



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CAMPUS DE ARAPIRACA**  
**CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**LÍVIA CRISTINA SILVA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DE REDES VEICULARES MODELADAS COMO REDES TEMPORAIS E  
AGREGADAS UTILIZANDO A TEORIA DA INFORMAÇÃO.**

**ARAPIRACA**

**2023**

Lívia Cristina Silva do Nascimento

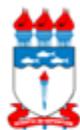
Análise de redes veiculares modeladas como redes temporais e agregadas utilizando a teoria da informação.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Alagoas - *Campus* Arapiraca, como parte dos requisitos para obtenção do título de Graduação - Bacharelado em Ciência da Computação.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Raquel da Silva Cabral

Arapiraca

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus Arapiraca  
Biblioteca Setorial *Campus Arapiraca* – BSCA

N244a Nascimento, Livia Cristina Silva do  
Análise de redes veiculares modeladas como redes temporais e agregadas utilizando a teoria da informação [recurso eletrônico] / Livia Cristina Silva do Nascimento.  
– Arapiraca, 2023.  
21 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel da Silva Cabral.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) -  
Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2023.  
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus Arapiraca*).  
Referências: f. 21.

1. Redes complexas. 2. Vanets. 3. Métricas de centralidade. I. Cabral, Raquel da Silva. II. Título.

CDU 004

Lívia Cristina Silva do Nascimento

Análise de redes veiculares modeladas como redes temporais e agregadas utilizando a teoria da informação.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Alagoas - Campus Arapiraca, como parte dos requisitos para obtenção do título de Graduação Bacharelado em Ciência da Computação.

Data de Aprovação: 20 de julho 2023.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 RAQUEL DA SILVA CABRAL  
Data: 24/08/2023 17:19:13-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Prof. Dra. Raquel da Silva Cabral  
Universidade Federal de Alagoas  
*Campus Arapiraca*  
(Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 TERCIO DE MORAIS SAMPAIO SILVA  
Data: 24/08/2023 17:23:36-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Prof. Dr. Tércio de Moraes Sampaio Silva  
Universidade Federal de Alagoas  
*Campus Arapiraca*  
(Examinador)

Documento assinado digitalmente  
 TÁCITO TRINDADE DE ARAÚJO TIBURTINO NEVES  
Data: 23/08/2023 17:54:29-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Prof. Tácito Trindade de Araújo Tiburtino Neves  
Universidade Federal de Alagoas  
*Campus Arapiraca*  
(Examinador)

Dedico a todas as que vieram antes de mim  
e todas que virão após.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço sempre e para sempre primeiramente a Deus por me conceder a graça da vida e me permitir chegar em lugares que nunca imaginei estar antes. Em segundo lugar, acho justo agradecer a mim mesma por nunca desistir e perseverar apesar de todas as adversidades e complicações da vida.

Agradeço a minha família, em particular a minha mãe que sonhou este sonho, antes mesmo que eu e me proporcionou todo amor, cuidado e incentivo. A Sabrina também, minha irmã, que escutou todos os desabafos, choros e mesmo sendo a caçula me puxou a orelha.

Agradeço também ao meu amigo Mateus Cardoso que sempre me ouviu, incentivou em minha jornada e por muitas vezes foi meu refúgio e guia quando as coisas não iam tão bem.

Agradeço à minha orientadora, professora Raquel Cabral por toda paciência, conselhos e palavras de incentivo e força, quando a vida andava tão complicada que eu quis desistir de tudo. Levarei comigo seu exemplo e determinação.

## RESUMO

As chamadas Vanet (redes ad-hoc veiculares) tem sua composição descrita por um conjunto de veículos que possuem equipamentos para transmissão e recepção de dados, que realizam essa comunicação entre veículos recebendo, ou não, suporte de um ponto fixo em rodovias as chamadas RSU's (Road-Side units). De todo modo, é muita comunicação limitada devido a alta mobilidade dos nós dessa rede e o curto alcance de transmissão realizada. A transmissão de dados de forma eficiente e de boa qualidade é um fator muito importante em comunicações que lidam com dados em tempo real, neste caso Vanets. Quando bem aplicadas as informações extraídas do conjunto de dados podem ser transformadas em novos recursos. Neste trabalho são utilizadas métricas de redes complexas para o estudo e avaliação da disseminação de dados nesse ambiente, sendo utilizados os modelos agregado e temporal no ambiente de Vanets visando compreender seu comportamento diante a cada modelagem. Com base nos resultados obtidos foi possível observar que o modelo temporal representa melhor o ambiente das Vanets em tempo real, visto que o mesmo registra mais detalhes do comportamento da rede, enquanto no modelo agregado há perda de informações.

**Palavras-chave:** vanets; métricas de centralidade; redes complexas;

## ABSTRACT

The so-called VANET (vehicular ad-hoc networks) have their composition described by a set of vehicles that have equipment for transmitting and receiving data, which carry out this communication between vehicles and/or receive support from a fixed point on the highways - called RSU's (road-side units). Anyway, there is a lot of limited communication due to the high mobility of the nodes in this network and the short transmission range performed. Efficient and good quality data transmission is a very important factor in communications that deal with real-time data, in this case Vanets, because when well applied, the information extracted from the data set can be transformed into new resources. In this work, complex network metrics are used to study and evaluate data dissemination in this environment, using aggregated and temporal models in the Vanets environment. Based on the results obtained, it was possible to observe that the temporal model better represents the vanguard environment in real time, as it records more details of the network behavior, while in the aggregate model there is loss of information.

**Keywords:** vanets; centrality metrics; complex networks;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Créteil, França .....	15
Figura 2 - Exemplificação dos quadrantes criados pelo algoritmo .....	16
Figura 3 - Representação do grafo agregado (esquerda) e temporal (direita) .....	16
Figura 4 - Gráfico dos valores médios das métricas no período de 9 às 12 .....	18
Figura 5 - Gráfico dos valores médios das métricas no período de 17 às 21 .....	18

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- quadro de vértices e arestas extraídas da simulação .....	17
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

VANET	Vehicular Ad Hoc Network
V2V	Comunicação Veículo para Veículo
V2I	Comunicação Veículo para Infraestrutura
V2X	Comunicação Híbrida

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Redes veiculares .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Modelos de Grafo .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Métricas de centralidade .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>20</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>21</b>

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As VANETs são compostas de veículos em movimento com sensores integrados, unidades de processamento e armazenamento, além de interfaces de comunicação sem fio, onde esses veículos podem cooperar entre si para criar uma rede *ad-hoc*, fornecendo e recebendo dados de outras entidades (SOUZA; VILLAS, 2016). Nestes ambientes existem alguns tipos de comunicação, sendo elas V2V (veículo para veículo), V2I (veículo para infraestrutura) ou V2X (esta sendo junção dos dois tipos de comunicação anteriores).

A tarefa de comunicação dentro desses ambientes é desafiadora e não trivial, considerando sua característica altamente dinâmica. Realizar uma transmissão de dados de forma eficiente e com qualidade é fator determinante para o uso benéfico das informações extraídas a partir dessas aplicações e utilizadas no desenvolvimento de novos recursos para maior segurança de condutores e mobilidade em rotas e vias.

Ao utilizar conceitos de redes complexas, é possível identificar importantes métricas, como a centralidade dos veículos mais influentes na rede, a robustez da comunicação em situações de falhas ou congestionamentos e a detecção de padrões emergentes de comportamento coletivo dos veículos.

O estudo de redes complexas está presente em diferentes meios, podendo ser visto de modo interdisciplinar. As propriedades propostas pela teoria de redes complexas possuem vasta aplicação, desde o ambiente computacional em modelos de disseminação de informação e redes sociais ao biológico com identificação e mapeamento de redes de proteínas. O termo redes complexa refere-se a um grafo que apresenta uma estrutura topográfica não trivial, composto por um conjunto de vértices (nós) interligados através de arestas (BARABÁSI, 2003). Considerando as propriedades das redes veiculares de alta dinamicidade, são utilizados conceitos de redes complexas para a modelagem.

Redes complexas possuem algumas características que podem ser úteis em diversas fases da análise de aspectos da rede e de acordo com seu objetivo, descrevendo diferentes características de topologia e comportamento da mesma. Dentre as principais métricas a serem utilizadas durante os testes e comparações entre a modelagem agregada e temporal da rede, estão as de centralidade, que por sua vez diz respeito a relevância de um dado nó na rede. Por meio dessas métricas, é possível verificar o quanto um dado nó tem importância na disseminação de dados dentro da rede observada.

Neste trabalho, uma rede VANET é modelada como um grafo dinâmico e as métricas de redes complexas são utilizadas em sua modelagem com o objetivo de estudar e comparar a

disseminação de dados neste ambiente de forma temporal e agregada. Sendo assim, os veículos são considerados nós e as comunicações estabelecidas por eles como arestas em um grafo. Estas comunicações ocorrem dentro de um raio, ao qual chamamos de área de interesse. A modelagem de forma temporal é realizada ao inserir o tempo exato em que deverão ocorrer as interações entre os nós, desta forma é possível estudar melhor as relações entre eles, uma vez que é apresentado o cenário que ocorre em tempo real. Sendo assim, é realizada uma avaliação do uso de métricas de centralidade no processo de disseminação de dados no ambiente de redes veiculares, usando as métricas de grau e intermediação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os conceitos necessários para o entendimento do trabalho: redes veiculares, grafos temporais e as métricas de centralidade avaliadas.

### 2.1 Redes veiculares

As redes ad hoc veiculares (VANETs) têm se mostrado uma abordagem promissora para o futuro dos sistemas inteligentes de transporte (ITS). Essas redes possibilitam a comunicação entre veículos de duas maneiras: diretamente entre os próprios veículos, conhecida como V2V (Vehicle-to-Vehicle), ou entre os veículos e pontos de disseminação (PDs), chamada de V2I (Vehicle-to-Infrastructure) (YOUSEFI *et al.* 2006a).

O principal objetivo das redes veiculares é proporcionar conforto, entretenimento e segurança aos passageiros dos veículos, através da troca de alertas e informações sobre as condições de tráfego, a fim de evitar colisões. Cada veículo é equipado como um nó que pode receber, enviar e processar mensagens (YOUSEFI *et al.* 2006b). No entanto, a comunicação V2V enfrenta desafios devido ao alto dinamismo nos padrões de mobilidade dos veículos, o que leva a uma topologia de rede constantemente alterada, resultando em conectividade frágil e desconexões frequentes. Como consequência, o processo de disseminação de informações se torna um dos maiores desafios nessas redes (YOUSEFI *et al.* 2006a).

Para contornar o problema de conectividade, em alguns cenários, a instalação de PDs é uma solução viável. Nos últimos anos, houve um crescente interesse nas redes ad hoc veiculares, com diversos artigos fornecendo visões gerais sobre o campo, incluindo motivações, desafios e soluções (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008; AL-SULTAN *et al.* 2014).

### 2.2 Modelos de Grafo

Um grafo  $G = (V, E)$  é definido pelo par de conjuntos  $V$  e  $E$ , em que  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  é o conjunto de vértices e  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_L\}$  é o conjunto de arestas. Existe uma aresta  $(v_i, v_j) \in E$  se existe um caminho entre os vértices  $v_i$  e  $v_j$  [Newman 2003]. Neste trabalho o grafo  $G$  é denominado grafo estático.

Um grafo temporal  $G[0,T] = (V, E[0,T])$  é definido em um intervalo de tempo finito  $[0, T]$  em que,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  é um conjunto de vértices e  $E[0,T] = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$  é o conjunto de arestas temporais, com  $t_{start} = 0$  e  $t_{end} = T$ . Existe uma aresta temporal  $E_{ij} [0,T]$

$(v_i, v_j) \in E[0, T]$  em um intervalo  $[t_x, t_y]$  se existe um caminho entre os vértices  $v_i$  e  $v_j$  no intervalo de tempo  $[t_x, t_y]$ , tal que  $0 \leq [t_x, t_y] \leq T$ . No grafo temporal o conjunto de vértices  $V$  é sempre o mesmo, enquanto que as arestas são adicionadas e/ou removidas com o tempo. Assim, um grafo temporal é formado pela discretização do tempo  $T$  em janelas de tempo de duração  $k$ . Um grafo temporal é formado pela série de grafos estáticos  $\{G_{t_1}, G_{t_2}, \dots, G_{t/k}\}$ . O grafo  $G_{t_a} = (V, E)$  é um grafo agregado, em que  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  é o conjunto de vértices e  $E_{t_x} = \{e_1, e_2, \dots, e_K\}$  é o conjunto de arestas. Existe uma aresta  $(v_i, v_j) \in E_{t_x}$  se e somente se existe uma aresta temporal  $E_{ij} \in E[0, T]$  durante o intervalo  $[t_x, t_y]$ , isto é,  $G_{t_a}$  é um grafo estático obtido de uma janela temporal  $t_x \in [0, T]$  do grafo temporal  $G[0, T]$  (ENDRISS; GRANDI, 2016).

### 2.3 Métricas de centralidade

As métricas de centralidade quantificam o quanto um vértice é central ou importante dentro de uma rede (NEWMAN, 2010). Adiante, serão apresentadas as métricas de centralidade usadas nesse trabalho:

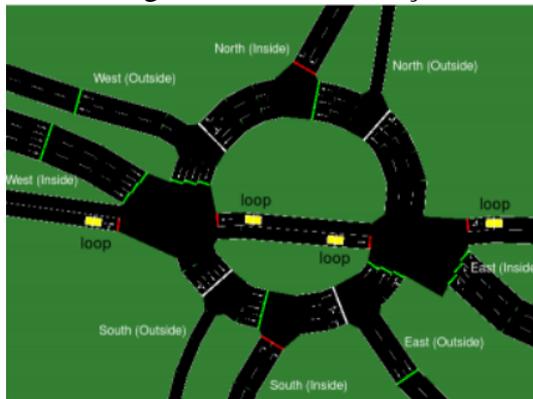
- **Degree centrality ou centralidade de grau**, calcula o número de ligações incidentes sobre um nó.  $D_v = \text{Grau}(v)$  (1) Os resultados são normalizados pela constante  $2 \cdot D_v / (2 \cdot |V| - 1)$ .

- **Betweenness centrality ou índice de centralidade de intermediação**, é essencial na análise de redes. O betweenness avalia o número de vezes que um nó age como ponte ao longo do caminho mais curto entre dois outros nós.

### 3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas duas métricas de centralidade para encontrar os melhores veículos candidatos para o envio/retransmissão de mensagem de uma rede. Para a análise das métricas nos modelos agregados e temporais, os grafos contabilizam o período de interação de total (agregado) de 150 s, sendo necessários o tempo somado de 3 grafos temporais que passam 50 s de conexão em observação. E por meio dessas observações são calculadas as métricas que usamos para escolher um conjunto de veículos para “nós” disseminadores. O cenário utilizado é obtido por meio de um conjunto de dados de mobilidade correspondentes à cidade de Créteil ( França ). O conjunto de dados de mobilidade veicular é baseado principalmente nos dados reais coletados pelo Departamento Geral Conselho de Val de Marne ( 94 ) na França. Os dados foram coletados nos períodos de pico de movimentação, isto é, de 7 às 9 horas e de 17 às 19 horas. Os dados utilizados foram compartilhados por meio de um arquivo csv disponibilizado e pode ser encontrado neste [link](#) que é um portal com informações e estudos acerca da mobilidade rotatória da Europarc, Créteil, França.

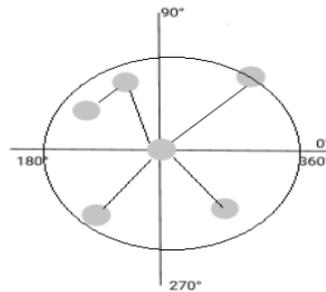
Figura 1- Créteil, França



Fonte: Lébere e Mouël (20--)

A modelagem foi realizada em grafo agregado que corresponde a agregação das comunicações realizadas dentro de um período de tempo de construção do grafo temporal, com o objetivo de localizar os melhores veículos candidatos para a transmissão/retransmissão de mensagens recebidas dentro de uma área de interesse dividida em quatro quadrantes baseadas no ângulo indicadores de posição dos veículos, como exemplifica a figura 2.

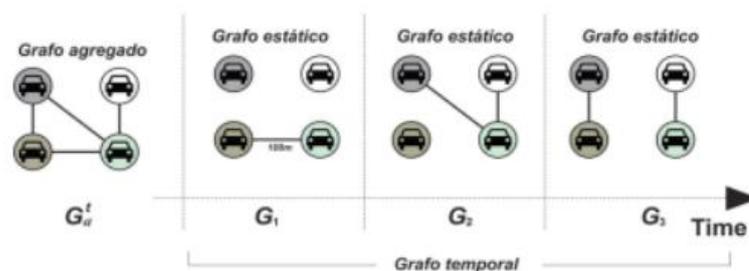
Figura 2- Exemplificação dos quadrantes criados.



Fonte: Própria Autora (2021)

A figura 4 que está abaixo demonstra a divisão de quadrantes e a comunicação que seria estabelecida para um cenário com 4 veículos. O veículo candidato mais adequado para transmissão da mensagem é escolhido por quadrante, sendo assim é o que está apto a ser transmissor para os demais veículos. Os grafos temporais e de agregação são construídos levando em consideração o raio de comunicação de até 100m, estabelecido pelos veículos dentro dos quadrantes de um plano cartesiano que representa a localização dos veículos. Sendo que o passo inicial é que toda a rede seja transformada em um grafo, para assim construir os quadrantes e realizar o cálculo das métricas. As métricas de centralidade do grafo são calculadas para rede modelada em grafo e para os quadrantes.

Figura 3 - Representação do grafo agregado (esquerda) e temporal (direita).



Fonte: Silva et al. 2017, p. 7.

No quadro abaixo estão os dados extraídos da rede modelada, sendo eles número de arestas (interações), vértices (veículos), tempo de comunicação. Os grafos gerados por meio da rede são simples, sendo assim não são direcionados e possuem peso igual em todas as arestas.

Quadro 1- quadro de vértices e arestas extraídas da simulação.

Nome	Veículos	Arestas Temporais	Arestas Agregadas	Interações
Créteil 7 às 9 hrs	3.145	70.500	34.900	150s
Créteil 17 às 21 hrs	2.895	61.115	30.335	150s

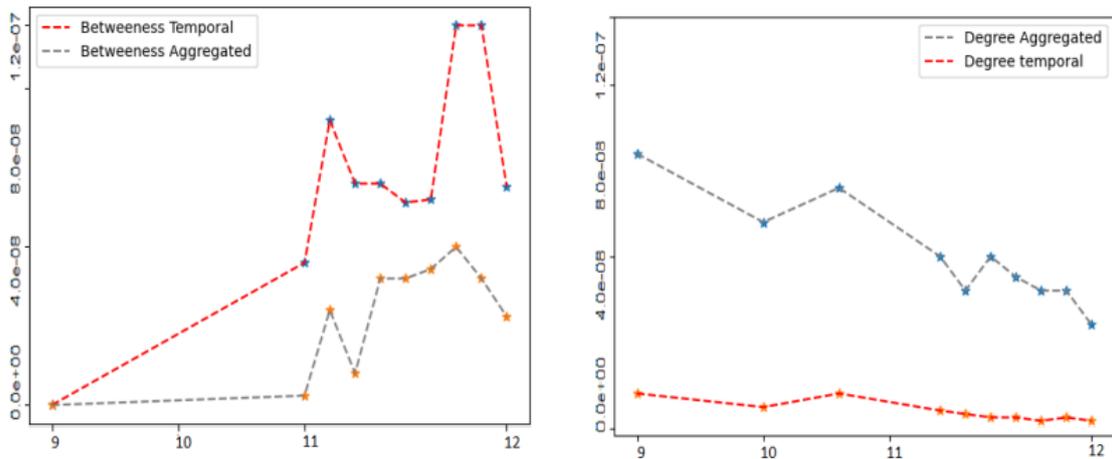
Fonte: Própria Autora (2021)

As implementações das simulações foram realizadas em uma máquina com as seguintes configurações: 2x Xeon (processadores) e 128 RAM. A linguagem utilizada para a construção de implementações foi Python 3 e foram utilizadas algumas das bibliotecas disponibilizadas pela linguagem, em que as mesmas possibilitaram a criação e manipulação dos grafos criados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

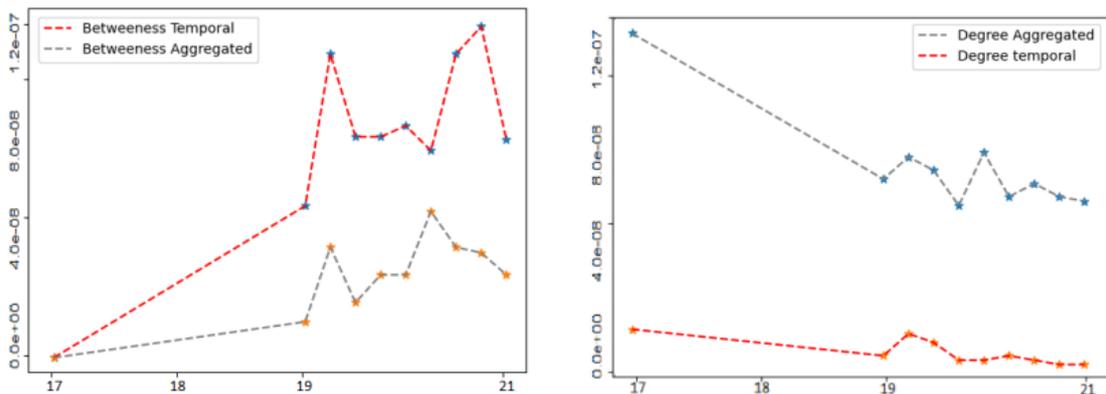
A figura abaixo mostra os valores médios dos valores obtidos após métricas aplicadas para o cenário utilizado, em que no eixo x temos a notação de horários, correspondente a de 9 às 12 e de 17 às 21h, e no eixo y estão representados os valores médios das métricas calculadas.

Figura 4 - Valores médios das métricas no período de 9 às 12.



Fonte: Própria autora (2021)

Figura 5 - Valores médios das métricas no período de 17 às 21.



Fonte: Própria autora (2021)

Observando os gráficos obtidos com relação às métricas de grau de vértice e intermediação agregados e temporais, é possível observar que os valores temporais para intermediação são mais altos, isso é, no modelo temporal são apontados vértices de maior relevância dentro da rede, o que facilita na disseminação de dados da mesma. A abordagem do

modelo temporal tem a representação mais próxima ao que ocorre em tempo real, uma vez que está calculado em pequenos intervalos de tempo, podendo observar, por exemplo, a movimentação dos vértices da rede. Desta forma, podemos concluir que o uso de agregação faz com que percamos informações acerca das características da rede. Ao observarmos a métrica de grau de vértice, é visível que o comportamento é contrário à intermediação. Sendo assim, ao considerarmos que a modelagem agregada não representa o comportamento aproximado de tempo real, uma vez que perde informações e que para o estudo de disseminação de dados a centralidade de vértice pode não ser uma boa estratégia.

## 5 CONCLUSÕES

Nesse relatório, foi apresentado uma análise dos modelos agregados e temporais na disseminação de dados em ambiente Vanets, em que na modelagem foram utilizadas algumas métricas de redes complexas aplicadas neste ambiente. O uso de métricas de centralidade aplicadas no estudo do comportamento de redes veiculares, possibilitou entender de que forma elas podem ser utilizadas efetivamente e qual modelo (agregado ou temporal) demonstra melhor desempenho no papel de disseminação de dados no ambiente de redes veiculares. Concluindo assim, que a melhor modelagem, até então, é a temporal, uma vez que é a melhor descreve o comportamento da rede em relação a seu aspecto dinâmico e que a métrica de intermediação é a que tem melhor desempenho no objetivo de localizar os melhores nós disseminadores na rede. A comparação entre os modelos associados às métricas de centralidade advindas da teoria das redes complexas, é uma contribuição importante deste trabalho. Uma vez que por meio dele conseguimos observar e entender a melhor modelagem com relação às características da rede e visando evitar perda de informações, tanto no processo de modelagem quanto na disseminação de dados na rede.

Para a construção deste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sistemático acerca de redes complexas e o uso de suas métricas na modelagem de Vanets. Foram analisadas as conexões estabelecidas dentro do ambiente de redes veiculares, para assim encontrar os nós mais relevantes de rede. Como trabalhos futuros podem ser propostos a adoção das métricas para a localização de comunidades como zonas de ancoragem por meio das métricas de centralidades e modelagem agregada e temporal, assim como o estudo do desempenho das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- BARABASI, A.-L. **Linked**: How Everything Is Connected to everything else and What It Means. [S. l.]: Plume, 2003.
- BASAGNI, S.; CONTI, M.; GIORDANO, S.; STOJMENOVIC, I. **Mobile ad hoc networking**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- COSTA, Joahannes, et al. Protocolo para Disseminação de Dados em VANETs baseado em Métricas de Redes Complexas: Um Estudo de Caso com Sistema de Gerenciamento de Trânsito. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 36., 2018, Campos do Jordão. **Anais [...]**. Campos do Jordão: SBC, 2018.
- ENDRISS, U.; GRANDI, U. Graph aggregation. arXiv preprint arXiv:1609.03765. 2016
- GRANDO, F., NOBLE, D.; LAMB, L. C. An analysis of centrality measures for complex and social networks. *In*: IEEE GLOBAL COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2016. **Anais [...]**. [S. l.]: GLOBECOM, 2016. p. 1–6.
- HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, L. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. **IEEE Communications magazine**, v. 46, n. 6, 2008.
- KIM, H.; ANDERSON, R. Temporal node centrality in complex networks. **Physical Review E**, v. 85, n. 2, 2012.
- OLIVEIRA, Igor Marcos Araujo de. **Análise da topologia de redes veiculares usando métricas de centralidade**. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) - Instituto de Computação, Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- ZENODO. traço de mobilidade veicular microscópica da rotatória da Europarc, Créteil, França, 2017. (vehicular-mobility-trace.github.io: v1.0)
- SILVA, F. S.; MOURA, D. L. L.; CABRAL, R. S. Modelagem e caracterização de redes veiculares utilizando-se grafos temporais e métricas de redes complexas. *In*: XLIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 49., Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau: SBC, 2017.