* '2011 Proceedings IEEE INFOCOM', pp. 446–450.
- [2] Aparecido, L. 2015, Data dissemination in vehicular networks: Challenges, solutions, and future perspectives, *in* '2015 7th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)', pp. 1–5.
- [3] Araújo, A. 2019, 'As pontes de Königsberg',
<https://www.mat.uc.pt/~alma/escolas/pontes/>. Accessed: 2019-08-27.
- [4] Barabasi, A. and Frangos, J. 2002, *Linked: The New Science Of Networks Science Of Networks*, Basic Books.
- [5] Barabasi, A. L. 2003, 'Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life.', *Plume* .
- [6] Barabasi, A. L. and Albert, R. 1999, 'Emergence of scaling in random networks', *Science* **286**.
- [7] Bauza, R. and Gozalvez, J. 2012, 'Journal of Network and Computer Applications Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications', *Journal of Network and Computer Applications* pp. 1–13.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2012.02.007>
- [8] Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M. and Hwang, D.-U. 2006, 'Complex networks: Structure and dynamics', *Physics Reports* **424**(4), 175 – 308.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037015730500462X>
- [9] Brennand, C. A. R. L., de Souza, A. M., Maia, G., Boukerche, A., Ramos, H., Loureiro, A. A. F. and Villas, L. A. 2015, An intelligent transportation system for detection and control of congested roads in urban centers, *in* '2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)', pp. 663–668.
- [10] Cabral, R. S., Frery, A. C. and Ramirez, J. A. 2014, 'Variability analysis of complex networks measures based on stochastic distances', *Physica A- Statistical Mechanics and Applications* **415**, 73–86.
- [11] Costa, L. F., Rodrigues, F. A., Travieso, G., Boas, P. R. V., Costa, L. F., Rodrigues, F. A., Travieso, G. and Boas, P. R. V. 2007, 'Advances in Physics Characterization of complex networks : A survey of measurements', *Advances in Physics* **8732**.

URL:

<http://leonidzhukov.net/hse/2014/socialnetworks/papers/CharacterizationComplexNetworks.pdf>

- [12] D. da Costa, J. B., de Souza, A. M., Rosário, D., Cerqueira, E. and Villas, L. A. 2019, 'Efficient data dissemination protocol based on complex networks' metrics for urban vehicular networks', *Journal of Internet Services and Applications* **10**(1), 15.
URL: <https://doi.org/10.1186/s13174-019-0114-y>
- [13] De Nooy, W., Mrvar, A. and Batagelj, V. 2018, *Exploratory social network analysis with Pajek*, Cambridge University Press.
- [14] Diaconis, P. and Zabell, S. L. 1982, 'Updating subjective probability', *Journal of the American Statistical Association* **77**(380), 822–830.
URL: <http://www.jstor.org/stable/2287313>
- [15] Erdős, P. and Rényi, A. 1959, 'On random graphs i', *Publicationes Mathematicae Debrecen* **6**, 290.
- [16] Exchange, M. S. 2015, 'Euler's solution of seven bridges of königsberg in layman terms', Mathematics Stack Exchange. URL:<https://math.stackexchange.com/q/1173328> (version: 2015-03-03) (Accessed: 2018-10-24).
URL: <https://math.stackexchange.com/q/1173328>
- [17] Eze, E. C., Zhang, S.-J., Liu, E.-J. and Eze, J. C. 2016, 'Advances in vehicular ad-hoc networks (vanets): Challenges and road-map for future development', *International Journal of Automation and Computing* **13**(1), 1–18.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11633-015-0913-y>
- [18] E, P., A., M. and C., V. 2017, 'Managing traffic flows for cleaner cities: The role of green navigation systems', *Energies* **10**(6).
URL: <http://www.mdpi.com/1996-1073/10/6/791>
- [19] Filliben, J. J. and Mai, V. S. 2006, 'Measurement Science for Complex Information Systems', <https://www.nist.gov/programs-projects/measurement-science-complex-information-systems>. Accessed: 2019-08-27.
- [20] Fiore, M., Naboulsi, D. and Uppoor, S. 2016, 'Tapascologne project', Institute of Transportation Systems at the German Aerospace Center (ITS-DLR). (Accessed: 2018-11-25).
URL: <http://kolntrace.project.citi-lab.fr>
- [21] *Folha informativa - Acidentes de trânsito* 2019,
https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=

- 5147:acidentes-de-transito-folha-informativa&Itemid=779. Accessed: 2019-08-27.
- [22] Freeman, L. C. 1996, 'Some antecedents of social network analysis', *Connections* **19**(1), 39–42.
- [23] Gao, J., Barzel, B. and Barabási, A.-L. 2016, 'Universal resilience patterns in complex networks', *Nature* **536**(7615), 238–238.
URL: <http://www.nature.com/doi/finder/10.1038/nature18019>
- [24] Gramaglia, M., Trullols-Cruces, O., Naboulsi, D., Fiore, M. and Calderon, M. 2015, 'Madrid traces'. (Accessed: 2018-11-25).
URL: <http://www.it.uc3m.es/madrid-traces>
- [25] Kamini, K. and Kumar, R. 2010, 'Vanet parameters and applications: A review', *Global Journal of Computer Science and Technology*. (Accessed: 2018-10-24).
URL: https://globaljournals.org/GJCST_Volume10/12-VANET-Parameters-and-Applications-A-Review.pdf
- [26] Kasey Panetta 2019, 'The gartner hype cycle highlights the 29 emerging technologies cios should experiment with over the next year'.
URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/>
- [27] Lèbre, M.-A., Le Mouël, F. and Ménard, E. 2016, 'Resilient, decentralized v2v online stop-free strategy in a complex roundabout', pp. 1–5.
- [28] Li, F. and Wang, Y. 2007, 'Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey', *IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE* **2**(2), 12–22.
- [29] Lèbre, M. A. and Mouël, F. L. 2016, 'Microscopic vehicular mobility trace of europarc roundabout', Microscopic vehicular mobility trace of Europarc roundabout, Creteil, France. (Accessed: 2018-11-25).
URL: <http://vehicular-mobility-trace.github.io>
- [30] Manjot, K., Sukhman, K. and Gurpreet, S. 2012, 'Vehicular ad hoc networks', *Journal of Global Research in Computer Science* **03**(03), 61–64.
URL: <http://www.rroij.com/open-access/vehicular-ad-hoc-networks-61-64.pdf>
- [31] Manjyot, S. and Harjit, S. 2016, 'Vanet, its characteristics, attacks and routing techniques: A survey', *International Journal of Science and Research* **05**(05), 1595–1599.
URL: <https://www.ijsr.net/archive/v5i5/NOV163726.pdf>
- [32] Milgram, S. 1967, 'The small-world problem', *Psychology Today* **1**(1).

- [33] Newman, M. 2003a, 'The structure and function of complex networks', *SIAM Review* **45**(2), 167–256.
URL: <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>
- [34] Newman, M. 2010, *Networks: An Introduction*, OUP Oxford.
URL: <https://books.google.com.br/books?id=q7HVtpYVfC0C>
- [35] Newman, M. E. J. 2003b, 'The Structure and Function of Complex Networks', *Siam Review* **45**.
URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0303516>
- [36] Pesovic, U., Mohorko, J., Medvesek, A. and Cucej, Z. F. 2010, 'Single-hop vs. multi-hop - energy efficiency analysis in wireless sensor networks'.
- [37] R Core Team 2013, 'R: A language and environment for statistical computing'.
URL: <http://www.R-project.org/>
- [38] Rawat, D. B., Bista, B. B., Yan, G. and Olariu, S. 2014, 'Vehicle-to-vehicle connectivity and communication framework for vehicular ad-hoc networks', **00**, 44–49.
URL: <doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/CISIS.2014.7>
- [39] RStudio Team 2015, 'Rstudio: Integrated development environment for r'.
URL: <http://www.rstudio.com/>
- [40] Strogatz, S. H. 2001, 'Exploring complex networks', *Nature* **410**(6825), 268–276.
URL: <http://www.nature.com/doi/finder/10.1038/35065725>
- [41] Tang, J., Cheng, Y. and Zhou, C. 2009, 'Sketch-based SIP flooding detection using hellinger distance', pp. 1–6.
- [42] Wang, C. and Tsai, H. 2013, Detecting urban traffic congestion with single vehicle, *in* '2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)', pp. 233–240.
- [43] Watts, D. J. and Strogatz, S. H. 1998, 'Collective dynamics of 'small-world' networks', *Nature* **393**.
- [44] *Web Of Science* n.d., http://apps-webofknowledge.ez9.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=2BQJWT5KPkJcY6g5eE9&preferencesSaved=. Accessed: 2017-01-30.
- [45] *Wordle* n.d., <http://www.wordle.net/>. Accessed: 2017-02-05.

Este trabalho foi redigido em \LaTeX utilizando uma modificação do estilo IC-UFAL. As referências bibliográficas foram preparadas no Mendeley e administradas pelo \BIBTeX com o estilo LaCCAN. O texto utiliza fonte Fourier-GUTenberg e os elementos matemáticos a família tipográfica Euler Virtual Math, ambas em corpo de 12 pontos.