



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**CONTROLE DE POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO EM
VANETs: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO TEORIA DOS
JOGOS**

Por

Thiago Montenegro Uchôa
Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

THIAGO MONTENEGRO UCHÔA

CONTROLE DE POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO EM VANETS: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO TEORIA DOS JOGOS

*ESTE TRABALHO FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO.*

ORIENTADOR(A): DR. STÊNIO FLÁVIO DE LACERDA FERNANDES
CO-ORIENTADOR: DR. HEITOR SOARES RAMOS FILHO

RECIFE, 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Jane Souto Maior, CRB4-571

U17c Uchôa, Thiago Montenegro
Controle de potência de transmissão em VANETS: uma abordagem utilizando teoria dos jogos / Thiago Montenegro
Uchôa – Recife: O Autor, 2015.
104 f.: il., fig., tab.

Orientador: Stênio Flávio de Lacerda Fernandes.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, 2015.
Inclui referências.

1. Redes de computadores. 2. Teoria dos jogos. I. Fernandes, Stênio Flávio de Lacerda (orientador). II. Título.

004.6 CDD (23. ed.) UFPE- MEI 2016-003

Dissertação de Mestrado apresentada por **Thiago Montenegro Uchôa** à Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título “**Controle de Potência de Transmissão em VANETs: Uma abordagem utilizando Teoria dos Jogos**” orientada pelo **Prof. Stênio Flávio de Lacerda** Fernandes e aprovada pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Daniel Carvalho da Cunha
Centro de Informática/UFPE

Prof. André Luiz Lins de Aquino
Instituto de Computação / UFAL

Prof. Stênio Flávio de Lacerda Fernandes
Centro de Informática / UFPE

Visto e permitida a impressão.
Recife, 28 de agosto de 2015.

Profa. Edna Natividade da Silva Barros
Coordenadora da Pós-Graduação em Ciência da Computação do
Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

À minha família.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Luciano e Elizabeth, meus avós e irmão, que sempre me estimularam para me desenvolver continuamente. Por toda sua paciência e amor incondicional. Sem esta base não teria realizado minhas conquistas até hoje.

Agradeço à minha noiva, Amanda, por toda sua paciência e apoio neste período de trabalho intenso. Por todo o companheirismo e força que me deu, principalmente nos momentos de maiores dificuldades.

Gostaria de agradecer a Stênio, meu orientador, por todo o auxílio e orientação para que este trabalho fosse concluído, além de ter possibilitado minha participação no programa de mestrado no CIn. Agradeço também a Heitor Ramos, meu co-orientador, por todos os ensinamentos e reuniões virtuais que me esclareceram muitas das minhas dúvidas.

Finalmente, gostaria de agradecer aos amigos Igor Moraes, Ricardo Padilha, Paulo Rozendo e Carlos Frederico. Obrigado por todo apoio e palavras de estímulo para finalizar este trabalho. Obrigado a todos aqueles, que de alguma forma, me ajudaram ou estimularam a finalizar este trabalho. A estas pessoas não tenho como mensurar tamanha gratidão.

Resumo

As VANETs (*Vehicular Ad hoc Networks*) têm atraído bastante atenção por sua gama de aplicações e flexibilidade. Alguns exemplos são *streaming* de áudio e vídeo, tráfego de mensagens de emergência, alertas de colisão, dentre outras aplicações. Com as VANETs, os veículos e infraestruturas ao redor trocam informações de uma forma coordenada, orquestrando as rotas veiculares.

Nas VANETs há uma troca de informações que vão além da interveicular, V2V (*Vehicle to Vehicle*). Estas formas de comunicação se dão entre veículo e infraestrutura e são denominadas V2I (*Vehicle to Infrastructure*). Com a concentração de veículos aumentando, há uma tendência de incremento na interferência interveicular, reduzindo assim os níveis de SINR e, conseqüentemente, diminuindo as taxas de transmissão entre os dispositivos.

Algoritmos de controle de potência de transmissão foram propostos em diversas áreas. Um exemplo é a aplicação em cenários de comunicação celular, porém poucos trabalhos abordam o controle de potência de transmissão em uma aplicação de VANETs. Poucos trabalhos foram simulados em cenários de alta concentração. Este trabalho mostra resultados de simulações que analisam o efeito do controle de potência de transmissão em um cenário envolvendo de 250 a 2000 veículos.

Com o objetivo de reduzir o impacto das altas potências de transmissão nas VANETs, é proposto um algoritmo, GRaPhiC, utilizando teoria dos jogos, visando reduzir a potência de transmissão dos dispositivos conectados à VANET. É então modelado um cenário utilizando teoria dos jogos não cooperativos. Este algoritmo fornece incentivo suficiente para que os nós desta rede não aumentem deliberadamente sua potência de transmissão. Para isto, é proposta uma função utilidade capaz de reduzir a potência de transmissão dos veículos, caso um conjunto de condições seja obedecida.

Para validar os resultados deste trabalho, foram conduzidas simulações em diversos cenários. Para isto, foi utilizado o arcabouço do Veins. Os resultados demonstram que apesar de uma redução da potência de transmissão, que pode chegar a 24% da potência de transmissão inicial, a taxa de transmissão média não é afetada. Em um cenário de veículos elétricos, esta redução da potência de transmissão média se torna imprescindível.

Palavras-chave: VANETs, Teoria dos Jogos, Relação Sinal Ruído e Interferência

Abstract

VANETs (Vehicular Ad hoc Networks) have attracted much attention for its range of applications and flexibility. Some real examples are streaming video and audio, emergency messaging, traffic collision alerts, among other applications. With VANETs, vehicles and infrastructure around exchange information in a coordinated way, orchestrating vehicular routes.

In the field of VANETs, there is an exchange of information that goes beyond intervehicular, V2V (Vehicle to Vehicle). These forms of communication are between vehicle and infrastructure and are called V2I (Vehicle to Infrastructure). With the increasing concentration of vehicles, there is an increasing trend in intervehicular interference, thereby reducing the SINR levels, and consequently decreasing the transmission rate between the devices.

Transmit power control algorithms have been proposed in several areas. An example is the application in cellular communication scenarios, but few studies address the transmission power control in an application of VANETs. Few studies have simulated vehicles in high concentrated scenarios. This work shows results of simulations to analyze the effect of transmission power control in a scenario involving 250 of the 2000 carriers.

In order to reduce the impact of high power transmission in VANETs, an algorithm, GRaPhiC, and proposed using game theory in order to reduce the transmission power of the devices connected to the VANET. It is then modeled a scenario using the theory of non-cooperative games. This algorithm provides enough incentive for this network not deliberately increase their transmission power. For this, it is proposed a utility function capable of reducing the transmission power of vehicles if a set of conditions is complied with.

To validate the results of this study, simulations were conducted in various scenarios. For this, we used the framework Veins. The results demonstrate that although a reduction of the transmission power, that can reach 24% of the initial transmission power, the average transmission rate is not affected. In a scenario of electric vehicles, this reduction in the average transmit power is indispensable.

Keywords: VANETs, Game Theory, Signal to Noise and Interference Rate.

Lista de Figuras

Figura 2-1: Comunicação em uma VANET.....	24
Figura 3-1: Exemplo de abordagens e cenários de uso.	47
Figura 3-2: Principais modelagens utilizando Teoria dos Jogos.	50
Figura 4-1: Cenário em grid para jogo não cooperativo.....	72
Figura 4-2: Algoritmo Não Cooperativo.	75
Figura 4-3: Cenários Investigados.....	78
Figura 4-4: Comparação entre Algoritmo Proposto e Potência de Transmissão Fixa.....	79
Figura 5-1: SINR Médio para simulação de 250 veículos em grid de 80x80 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.	86
Figura 5-2: SINR Médio para simulação de 250 veículos em grid de 100x100 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.....	87
Figura 5-3: SINR Médio para simulação de 500 veículos em grid de 80x80 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.	88
Figura 5-4: SINR Médio para simulação de 500 veículos em grid de 100x100 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.....	90
Figura 5-5: SINR Médio para simulação de 1000 veículos em grid de 80x80 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.....	91
Figura 5-6: SINR Médio para simulação de 1000 veículos em grid de 100x100 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.....	92

Lista de Tabelas

Tabela 2-1: Principais elementos de uma rede veicular.....	24
Tabela 2-2: Principais elementos de um jogo.	25
Tabela 2-3: Interação entre jogadores (TRESTIAN; ORMOND; MUNTEAN, 2012).	26
Tabela 3-1: Principais modelagens utilizando Teoria dos Jogos.	48
Tabela 3-2: Resumo dos Artigos Selecionados.....	69
Tabela 4-1: Parâmetros da Simulação.....	73
Tabela 4-2: Variáveis dependentes e independentes.....	76
Tabela 5-1: Densidade veicular em cada cenário de simulação.....	81
Tabela 5-2: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 250 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.	81
Tabela 5-3: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 500 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW	82
Tabela 5-4: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 1000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW	83
Tabela 5-5: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 2000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.	84
Tabela 5-6: Resultados de SINR para simulação com 250 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	85
Tabela 5-7: Resultados de SINR para simulação com 250 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	87
Tabela 5-8: Resultados de SINR para simulação com 500 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	88
Tabela 5-9: Resultados de SINR para simulação com 500 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	89

Tabela 5-10: Resultados de SINR para simulação com 1000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	90
Tabela 5-11: Resultados de SINR para simulação com 1000 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.	91
Tabela 5-12: Resultados de SINR para simulação com 2000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.....	92

Abreviações e Acrônimos

AF	<i>Amplify and Forward</i>
BS	<i>Base Station</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CH	<i>Cluster Head</i>
CRN	<i>Cognitive Radio Network</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
HDSPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
KSS	<i>Kalai-Smorodinsky Solution</i>
MANET	<i>Mobile Ad Hoc Network</i>
NBS	<i>Nash Bargaining Solution</i>
OBU	<i>Onboard Unit</i>
R2R	<i>Roadside to Roadside Communication</i>
RSU	<i>Roadside Unit</i>
SINR	<i>Signal to Interference and Noise Ratio</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure Communication</i>
V2R	<i>Vehicle to Roadside Communication</i>
V2V	<i>Vehicle to Vehicle Communication</i>
VANET	<i>Vehicular Ad Hoc Network</i>
WAVE	<i>Wireless Access Vehicle Environment</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Sumário

Abstract.....	6
Sumário.....	11
1. Introdução.....	15
1.1 Por que utilizar Teoria dos Jogos para modelar VANETs?	17
1.2 Hipóteses e Questão de Pesquisa	18
1.3 Objetivos e Metas	19
1.4 Metodologia	20
1.5 Contribuições	21
1.6 Estrutura da Dissertação.....	22
2. Fundamentação Teórica.....	23
2.1 VANETs	23
2.2 Principais Conceitos de Teoria dos Jogos.....	25
2.2.1. Jogo Não Cooperativo	27
2.2.2. Jogo Cooperativo	29
2.3 Modelagem Matemática das Principais Métricas	32
2.4 Modelagem Matemática Utilizando Teoria dos Jogos	34
2.4.1. Jogos Não Cooperativos	34
2.4.2. Jogos Cooperativos	36
2.5 Ambientes de Simulação	43
2.5.1. Desenvolvimento do Cenário de Simulação.....	44
2.5.2. Controle de Potência de Transmissão.....	45
3. Levantamento do Estado da Arte	47
3.1 Aplicações de Teoria dos Jogos Não cooperativos.....	51
3.2 Aplicação de Teoria dos Jogos Cooperativos.....	53
3.2.1. Controle de Potência de Transmissão e Teoria dos Jogos Cooperativos....	53
3.2.2. VANETs, BitTorrent e Teoria dos Jogos Cooperativos.....	54
3.2.3. Roteamento de Pacotes e Jogos Cooperativos	56
3.2.4. Monitoramento de Distância Veicular e Teoria dos Jogos Cooperativos....	57

3.2.5.	Formação de Coalizões e VANETs.....	58
3.2.6.	Velocidade de Propagação de Informações e Teoria dos Jogos Cooperativos.....	58
3.2.7.	Controle de Potência de Transmissão para CRN.....	59
3.2.8.	Alocação de potência e largura de banda em sistemas AF utilizando Jogos de Stackelberg.....	59
3.2.9.	Jogos de Formação de Coalizão Distribuídos para Comunicação entre RSUs.....	60
3.2.10.	Alocação de potência e preço para redes de <i>multirelay</i> utilizando jogos de barganha e Stackelberg.....	62
3.2.11.	Compartilhamento cooperativo de banda para <i>relaying</i>	63
3.2.12.	Estímulo e cooperação entre nós utilizando esquema de punição e pagamento.....	64
3.3.	Aplicações de Teoria dos Jogos Evolucionários.....	66
3.4.	Aplicações de <i>Public Good Games</i>	66
3.4.1.	PGD e VANETs.....	66
3.5.	Resumo dos Trabalhos Seleccionados	68
4.	GRaPhiC	71
4.1.	Cenário de Aplicação.....	71
4.2.	Algoritmo Proposto	74
4.2.1.	Algoritmo Não Cooperativo.....	74
4.3.	Métricas do Sistema.....	76
4.4.	Métodos de Avaliação	77
5.	Resultados e Avaliação.....	80
5.1	Análise.....	80
5.1.1.	Avaliação dos Cenários em <i>Grid</i>	80
5.1.2.	Avaliação das Potências de Transmissão Médias	81
5.1.3.	Avaliação dos valores médios de SINR.....	84
6.	Conclusão.....	94
6.1.	Contribuições.....	94
6.2	Limitações.....	96

6.3 Dificuldades Encontradas	97
6.4 Trabalhos Futuros	98
Referências.....	99

1. Introdução

Nas últimas décadas, tecnologias de redes sem fio têm sido consideradas capazes de estabelecer comunicação entre quaisquer dispositivos móveis. A exemplo dos computadores pessoais, *smartphones*, *tablets*, dispositivos de automação, sensores e outros (RUBINSTEIN *et al.*, 2006).

Com a crescente aceitação na comunidade científica, muitos padrões de comunicação sem fio têm emergido. Para resolver alguns dos desafios das redes sem fio, foi proposta uma nova classe de redes sem fio, denominada MANET (*Mobile Ad Hoc Networks*). Neste tipo de rede, vários dispositivos se comunicam de forma descentralizada utilizando comunicação sem fio. Assim, se formam redes que se auto organizam e geram a própria estrutura de comunicação (DIAS; RODRIGUES; ZHOU, 2014).

Este, então, foi o modelo para as primeiras aplicações das VANETs (*Vehicular Ad hoc Networks*). Estas redes são compostas por veículos equipados com dispositivos de comunicação sem fio. Uma possibilidade de aplicação é a prevenção de acidentes utilizando soluções que podem se comunicar através de redes sem fio. Estas redes são altamente dinâmicas e apresentam topologias que mudam e devem escalar de forma rápida, tornando assim um de seus maiores desafios. Nas VANETs a comunicação pode ser realizada de forma centralizada ou descentralizada (SHRESTHA *et al.*, 2008).

As VANETS têm atraído atenção tanto no estudo de comunicação V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) como V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) (WANG; FAN; LETAIEF, 2012). Estas são as duas principais categorias de comunicação que dividem as VANETs. A primeira permite que veículos troquem informações entre si. A comunicação V2I permite que informações sejam trocadas entre veículos e infraestruturas nas vias. Pode também ser denominada F2M (*Fixed-to-mobile*). Este tipo de comunicação se subdivide em V2R (*Vehicle-to-Roadside*) e R2V (*Roadside-to-Vehicle*) (JHANG; LIAO, 2008). Neste trabalho, ambas as formas de comunicação foram estudadas. Não será foco deste estudo, mas segundo o ETSI (*European*

através de um algoritmo de controle de potência de transmissão dos dispositivos. Com isto, foi observada a reação na rede em termos dos níveis de SINR.

1.1 Por que utilizar Teoria dos Jogos para modelar VANETs?

A teoria dos jogos tem sido vastamente aplicada à vários cenários de comunicação, além das aplicações já bem conhecidas em economia (JOHN F. NASH, 1949). Para o cenário mais específico de comunicações sem fio, a teoria dos jogos apresenta uma vasta bibliografia. São métodos propostos utilizando tanto teoria dos jogos cooperativos como não cooperativos (HAN *et al.*, 2012).

Na teoria dos jogos não cooperativos, são estudados cenários onde os jogadores competem por um determinado bem ou serviço, tentando maximizar *payoff*, sem se preocupar com os efeitos das escolhas para os outros jogadores. Já na teoria dos jogos cooperativos, os jogadores tomam estratégias que maximizem os *payoff* para um grupo de jogadores. A teoria dos jogos tem sido também aplicada a várias tecnologias de acesso via rádio: WLAN (*Wireless Local Area Network*), CDMA (*Code Division Multiple Access*), WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*), sistemas 4G e outros (TRESTIAN; ORMOND; MUNTEAN, 2012).

Para o caso específico de aplicação de teoria dos jogos cooperativos em comunicação veicular são estudados desde algoritmos para roteamento de pacotes, focando no melhor roteamento, como também na modelagem cooperativa que diminua as perdas de pacotes decorrentes de comportamento não cooperativo (DIAS; RODRIGUES; ZHOU, 2014). Para isto, os métodos são modelados de duas formas: baseados na reputação ou preço. Estas duas formas estimulam os veículos a reenviar pacotes que não sejam do seu interesse, agindo assim em prol de um grupo de indivíduos que cooperam entre si. Os tópicos a seguir resumem algumas aplicações de teoria dos jogos à comunicação veicular:

- Diminuição de perda de pacotes com cooperação entre veículos e RSUs, veículos ou RSUs (SAAD *et al.*, 2011);
- Roteamento entre veículos utilizando algoritmos cooperativos (TINGTING CHEN, 2011);
- Controle de potência de transmissão utilizando algoritmos baseados em teoria dos jogos (PANTISANO *et al.*, 2013);
- Monitoramento de distância interveicular (JIA; LU; WANG, 2014);

- Diminuição no *delay* entre transmissão e recepção de informação (ZHANG; MAO; ANDERSON, 2011);
- QoS em VANETs para atender a mensagens de emergência ou acidente (MATHEWS; RADHA, 2008).

Para modelar VANETs, também se utilizam jogos não cooperativos. Estes últimos são aplicados em cenários de alocação de banda, escolha da rede que melhor se adapte às necessidades do usuário como a seleção de melhor rede de acesso (HAIDER *et al.*, 2015), estudo do comportamento de usuários que competem pelo meio de forma não cooperativa (HA; LE, 2014), dentre outras aplicações. Em todos estes cenários, a teoria dos jogos é aplicada modelando o comportamento de usuários ou equipamentos.

Além da modelagem para explicar o comportamento de nós em uma rede de comunicação, a teoria dos jogos apresenta uma vertente que trabalha no desenvolvimento de formas pelas quais os nós tenham estímulo suficiente para se comportar de determinada forma. Esta é denominada teoria dos jogos cooperativos. Assim, é possível resolver problemas como alta interferência utilizando teoria dos jogos aplicados a um algoritmo de controle de potência, induzindo os nós a trabalharem com uma potência de transmissão inferior, melhorando a SINR (*Signal-to-interference-plus-noise ratio*). Também é possível modelar algoritmos de roteamento onde os nós cooperam, trabalhando como retransmissores e não simplesmente descartem os pacotes. Pode ser possível também modelar redes onde os nós deem preferência a determinados pacotes, mesmo que estes não sejam de preferência ou mesmo originados ou destinados ao nó em questão.

1.2 Hipóteses e Questão de Pesquisa

Como foi exposto anteriormente, a concentração de dispositivos de rádio móvel causa problemas de interferência (SMITH *et al.*, 2014). A última tem uma influência direta na degradação da taxa de transmissão. No cenário de VANETs, mais especificamente em um cenário de alta concentração de veículos em uma área restrita, haverá uma grande degradação da taxa de transmissão entre os dispositivos devido à grande interferência entre os mesmos. Como hipótese, tem-se que:

A aplicação de teoria dos jogos não cooperativos no controle de potência em VANETs gera um efeito direto na redução da interferência. Assim, deve-se alcançar um aumento na taxa de transmissão média entre os veículos de um grupo de veículos.

Algumas questões são identificadas:

Q1) É possível obter uma maior taxa de transmissão, induzindo veículos a diminuírem sua potência de transmissão para maximizar seu *payoff*?

Q2) É possível aplicar teoria dos jogos em um cenário de VANETs? Que tipo de modelagem formal deve ser utilizada?

Q3) É possível modelar matematicamente o cenário para induzir os veículos a cooperarem entre si em uma coalizão? Quais condições garantem uma coalizão eficiente?

Q4) É possível obter melhores resultados de SINR de um algoritmo não cooperativo de controle de potência de transmissão, em relação a um comportamento de potência de transmissão fixa?

Q5) Como comparar os resultados de jogos não cooperativos e de potência fixa? Quanto convergentes são estes resultados? Existe um equilíbrio de Nash para a modelagem de jogo não cooperativo proposto?

Este trabalho tem por objetivo responder a estas perguntas através de uma modelagem matemática utilizando teoria dos jogos não cooperativos. O cenário escolhido foi estudado teoricamente, analisando o equilíbrio de Nash do jogo. Para validar os resultados, foi realizada uma simulação utilizando o Veins.

1.3 Objetivos e Metas

Este trabalho tem por objetivo propor o uso de um algoritmo que deve melhorar a taxa de transmissão entre veículos concentrados em uma área, reduzindo de forma não cooperativa a potência de transmissão de cada nó da rede, para assim maximizar o *payoff* de cada veículo. Também tem como objetivo analisar e comparar os resultados deste cenário

com o de um cenário de potência de transmissão fixa, utilizando métricas que serão definidas posteriormente.

Para atingir estes objetivos, as seguintes metas são listadas. Elas devem responder as questões listadas anteriormente:

- M1) Conduzir uma revisão da literatura a respeito de teoria dos jogos e VANETs (Q1,Q2);
- M2) Estudar teoricamente o cenário de interesse (Q1, Q2, Q3);
- M3) Propor algoritmo de jogo não cooperativos para VANETs (Q4,Q5);
- M4) Conduzir uma simulação aplicando os algoritmos anteriores (Q4, Q5);
- M5) Realizar comparações entre resultados teóricos e simulados, baseados nas metodologias definidas (Q5);
- M6) Avaliar a convergência entre resultados teóricos e simulados (Q5).

1.4 Metodologia

Nesta subseção introduzimos brevemente a metodologia desenvolvida neste trabalho. Todos os pormenores serão apresentados com mais detalhes em uma seção posterior. Os tópicos principais da metodologia são os seguintes:

1. Estudar trabalho envolvendo teoria dos jogos e comunicação, especialmente VANETs;
2. Realizar levantamento de trabalhos realizados especificando: métricas, arquiteturas, soluções propostas, algoritmos e cenário estudado;
3. Definir o cenário, as arquitetura e as métricas;
4. Relacionar modelagens matemáticas envolvendo teoria dos jogos. Escolha da modelagem que melhor se aplique ao cenário em questão;
5. Relacionar e estudar teoricamente o cenário proposto;
6. Propor algoritmos de teoria dos jogos não cooperativos;
7. Comparar resultados teóricos e simulados;
8. Desenvolver um ambiente de simulação que extraia os resultados (métricas) para análises quantitativa e qualitativa.

1.5 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho serão resumidas como resposta às perguntas que foram deixadas como perguntas de pesquisa.

Q1) É possível obter uma maior taxa de transmissão, induzindo veículos a diminuírem sua potência de transmissão para maximizar seu *payoff*?

A1) Como foi mostrado no capítulo de resultados, foi proposto um algoritmo baseado em teoria dos jogos que possibilita uma redução substancial na potência de transmissão, sem diminuir a SINR para o cenário proposto.

Q2) É possível aplicar teoria dos jogos em um cenário de VANETs? Que tipo de modelagem formal deve ser utilizada?

A2) Desde abordagens utilizando jogos cooperativos de coalizão a jogos não cooperativos foram utilizados. Dependendo do cenário em estudo, uma ou outra abordagem se torna mais eficiente. No caso deste trabalho, foi analisada a aplicação de teoria dos jogos não cooperativos.

Q3) É possível modelar matematicamente o cenário para induzir os veículos a cooperarem entre si em uma coalizão? Quais condições garantem uma coalizão eficiente?

A3) Foi visto que teoricamente é possível modelar matematicamente o cenário com um jogo cooperativo de coalizão. Um trabalho futuro é o de simular esta aplicação utilizando o Veins e realizar uma comparação com o caso não cooperativo e com outras propostas de controle de potência de transmissão.

Q4) É possível obter melhores resultados de SINR de um algoritmo não cooperativo de controle de potência de transmissão, em relação a um comportamento de potência de transmissão fixa?

A4) De acordo com as simulações para os cenários de 250, 500 e 1000 veículos, de uma forma geral, os resultados foram de uma redução nas potências médias de transmissão, porém com valores de SINR se mantendo constantes.

Q5) Como comparar os resultados de jogos não cooperativos e de potência fixa? Quanto convergentes são estes resultados? Existe um equilíbrio de Nash para a modelagem de jogo não cooperativo proposto?

A5) Foi demonstrado teoricamente que existe um equilíbrio de Nash para o cenário proposto. Também foi demonstrado através de simulações que, em média, obtém-se valores de SINR superiores em simulações cuja concentração veicular é maior. Quando comparando cenários com algoritmo proposto e potência fixa, foi possível notar que, via de regra, as potências de transmissão foram reduzidas, sem comprometer os valores de SINR.

1.6 Estrutura da Dissertação

A dissertação é apresentada seguindo a seguinte estrutura:

- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica - São apresentadas as principais formas de modelar matematicamente cenários de comunicação. Contém as informações necessárias para entender todo o trabalho desenvolvido e apresentado.
- Capítulo 3 - Levantamento do Estado da Arte - Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos desenvolvidos nos últimos dez anos em teoria dos jogos aplicados à comunicação. São trabalhos que utilizam das mais diversas modelagens utilizando teoria dos jogos, desde teoria dos jogos cooperativos a não cooperativos.
- Capítulo 4 - GRaPhiC - Demonstra como os resultados das simulações foram tratados e como serão apresentados no capítulo subsequente.
- Capítulo 5 - Resultados e Avaliação - Apresenta os benefícios e potenciais limitações da metodologia apresentada.
- Capítulo 6 - Conclusão - Mostra as conclusões, dificuldades e trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Este capítulo tem por objetivo apresentar de forma mais aprofundada toda a modelagem matemática da teoria dos jogos aplicadas à VANETs. Nos próximos subtópicos serão mostrados alguns conceitos em VANETs, teoria dos jogos, métricas utilizadas, modelagem sugerida utilizando teoria dos jogos e algumas informações teóricas sobre os arcabouços utilizados para conduzir a simulação.

2.1.VANETs

As VANETs recentemente têm atraído bastante atenção por ser uma rede que possibilita uma intensa troca de alertas de colisão, informações de tráfego, alertas de situações de perigo etc, como pode ser observado na Figura 2-1. É um tipo de ITS (*Intelligent Transportation System*) que permite uma disseminação de informações em tempo real (DIAS; RODRIGUES; ZHOU, 2014).

Além das aplicações de segurança, as VANETs podem ser utilizadas para aplicações de troca de informações ou de acesso à Internet, assim como para aplicações P2P (*Peer to Peer*). A ideia é que passageiros possam trocar arquivos de áudio, vídeo, *chat* e até jogos *online* através das VANETs. Também seria possível compartilhar conexões com a Internet com veículos vizinhos (TOOR *et al.*, 2008).

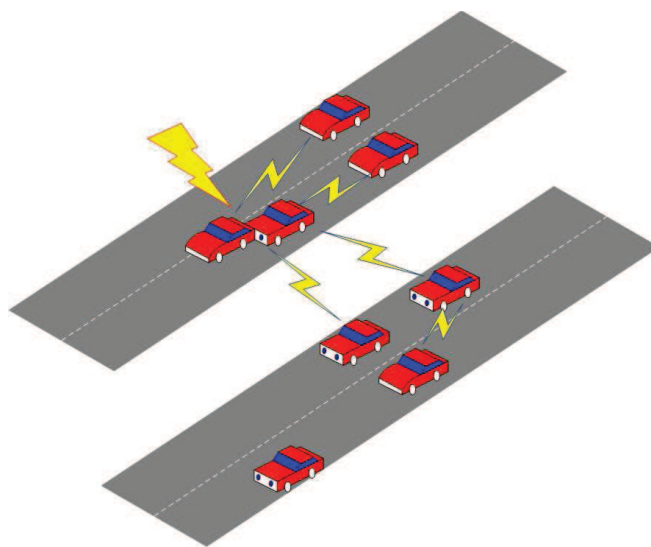


Figura 2-1: Comunicação em uma VANET.

Os dois principais elementos de uma VANET são RSU (*Road Side Units*) e OBU (*Onboard Unit*). O último é um elemento da comunicação instalado nos veículos. Já o primeiro é o equipamento de comunicação utilizado para acesso ao sistema de gerência, caso tenha-se um sistema centralizado de gestão. A Tabela 2-1 mostra um pequeno resumo dos principais elementos de uma VANET.

Tabela 2-1: Principais elementos de uma rede veicular.

Principais Elementos	Descrição
Veículo	Nó da rede com equipamento de comunicação.
OBU	Equipamento de comunicação utilizado para comunicação entre veículos e entre veículos e infraestrutura.
RSU	Equipamento de infraestrutura situado ao longo das vias.

Um dos principais desafios desta tecnologia em termos de comunicação é a alta concentração de OBUs, principalmente em um cenário de intenso tráfego de veículos. Este número pode chegar a 1000 veículos concentrados em uma área de 1km de raio (TOOR *et al.*, 2008). Neste cenário, dependendo do nível de potência de transmissão das OBUs, uma baixa SINR pode ser detectada, prejudicando assim a taxa de transmissão.

Os principais experimentos e simulações realizadas se baseiam no padrão IEEE 802.11p. Este padrão se utiliza de uma multiplexação ortogonal. Tem uma largura de banda de 10 ou 20MHz. Alcance que varia entre 300 e 1000m. O *throughput* varia entre 3 e 27Mbps. No Capítulo 4 será explanada a simulação.

2.2 Principais Conceitos de Teoria dos Jogos

Neste subtópico, são apresentados os principais conceitos para o entendimento de teoria dos jogos. Assim, é possível entender os motivos das escolhas das modelagens utilizadas neste trabalho, assim como as metodologias de análise empregadas.

Para modelar um determinado cenário com teoria dos jogos, é necessário definir alguns elementos que são comuns a qualquer tipo de modelagem utilizada para essa teoria. Os principais componentes de um jogo são: (i) jogadores, (ii) estratégias, (iii) *payoff* e (iv) recursos, como pode ser observado na Tabela 2-2. Os usuários de um jogo podem ser dispositivos ou um conjunto deles. Exemplo disto é um jogo entre um dispositivo e a rede, formada de dispositivos. Já a estratégia é o conjunto de ações que um jogador pode tomar. Um exemplo é baixar ou aumentar a potência de transmissão, no caso de um rádio. Outro exemplo é repassar ou não um pacote para nós vizinhos. Para que os jogadores tenham estímulo para adotar uma determinada estratégia, é necessário que existam funções que façam estes jogadores tomarem determinada atitude. O *payoff* pode ser *delay* na entrega, qualidade da rede, custo monetário e outros. Por fim, os recursos podem ser largura de banda, potência de transmissão, ou outro elemento a ser disputado pelos jogadores em questão.

Tabela 2-2: Principais elementos de um jogo.

Elementos de um jogo	Descrição
Jogador	Elemento principal do jogo. Modela os elementos que possuem estratégias e <i>payoffs</i> associados às estratégias.
Estratégia	São as atitudes relacionadas a cada jogador. Numa rede de comunicação pode ser a estratégia de repassar pacotes ou não.

Função Utilidade	Equação que modela matematicamente o comportamento dos jogadores e geram um <i>payoff</i> para a estratégia escolhida.
<i>Payoff</i>	Resultado numérico da escolha de uma determinada estratégia.

Em teoria dos jogos, existem classes que subdividem os estudos em duas subcategorias mutuamente exclusivas: (i) Teoria dos Jogos Não-Cooperativos, (ii) Teoria dos Jogos Cooperativos. Na primeira classe, são modelados os jogos onde os jogadores são induzidos a maximizar sua própria função utilidade, obtendo o maior *payoff* possível sem analisar o impacto que a estratégia escolhida tem para os outros jogadores. A segunda classe é a dos Jogos Cooperativos. Nesta, os jogadores analisam os jogos de forma a não somente maximizar seu próprio *payoff*, mas principalmente maximizar o *payoff* de todos os elementos que cooperam, gerando assim um grupo de jogadores que cooperam entre si.

Os dois principais tipos de modelagem propostas nos trabalhos estudados no Capítulo 3, que envolvem teoria dos jogos são: centralizada e não centralizada. A primeira foca em uma solução onde existe uma entidade que concentra toda a coleta de informações relativas ao *payoff* ou recursos da rede. Na segunda, nenhuma entidade é responsável por esta coleta e armazenagem. Os próprios jogadores realizam esta tarefa de forma distribuída.

Em uma modelagem de teoria dos jogos existem três interações entre os jogadores: usuário Vs. usuário, rede Vs. rede e rede Vs. usuário. Considerando as duas abordagens e os três cenários de interação, podemos obter então seis cenários para teoria dos jogos, que são mostrados na Tabela 2-3.

Tabela 2-3: Interação entre jogadores (TRESTIAN; ORMOND; MUNTEAN, 2012).

Interação entre Jogadores	Classe do Jogo	Objetivo
Usuário Vs. Usuário	Não Cooperativo	Usuários competem contra outros usuários. Objetivo é o de maximizar sua função utilidade.
	Cooperativo	Usuários competem de modo a obter um resultado que seja mutuamente bom.

Rede Vs. Usuário	Não Cooperativo	Usuários competem contra a rede. Por um lado, os usuários tentam maximizar seu custo-benefício. Por outro, a rede tenta maximizar seu lucro com os usuários.
	Cooperativo	Usuário compete com um grupo de usuários buscando obter um resultado que seja mutuamente bom.
Rede Vs. Rede	Não Cooperativo	Redes tentam maximizar seus resultados individuais.
	Cooperativo	Redes tentam chegar a um resultado que seja mutuamente bom.

Considerando uma VANET $\mathcal{U}$ composta por $|\mathcal{U}| = V$ veículos se comunicando entre si. Cada veículo se comunica com os demais através de *broadcasts* para todos os outros nós em sua área de cobertura.

Neste trabalho, em uma primeira análise, toda a comunicação é tida ser entre veículos visando maximizar seu próprio *payoff*, ou seja, um cenário modelado como jogo não cooperativo. Como visto anteriormente, um cenário de usuário vs. usuário não cooperativo. Subsequentemente, uma abordagem cooperativa entre os veículos é considerada.

Nos dois subtópicos seguintes, serão apresentados os conceitos mais importantes de Teoria dos Jogos Não Cooperativos e Cooperativos. Assim, será possível acompanhar todas as suposições tomadas na análise teórica realizada.

2.2.1. Jogo Não Cooperativo

Um exemplo de jogo não cooperativo é de uma rede sem fio onde os nós da rede têm um sistema de controle de potência do sinal de transmissão. Em um jogo não cooperativo, a tendência é que todos os rádios transmitam à sua potência de transmissão máxima. Então o jogo não cooperativo modela um cenário de competição, onde cada jogador tem que tomar uma decisão sem se basear no impacto causado aos outros jogadores. Um jogo não cooperativo pode ser estático ou dinâmico. No primeiro tipo, a estratégia dos jogadores não muda com o tempo. Nenhum tipo de interação, é estabelecida entre os jogadores e nenhum tipo de mudança de estratégia é possível. Por outro lado, um jogo dinâmico é aquele em que

há algum tipo de troca de informação entre os jogadores. Assim, no decorrer do tempo, há uma mudança de estratégia decorrente da mudança de cenário e ações de cada jogador.

Um jogo não cooperativo, em sua forma estratégica ou normal, é formado por uma tripla: (i) conjunto de jogadores, (ii) estratégias, (iii) *payoffs*. Os elementos da tripla são definidos a seguir, juntamente com suas respectivas representações matemáticas.

DEFINIÇÃO 1: Um jogo não cooperativo, na sua forma normal, ou estratégica, é dado pela tripla $\mathcal{G} = (\mathcal{U}, (S_i)_{i \in \mathcal{U}}, (u_i)_{i \in \mathcal{U}})$, onde:

- $\mathcal{U}$ é o conjunto de todos os possíveis jogadores $\mathcal{U} = \{1, 2, 3, \dots, V\}$
- S_i é o conjunto de todas as estratégias do jogador (veículo) $i \in \mathcal{U}$

Dado que $u_i : S \rightarrow \mathbb{R}$ é a função utilidade de cada veículo i , com $S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_V$. Onde S é o produto cartesiano formado pelas estratégias $(S_i)_{i \in \mathcal{U}}$ de qualquer jogador $i \in \mathcal{U}$.

Assim, um jogo é definido por um número finito de jogadores e estratégias. Dependendo de o jogo ser estático ou dinâmico, as estratégias escolhidas podem mudar com o decorrer do tempo. Para um jogo dado pela forma estratégica, para qualquer jogador i , todo elemento $S_i \in S$ é uma estratégia do jogador i . Já $\mathbf{S}_{-i} = [S_j]_{j \in \mathcal{U}, j \neq i}$ denota o vetor de todas as estratégias de todos os jogadores, exceto i . Já $(s_i, \mathbf{s}_{-i}) \in S$ denota o perfil de estratégia de um determinado jogo.

A forma mais simples de análise de jogos não cooperativos é o de jogos não cooperativos estáticos. Neste caso, a estratégia dos jogadores não muda até o final do jogo. Este cenário pode modelar situações em que os jogadores não têm informações das estratégias dos outros jogadores. Estas são características de um jogo com informações incompletas.

DEFINIÇÃO 2: Um jogo é dito ser de informações completas se todos os jogadores têm comum conhecimento do jogo. Ou seja, se tem conhecimento dos outros jogadores, suas estratégias e payoffs. Caso este jogo não tenha todas as informações, é dito ser de informações incompletas.

Para os jogos estáticos, não existe uma diferença real entre estratégia e ação. Já para os jogos dinâmicos existe uma distinção entre estes dois. Quando se trata de uma coleta de informações e análise de resultados para, depois implementar uma ação, todo este procedimento é chamado de estratégia. A última então é um conjunto de processos que

englobam desde a constante coleta de informações até a análise das condições de implementação de determinadas ações e suas consequências. Para os jogos estáticos, os jogadores não analisam constantemente as informações de outros jogadores ou a consequência de suas ações. Assim, ação e estratégia se confundem.

Um outro conceito interessante de teoria dos jogos não cooperativos é o de jogos de soma zero. Estes jogos são definidos como jogos onde o *payoff* de ganho de um determinado jogador é igual ao da perda de outro jogador, que disputam por determinado bem ou serviço. Para um jogo definido por $\mathcal{U} = \{1,2\}$, ou seja, os jogadores 1 e 2, então $\sum_{i=1}^2 u_i(s) = 0$. Para este tipo de jogo, um jogador é maximizador e outro o minimizador. Um exemplo deste tipo de jogo em redes sem fio é na aplicação de modelagem de teoria jogos não cooperativos em segurança de redes. Neste cenário, o invasor tenta maximizar seus ganhos com o ataque e quem está sendo atacado tenta minimizar suas perdas.

Uma segunda forma de representar um jogo é na sua forma estratégica. Nesta forma, o jogo é representado pela sua forma matricial onde os jogadores e estratégias são representados por uma matriz. O jogo não cooperativo mais conhecido na forma estratégica é o do Dilema do Prisioneiro (HAN *et al.*, 2012).

Outro conceito de teoria dos jogos é o de estratégia dominante. Estas e as demais informações que se aprofundam na análise de cenários com jogos não cooperativos na forma estratégica não são abordados neste trabalho, de forma que não serão analisados neste tópico. Porém, pode ser observado em muitas fontes, como em (HAN *et al.*, 2012).

2.2.2. Jogo Cooperativo

Ao contrário da teoria dos jogos não cooperativos, onde os jogadores competem entre si por determinados bens ou serviços, a teoria dos jogos cooperativos provê ferramentas analíticas para o estudo do comportamento de jogadores quando eles cooperam entre si. Neste subtópico, serão estudados os principais conceitos de Teoria dos jogos cooperativos. Mais detalhes serão providos, na medida do necessário, nas subseções seguintes.

Os dois principais subtipos de jogos cooperativos são: jogos de barganha e de coalizão. O primeiro analisa as interações entre jogadores que tentam chegar a um meio termo que beneficie todos os jogadores de alguma forma. Já o segundo, analisa a formação e

estabilidade de uma coalizão. Nesta estrutura, os jogadores se organizam em grupos a fim de maximizar suas funções utilidade.

2.2.3. Jogo de Barganha

Em muitos cenários, um conjunto de jogadores têm um interesse em dividir um determinado bem ou serviço entre si. Para chegar a um meio termo na divisão destes recursos, é utilizada teoria dos jogos de barganha. Então, na situação de barganha, dois ou mais jogadores podem mutuamente se beneficiar ao chegarem a um acordo em relação à situação conflituosa.

Um conceito central na solução de jogos cooperativos de barganha é o NBS (Solução de barganha de Nash, do inglês *Nash Bargaining Solution*). A teoria da barganha é composta por dois elementos: processo da barganha e resultados da barganha. O primeiro é o processo de negociação entre os jogadores, ou seja, a barganha em si. O segundo é o resultado da barganha entre os jogadores. Para facilitar o entendimento, normalmente os dois são analisados de forma conjunta.

Considere o caso simplificado de dois jogadores, tentando chegar a um acordo em um espaço χ . Cada jogador tem uma função utilidade u_i no espaço $\chi \cup \{D\}$, onde D é o resultado se nenhum dos jogadores chegar a um acordo. Para um espaço $\mathcal{S}$ de todas as funções utilidade dos jogadores, dado por (2-1).

$$\mathcal{S} = \{(u_1(x_1), u_2(x_2)) \mid x = (x_1, x_2) \in \chi\} \quad (2-1)$$

Também é definido o ponto de desacordo $d = (d_1, d_2)$, com $d_1 = u_1(D)$ e $d_2 = u_2(D)$. Então, um problema de barganha é definido pela dupla $(\mathcal{S}, d)$ onde $\mathcal{S} \subset \mathbb{R}^2$ e $d \in \mathcal{S}$ dado que:

- $\mathcal{S}$ é um conjunto convexo e compacto;
- Existem alguns valores de $s \in \mathcal{S}$ tais que $s_1 > d_1$ e $s_2 > d_2$

Notar que a notação utilizada para jogos de barganha difere da notação utilizada para teoria dos jogos não cooperativos. Esta diferenciação é proposital, deixando clara a diferença entre as duas abordagens.

Nash enuncia quatro axiomas: (i) Eficiência de Pareto, (ii) Simetria, (iii) Invariância para função utilidade equivalente e (iv) Independência de irrelevância equivalente, que podem ser melhor analisados em (HAN *et al.*, 2012). Nash demonstra, no seguinte teorema, que existe somente uma solução que obedece aos quatro axiomas mencionados anteriormente.

TEOREMA 3: Existe apenas uma solução satisfazendo aos quatro axiomas, e esta solução é o par de função utilidade (s_1^*, s_2^*) que resolve o problema de otimização abaixo:

$$\max_{(s_1, s_2)} (s_1 - d_1)(s_2 - d_2), \text{ dado que } (s_1, s_2) \in \mathcal{S}, (s_1, s_2) > (d_1, d_2) \quad (2-2)$$

Este teorema pode ser expandido para um número N de jogadores com o produtório das N diferenças entre os valores da função utilidade dos pontos de discordância, para valores de função utilidade maiores que os pontos de discordância. É fácil notar que quanto maior a quantidade de jogadores, a dificuldade em resolver tal problema de otimização aumenta. Uma solução bastante popular é a de Kalai–Smorodinsky (PETERS, 2008), que será mostrada, no Capítulo 3, em uso em estudos realizados para aplicação em redes sem fio.

2.2.4. Jogo de Coalizão

Os jogos de coalizão são um tipo especial de jogo cooperativo e pode ser dividido em: (i) Jogo de Coalizão, (ii) Jogo de Formação de Coalizão e (iii) Jogo de Coalizão Gráfico.

Nos jogos cooperativos, existe a definição de coalizões. Em um conjunto de nós $\mathcal{U}$, alguns formarão uma coalizão S , que irá cooperar em razão de todos os elementos de S . Não confundir a notação de coalizão S com a das estratégias s de cada jogador.

DEFINIÇÃO 3: Uma coalizão de jogos cooperativos é definida por $(\mathcal{U}, v)$, em que $\mathcal{U}$ é o conjunto de jogadores e v é uma função característica que relaciona cada coalizão $L \subseteq \mathcal{U}$ a um valor real, que corresponde ao payoff de cada coalizão. Este payoff será dividido de alguma forma entre os jogadores se o jogo for TU (Transferable Unit). O conjunto de todas as coalizões de $\mathcal{U}$ é 2^V , onde V é o número de jogadores em $\mathcal{U}$ e com $v: 2^N \rightarrow \mathbb{R}$. Com as propriedades seguintes:

- $v(\emptyset) = 0$;
- *Super-aditiva: se L e Z são coalizões disjuntas ($L \cap Z = \emptyset$), então $v(L) + v(Z) \leq v(L \cup Z)$.*

Onde $\mathcal{U}$, é o conjunto de todos os jogadores, cuja cardinalidade é $V=|\mathcal{U}|$. A coalizão será representada por L , cuja cardinalidade é dada por $l=|L|$ jogadores. Note que existe uma diferença entre v e x_i . A primeira é a função de *payoff*, e a segunda é a função característica.

Em um jogo de coalizão, existe um conceito clássico. Este conceito é denominado *core* do jogo de coalizão, que será definido a seguir. É conveniente definir a notação $x(S) :=$

$\sum_{i \in S} x_i$ para a distribuição de *payoff* $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_V) \in \mathbb{R}^V$ e uma coalizão não vazia $S \subseteq \mathcal{U} = \{1, 2, \dots, i, \dots, V\}$.

DEFINIÇÃO 4: Em um jogo cooperativo de coalizão $(\mathcal{U}, v)$, em que $\mathcal{U}$ é o conjunto de todos os jogadores e v é o *payoff* da coalizão, o *core*, representado por $C(v)$ é o conjunto de distribuição de *payoffs* $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_V) \in \mathbb{R}^V$, s. t.

$$C(\mathcal{U}, v) = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^V \mid x(\mathcal{U}) = v(\mathcal{U}) \text{ and } x(L) \geq v(L), \forall \emptyset \neq L \subseteq \mathcal{U}\} \quad (2-3)$$

Com as propriedades:

- 1) *Eficiente* se $\sum_{i \in \mathcal{U}} x_i = v(\mathcal{U})$;
- 2) *Racional individualmente* se $x(i) \geq v(\{i\}), \forall i \in \mathcal{U}$;
- 3) *Racional na coalizão* se $x(L) \geq v(L)$, para todo $L \neq \emptyset$.

O jogo $(\mathcal{U}, v)$ é eficiente porque nenhum *payoff* é: $x(\mathcal{U}) = v(\mathcal{U})$. É individualmente racional porque nenhum jogador agindo de forma individual terá *payoff* superior ao da coalizão: $x(i) \geq v(\{i\})$, para todos os jogadores de $\mathcal{U}$. Notar que $v(\{i\})$ é uma notação utilizada para denotar uma coalizão com apenas um elemento i . No caso em que o *core* é vazio, a solução não é estável. Quando o jogo $(\mathcal{U}, v)$ obedece às três condições anteriormente apresentadas, é possível afirmar que o jogo é estável. Este conceito é equivalente ao do equilíbrio de Nash, estudado nos jogos não cooperativos. Em um jogo $(\mathcal{U}, v)$, é definida a imputação, $I(\mathbf{x})$, como $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^V$ se e somente $\mathbf{x}$ é eficiente e individualmente racional. Se $I(\mathbf{x})$ é não vazio e racional na coalizão, tem-se o *core* do jogo, e consequentemente, a coalizão é estável.

2.3. Modelagem Matemática das Principais Métricas

A métrica principal estudada é a razão sinal ruído interferência (SINR), representada em (2-4). O objetivo é mostrar a razão entre a potência do sinal recebido pelo nó $i \in \mathcal{U}$, e a soma de todas outras fontes de interferência e ruído, considerando a fonte de ruído térmico δ . Um dos aspectos da SINR é mensurar o quanto um sinal pode ser afetado pela transmissão de outros nós vizinhos a outros destinos. Tudo isto depende da potência de transmissão de cada nó i da rede, p_i , das antenas utilizadas e outros aspectos (WEHRLE; GÜNES; GROSS, 2010).

$$\gamma_i(\mathbf{p}) = \frac{s_i}{I_i + \delta} \quad (2-4)$$

Em que s_i é o sinal de interesse de recepção do veículo i , I_i é a interferência que pode ser detectada pelo veículo i e δ o ruído térmico. Como o SINR também será função das potências de transmissão de outros nós da rede, a SINR será função do vetor $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_V)$.

A interferência, representada pelo denominador de (2-4), é a consequência natural da radiação eletromagnética. Um exemplo de interferência em redes celulares é a interferência de co-canal. Esta interferência se dá quando dois transmissores operam na mesma frequência. Existe uma variante da interferência de co-canal que é baseada em dois ou mais transmissores em frequências muito próximas. Os transmissores causam interferência significativa nos receptores.

Em canais de redes sem fio, o ganho varia com o tempo de uma forma não determinística. Para simplificar a abordagem, o ganho é tido como constante no tempo para todos os veículos $i \in \mathcal{U}$. O ganho $G_{i,j}$ pode ser modelado como:

$$G_{i,j} = a_j \exp\left(-\frac{j2\pi d_{i,j}}{\lambda}\right) \quad (2-5)$$

Onde a_j é o ganho do transmissor, $d_{i,j}$ é a distância entre dois nós i e j da rede. Por fim, λ é o comprimento de onda do equipamento de rádio. É importante notar que com o aumento da distância entre os nós, obtém-se um menor ganho. Com o aumento do comprimento de onda, obtém-se um menor ganho (WEHRLE; GÜNES; GROSS, 2010).

Alguns aspectos como *fading* e sombreamento são considerados em alguns trabalhos. Estes são normalmente formulados com modelagens estocásticas na frequência e no tempo. Outro ponto é o de modelagem por canais MIMO (WEHRLE; GÜNES; GROSS, 2010).

Analisando a razão SINR, é possível estudar a taxa de transmissão T_i de cada nó em (2-6).

$$T_i = B \ln(1 + \gamma_i) \quad (2-6)$$

Em (2-6) é representada a máxima capacidade de canal, definida por Shannon, para cada veículo $i \in \mathcal{U}$. Já γ_i é a SINR para cada veículo de $\mathcal{U}$ e B é a largura de banda.

2.4. Modelagem Matemática Utilizando Teoria dos Jogos

2.4.1. Jogos Não Cooperativos

Neste subtópico, é considerado um cenário que pode ser modelado com Teoria dos Jogos não cooperativos entre os V jogadores. O custo c_i é definido como a potência de transmissão p_i de cada veículo. Será estudada a existência e unicidade do Equilíbrio de Nash, maximizando a função utilidade de (2-7) e (2-8).

$$U_i(\mathbf{p}, \boldsymbol{\lambda}) = \alpha_i T_i - \lambda_i c_i \quad (2-7)$$

$$U_i(\mathbf{p}, \boldsymbol{\lambda}) = \alpha_i \ln(1 + \gamma_i) - \lambda_i c_i \quad (2-8)$$

Para chegar a esta função utilidade, foi levada em consideração a diferença entre a taxa de transmissão dos nós, $\alpha_i T_i$, onde T_i é a máxima capacidade do canal, segundo Shannon e α_i é um fator reservado a cada nó da rede. Em (2-7) a função utilidade mostrada em (2-6) é complementada com a formulação para T_i . Já o fator $-\lambda_i c_i$ representa o custo que os nós da rede têm para transmitir, com λ_i sendo um fator reservado a cada nó da rede.

Considerando que $\mathcal{G}$ é um jogo cujos nós $i \in \mathcal{U}$ têm como parâmetro a potência de transmissão P_i cujo vetor de potências de transmissão é $\mathbf{p} = p_1 \times p_2 \times \dots \times p_i \times \dots \times p_V$. Também é assumido que $\mathcal{G}$ é um jogo repetitivo com $T < \infty$ e de informações perfeitas. É suposto que para as decisões do algoritmo não cooperativo, um veículo i tenha conhecimento da potência de transmissão de outros veículos $-i$. Este processo então é repetido durante T períodos, até chegar em um suposto equilíbrio, que será estudado e provado. A função utilidade em um instante T , $u_i(p_i)_T$, é comparada com o valor máximo armazenado da função utilidade para aquele veículo, armazenado em memória. Esta comparação só será realizada se a potência de transmissão estiver no intervalo $1 \leq p_i \leq p_{m\acute{a}x}$, em mW .

Considerando $U_i(\mathbf{p}, \boldsymbol{\lambda})$ a função utilidade de todo veículo $i \in \mathcal{U}$, e matematicamente representado por (2-8). Onde $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_V)$ e $\boldsymbol{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_V)$ são parâmetros que representam a potência de transmissão e conversão do preço pago por potência utilizada.

O parâmetro α_i é utilizado como taxa entre taxa de transmissão e função utilidade. Ambos os parâmetros são considerados fixos para todo $i \in \mathcal{U}$. A escolha destes valores foi feita empiricamente com o objetivo de maximizar os valores da função utilidade. Por fim, c_i é considerado como a potência de transmissão do veículo p_i , em mW.

É assumido que todos os veículos da rede têm informações completas sobre os outros veículos. Então, todos os nós da rede têm conhecimento de que potência de transmissão os outros veículos da rede, em sua área de alcance, estarão utilizando. Assim, o custo c dos outros veículos é sabido.

O jogo $\mathcal{G}$ é classificado como de soma não nula, porque o resultado da função utilidade não é simétrica para os veículos em $\mathcal{U}$. Para uma modelagem utilizando teoria dos jogos não cooperativas, é imprescindível a análise de equilíbrio de Nash, definido a seguir.

DEFINIÇÃO 5: O perfil de estratégia $\mathbf{p}^ = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_i^* \dots, p_V^*)$ é dito ser Equilíbrio de Nash se nenhum jogador tiver estímulo para aumentar seu payoff.*

$$U_i(p_i^*, p_{-i}^*) \geq U_i(p_i', p_{-i}^*) \quad (2-9)$$

Para isto, é necessário maximizar a função utilidade, mostrada em (2-10).

$$\max_{p_i \in \mathcal{U}} u_i(p)_T = \max_{p_i, p_{-i}} u_i(p_i, p_{-i})_T, \quad \forall i \quad (2-10)$$

$$\text{dado que } 1 \leq p_i \leq p_i^{\max} \text{ mW}$$

Então, nenhum jogador teria estímulo para, unilateralmente, desviar para uma nova estratégia, assumindo que outros jogadores também não tenham trocado de estratégia.

DEFINIÇÃO 6: Um jogo não cooperativo pode admitir zero ou múltiplos equilíbrios de Nash.

Se existe pelo menos um equilíbrio de Nash no jogo $\mathcal{G}$, este não necessariamente é o melhor resultado em termos de payoff. Por esta razão, este trabalho analisa a maximização da função utilidade.

TEOREMA 1: Cada jogo finito $G = (N; S_1, S_2, \dots, S_V; u_1, u_2, \dots, u_V)$ tem um equilíbrio de Nash.

Então, o jogo $\mathcal{G}$ tem, pelo menos, um equilíbrio de Nash.

TEOREMA 2: O equilíbrio de Nash p^ do jogo $\mathcal{G}$ é dado por (2-11)*

$$p_i = \frac{\gamma_i(p_i)}{1 + \gamma_i(p_i)} \frac{\alpha_i}{\lambda_i} \quad \forall i \in \mathcal{U} \quad (2-11)$$

Para obter este resultado, foi calculado o máximo valor da função utilidade $U_i(p_i)$ em função da sua potência de transmissão p_i , como mostrado em (2-12).

$$\frac{\partial U_i(\mathbf{p}, \lambda)}{\partial p_i} = 0 \quad \forall i \in \mathcal{U} \quad (2-12)$$

Considerando valores muito maiores ou menores que 1, o equilíbrio de Nash se dá para (2-13).

$$p_i = \frac{\alpha_i}{\lambda_i} \quad (2-13)$$

Considerando que $\alpha_i = 1$, o equilíbrio de Nash se dá para $p_i = \frac{1}{\lambda_i}$.

2.4.2. Jogos Cooperativos

Dado um conjunto de veículos $\mathcal{U}$, considerando comunicação V2V, e veículos $v_1, v_2, v_i, \dots, v_{|\mathcal{U}|}$, é proposta uma metodologia utilizando teoria dos jogos cooperativos. Dado que os veículos tentam cooperar com uma rede como um todo, é modelado um cenário do tipo Usuário Vs. Rede. Neste cenário, não há buscas individuais por maximizar seu *payoff*, caso da modelagem por teoria dos jogos não cooperativos.

Uma das abordagens de teoria dos jogos cooperativos é a teoria dos jogos de barganha. Neste cenário, um jogador tenta barganhar um determinado bem com uma rede ou outros jogadores. No cenário em estudo, seria uma barganha entre um veículo e a rede. Como a ideia seria a de criar coalizões onde os veículos cooperariam na potência de transmissão, não é utilizada a modelagem com teoria dos jogos de barganha, mas a teoria dos jogos de coalizão.

Em uma coalizão, os veículos podem se comunicar com outros veículos ou com a infraestrutura de comunicação (RSU). Os veículos, na coalizão, que se comunicam com as RSUs são denominados CH (*Cluster Heads*). Estes nós da rede são responsáveis por repassar pacotes de outros nós, que não têm uma RSU em sua área de cobertura, até a infraestrutura de comunicação. A comunicação entre veículos e CH pode ser considerada como comunicação V2V. Já a comunicação entre CH e infraestrutura de comunicação, pode ser considerada como V2I. As comunicações V2V e V2I são considerados em diferentes espectros, por utilizarem tecnologias distintas. O primeiro utiliza IEEE 802.11p e o segundo pode se utilizar de comunicação móvel. Podem ser considerados dois tipos de cenários: o primeiro considera que as coalizões não interferem mutuamente e o segundo é um cenário considerando esta interferência mútua. Neste estudo não se considera a interferência intercoalizão como algo significativo.

DEFINIÇÃO 7: Neste jogo, os veículos não só se comunicarão diretamente com os as BS (Base Stations). Também se considerará a comunicação entre os veículos e entre veículos e CH. Para que haja uma cooperação entre os elementos da coalizão, é necessário que haja estímulo para esta cooperação.

Considerando o conjunto $\mathcal{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_g, \dots, g_G\}$ de todos os veículos *gateway*, ou seja, CH, com cardinalidade $G = |\mathcal{G}|$. Estes são os veículos que se comunicam tanto com outros veículos quanto com a infraestrutura de operadora, por exemplo. Já o conjunto de veículos $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_v, \dots, v_V\}$, com cardinalidade V , representa todos os veículos que se comunicam entre si, porém não são CH.

A Equação (2-4) calcula a SINR e é utilizada para calcular a relação entre o sinal de um determinado veículo em função dos sinais que interferem nas suas proximidades. Assim, esta métrica será aplicada aos elementos da comunicação V2V e V2I. Para o veículo *gateway* (CH), a taxa de transmissão é dada em (2-14), quando se comunicando com uma determinada BS.

$$R_g = B \ln \left(1 + \frac{P_g G_{g,b}}{\sigma^2 + \sum_{v \in \mathcal{V}} P_v G_{vb}} \right) \quad (2-14)$$

Onde b representa a BS. Os elementos da coalizão enviam dados até um CH, que se comunica com a BS, são então *gateways* e concentradores. Onde B é a taxa de transmissão do nó, os termos P_x são a potência de transmissão de um nó x da rede. $G_{x,y}$ é a perda de potência de

sinal do nó x ao y . Finalmente, σ^2 é o ruído térmico medido. Já os veículos que se comunicam somente por V2V, a taxa de transmissão R_v é dada em (2-15).

$$R_v = B * \ln \left(1 + \frac{P_v G_{vv}}{\sigma^2 + \sum_{g \in \mathcal{G}} P_g G_{gv} + \sum_{v' \in \mathcal{U} \setminus \{v\}} P_{v'} G_{v'v}} \right) \quad (2-15)$$

Na Equação (2-15), o denominador é composto pelo ruído térmico e interferência, nesta ordem. A interferência considerada é composta por dois fatores. O primeiro é o da interferência dos *gateways*, caso haja mais de um *gateway* em seu raio de alcance. A segunda é composta da interferência entre os veículos que se comunicam através de V2V.

Para analisar o cenário de taxa de transmissão como um todo, é necessário analisar ambas as comunicações: V2V e V2I. Então, é definido $\mathfrak{R}$, como a taxa de transmissão de todo o sistema, mostrado a seguir em (2-16).

$$\mathfrak{R} = \sum_{g \in \mathcal{G}} (R_g + \sum_{v \in \mathcal{U}} x_{g,v} R_v) \quad (2-16)$$

A Equação (2-16) depende da relação entre os veículos associados a cada um dos CH, através de: $x_{g,v}$, onde $v \in \mathcal{U}$ e $g \in \mathcal{G}$. Definindo $x_{g,v}$ por (2-17).

$$x_{g,v} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} x_{g,v} \in [0,1] \text{ para todo } v \in \mathcal{U}, g \in \mathcal{G} \\ \sum_{g \in \mathcal{G}} x_{g,v} \leq 1, \text{ para todo } v \in \mathcal{U} \end{cases} \quad (2-17)$$

Assumindo a existência de G dispositivos móveis que se comportam como CH e V veículos que trocam informações e não são CH. Assumindo também que $G < V$, cada coalizão irá eleger seu CH dentre os possíveis veículos em sua área de cobertura. Então, as coalizões serão formadas por G , dado por $\mathbb{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_G\}$, onde $F_x \cap F_{x'} = \emptyset$ para $x \neq x'$, e $\bigcup_{x=1}^V F_x = \mathcal{U}$.

Dado um CH por $g \in \mathcal{G}$ e V dispositivos móveis $v \in F_V$ onde $F_V \subseteq \mathcal{U}$ é uma coalizão de $\mathcal{U}$. Então, a taxa de transmissão da coalizão $\mathfrak{R}(F_V)$ é dada por (2-18).

$$\mathfrak{R}(F_V) = \sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{v \in F_V} x_{g,v} R_v \quad (2-18)$$

Como foi visto anteriormente, com o aumento do número de veículos, a interferência na coalizão irá aumentar. Então, sem estímulo contrário, também a coalizão será formada por poucos veículos e utilizando todos os CH da vizinhança. Como $G \ll V$, a consequência será a de coalizões disjuntas, com algumas coalizões sem CH para operar.

DEFINIÇÃO 8: Um jogo é cooperativo com propriedade TU quando o jogo $(\mathcal{U}, \mathfrak{R})$, onde $\mathcal{U}$ é o conjunto de todos os veículos e $\mathfrak{R}$ é a função na qual a coalizão $F_V \subseteq \mathcal{U}$ recebe um valor real $\mathfrak{R}(F_V)$.

Então, assumindo que $i \in F_V$, $\mathfrak{R}(F_V)$ é dado pela (2-19).

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_i(F_V) &= \frac{R_i \mathfrak{R}(F_V)}{R_g + \sum_{j \in F_V} R_j} \\ &= R_i \left(\frac{R_g + \sum_{v \in F_V} x_{g,v} R_v}{R_g + \sum_{j \in F_V} R_j} \right) \end{aligned} \quad (2-19)$$

Onde R_g e R_i são as taxas de transmissão do CH da coalizão e dos jogadores, ou veículos, respectivamente. Para simplificar, em (2-19), só são considerados cenários em que a coalizão apenas possui um CH. Se cada coalizão possuir mais de um CH, a representação seria dada pela Equação (2-20) .

$$\mathfrak{R}_i(F_V) = \frac{R_i \mathfrak{R}(F_V)}{\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{j \in F_V} R_j} \quad (2-20)$$

O jogo cooperativo pode ser classificado em dois tipos principais: Jogos de formação de coalizão e Jogos Canônicos. O primeiro é utilizado para analisar a dimensão ideal da coalizão, qual coalizão deve ser criada, como a estrutura da coalizão irá evoluir com o tempo. Estes jogos podem ser classificados em Jogo de Formação de Coalizão Estática e Dinâmica. No entanto, Jogos Canônicos são utilizados para estudar se a grande coalizão será ou não estável. Neste tipo de jogo, é assumido que sempre formando coalizões é melhor que se atuar só. Isto é, esta característica é baseada na propriedade super-aditividade, definida a seguir.

DEFINIÇÃO 10: Um jogo de coalizão com propriedade TU, obedece à propriedade super-aditiva se e somente se a Equação (2-21) for obedecida.

$$v(S_1 \cup S_2) \geq v(S_1) + v(S_2) \quad \forall S_1 \subset \mathcal{U}, S_2 \subset \mathcal{U}, s. t. S_1 \cap S_2 = \emptyset \quad (2-21)$$

Estabilidade

Para provar que um jogo de coalizão $(\mathcal{U}, v)$ TU é estável, é necessário que se prove que as propriedades de: racional individual, racional em grupo e racional em coalizão sejam obedecidos. Se uma das condições não for obedecida, o jogo não é estável, e o grupo de jogadores deve ter incentivos suficientes para deixar a coalizão. Nesta parte do texto só são consideradas coalizões com somente um CH.

Racional em Grupo

Também conhecido como eficiente, esta propriedade garante que a soma dos *payoffs* de cada jogador da coalizão F_d seja igual ao *payoff* da coalizão, como mostrado em (2-22).

$$\sum_{i \in F_d} x_i = v(\mathcal{U}) \quad (2-22)$$

Como é sabido, x_i é dado por $\mathfrak{R}_i(F_d)$. Em um primeiro momento, somente é estudado um cenário com um CH, então:

$$\sum_{i \in F_d} x_i = \sum_{i \in F_d} \mathfrak{R}_i(\mathcal{U}) = \sum_{i \in F_d} \frac{R_i \mathfrak{R}(\mathcal{U})}{R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \quad (2-23)$$

$$\sum_{i \in F_d} x_i = \mathfrak{R}(\mathcal{U}) \frac{\sum_{i \in F_d} R_i}{R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \quad (2-24)$$

Considerando que $R_g \ll \sum_{j \in F_d} R_j$, é possível provar que para o cenário de jogo cooperativo de coalizão canônica, com somente um CH:

$$\sum_{i \in F_d} x_i = \mathfrak{R}(F_d) = v(F_d) \quad (2-25)$$

Se for considerada uma coalizão F_d com um conjunto de CHs $\mathcal{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_g, \dots, g_G\}$ e uma coalizão definida como $(\mathcal{U}, F_d)$, é possível obter:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in F_d} x_i &= \sum_{i \in F_d} \mathfrak{R}_i(F_d) \\ &= \sum_{i \in F_d} \frac{R_i \mathfrak{R}(F_d)}{\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} = \mathfrak{R}(F_d) \frac{\sum_{i \in F_d} R_i}{\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \end{aligned} \quad (2-26)$$

É possível analisar, a partir da equação, acima que o jogo obedece à propriedade de racional em grupo se for possível garantir que:

$$\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g \ll \sum_{j \in F_d} R_j \quad (2-27)$$

Isto é garantido pelo conjunto de poucos CHs em uma rede com baixa taxa de transmissão ou uma rede com um número pouco maior de CHs, porém com uma taxa de transmissão ainda menor.

Individualmente Racional

Para provar que um jogo F_d tem todos os jogadores agindo de forma individualmente racional, em outras palavras, quer dizer que os jogadores têm a preferência de agir em prol do grupo em detrimento de agir de forma individual. É possível garantir isto através das condições mostradas a seguir.

$$x_i \geq v(\{i\}) \forall i \in F_d \quad (2-28)$$

Como é sabido:

$$x_i = \frac{R_i \Re(F_d)}{R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} = \frac{R_i}{R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \left[R_g + \sum_{k \in F_d} x_{g,k} R_k \right] \quad (2-29)$$

É possível notar que:

$$R_g + \sum_{j \in F_d} R_j \approx \left[R_g + \sum_{k \in F_d} x_{g,k} R_k \right] \quad (2-30)$$

Então, $x_i \approx R_i$.

Para garantir que esta propriedade seja obedecida, a condição descrita em (2-31) deve ser obedecida.

$$x_i \geq R_g + x_{g,i} R_i \quad (2-31)$$

Então:

$$x_i \geq \frac{R_g}{1 - x_{g,i}} \quad (2-32)$$

Com a equação acima, é possível supor que a taxa de transmissão de algum jogador i aumente exponencialmente e tenda a infinito com $x_{g,i}$ se aproximando do valor unitário. Se existir mais de um CH, a condição estabelecida no início da seção será descrita como em (2-33).

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{R_i \Re(F_d)}{\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \\ &= \frac{R_i}{\sum_{g \in \mathcal{G}} R_g + \sum_{j \in F_d} R_j} \left[\sum_{g \in \mathcal{G}} \left(R_g + \sum_{k \in F_d} x_{g,k} R_k \right) \right] \end{aligned} \quad (2-33)$$

Como:

$$v(\{i\}) = \Re(\{i\}) = \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{v \in F_d} x_{g,v} R_{(\{i\})} \quad (2-34)$$

Como é possível notar das equações mostradas acima, facilmente se nota que: $x_i \geq v(\{i\}) \forall i \in F_d$.

Racional na Coalizão

Para provar que os jogadores são racionais na coalizão, o *payoff* dos jogadores tem que ser maior que o da coalizão.

$$x(F_V) \geq v(F_V) \quad (2-35)$$

Supondo que haja uma coalizão F_V , a propriedade de racional individualmente pode ser generalizada e provar que o sistema é estável.

2.5. Ambientes de Simulação

Este subtópico trata dos arcabouços para a condução da simulação. Foi utilizado o Veins, arcabouço para simulação de VANETs.

O Veins é um arcabouço para simulação de VANETs. Ele é constituído de dois simuladores: OMNet ++ e SUMO. O primeiro é um simulador de redes de comunicação e o segundo um simulador de tráfego veicular. Ambos os simuladores rodam em conjunto, conectados por um *socket* TCP. O protocolo utilizado para esta comunicação foi padronizado como TraCI (*Traffic Control Interface*). Tráfego de veículos no SUMO reflete na movimentação de nós na simulação do OMNet++ (VEINS - Vehicles in Network Simulations, 2006).

Como o Veins apresenta o OMNet++ como simulador de comunicação, ele simula um veículo transmitindo e recebendo dados pela OBU (*Onboard Unit*). Assim, como é mostrado na Figura 2-2, um conjunto de parâmetros: (i) *delay*, (ii) *path loss*, (iii) *fading* e (iv)

interferência são simulados e recebidos na OBU de destino ou RSU. O ruído térmico será mantido fixo na simulação. Outros, como a taxa de transmissão, serão alterados com o decorrer do tempo, dependendo das condições da rede durante a simulação. Daí o controle de potência de transmissão proposto.

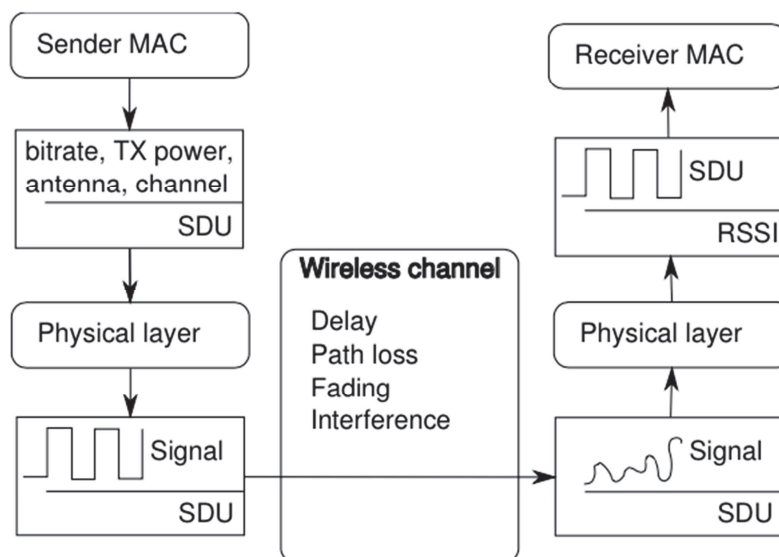


Figura 2-2: Esquema de simulação utilizando OMNet++ (KARL WESSEL, 2009).

O padrão IEEE 802.11p engloba a camada física (PHY) e uma subcamada MAC. Já o padrão IEEE 1609.4 engloba a subcamada de extensão do MAC, como pode ser visto na Figura 2-2. Não é objetivo deste trabalho o de estudar de forma aprofundada nenhum dos dois padrões IEEE: 802.11p e 1609.4.

2.5.1. Desenvolvimento do Cenário de Simulação

Para construir o ambiente de simulação, inicialmente foi considerada uma simulação padrão do OMNet++. Como esta simulação apresentava um cenário específico de uma cidade da Alemanha e o objetivo era analisar o algoritmo em um cenário genérico, foi desenvolvido um cenário de *grid*, como é explicado em detalhes na seção de Metodologia em mais detalhes.

Com o cenário desenvolvido, foi necessário simular colisões entre veículos. Para isto, o OMNet++ já possui configurações padrão. Neste mesmo arquivo são definidos alguns parâmetros como sensibilidade do equipamento de comunicação, ruído térmico simulado, posição da RSU, dimensões da área de simulação, dentre outros parâmetros.

2.5.2. Controle de Potência de Transmissão

Com o cenário definido, foi necessário iniciar os testes com controle de potência de transmissão. Para obter informações de potência de transmissão, foi utilizada a classe *Decider80211p*. Esta classe já havia sido implementada no OMNet++. Apenas foi modificada de modo a coletar algumas informações de SINR e possibilitar a implementação do algoritmo proposto.

Como esta classe tem acesso a este tipo de informação, é nela que também é gerado todo o *log* com informações das variáveis dependentes e independentes. São coletadas informações de potência de transmissão do rádio, potência que o transmissor que utilizou para enviar o *airframe* até o destino estudado, RSSI, SINR, instantes nos quais o *airframe* foi enviado e recebido, etc. As informações armazenadas no *log* têm a formatação mostrada na Figura 2-3.

```
2;100;635;617;487.602786;487.602787342144;0.00011100010009;dataRSUExampleScenari
o.node[103].nic.phy80211p.data;304.516;303.483;5722;3.031000e-09;30;30;3.05516e-
09;0;30;0
```

Figura 2-3: Linha do arquivo de *log*.

Para calcular o valor de SINR foi desenvolvido um método, *calcSinr*, para coleta da informação. Este método é responsável por coletar as informações de SINR da OBU do veículo em questão e do veículo que enviou (ou repetiu) o *airframe* recebido.

Também foi desenvolvido um método, *nonCoop*, para processamento de informação de SINR e potência de transmissão. Neste último método é calculado o *payoff* do módulo e o algoritmo proposto é aplicado.

Caso um conjunto de condições seja obedecido, a potência de transmissão de um determinado nó é reduzida em 1mW. Como as potências simuladas estavam entre 30 e 100mW, empiricamente foi escolhido o valor de 1mW. Para valores de decremento inferiores a 1mW, a redução na potência de transmissão não trazia resultados muito distintos da potência fixa. Já para valores superiores a 1mW, a potência de transmissão podia se tornar muito baixa. Tendo em mente um cenário de maiores distâncias entre os veículos, esta redução poderia causar uma redução na SINR, porque os valores de potência de sinal recebido seriam muito baixos.

Para que a nova potência de transmissão seja aplicada, é necessário enviar esta informação à OBU através da classe *Mac1609_4*, desenvolvido no OMNet++. Após reduzida a potência de transmissão, uma mensagem de *ack* é enviada à classe *Decider80211p*.

3. Levantamento do Estado da Arte

Este capítulo será um resumo sobre os artigos mais importantes em termos de teoria dos jogos dos últimos dez anos em suas respectivas áreas.

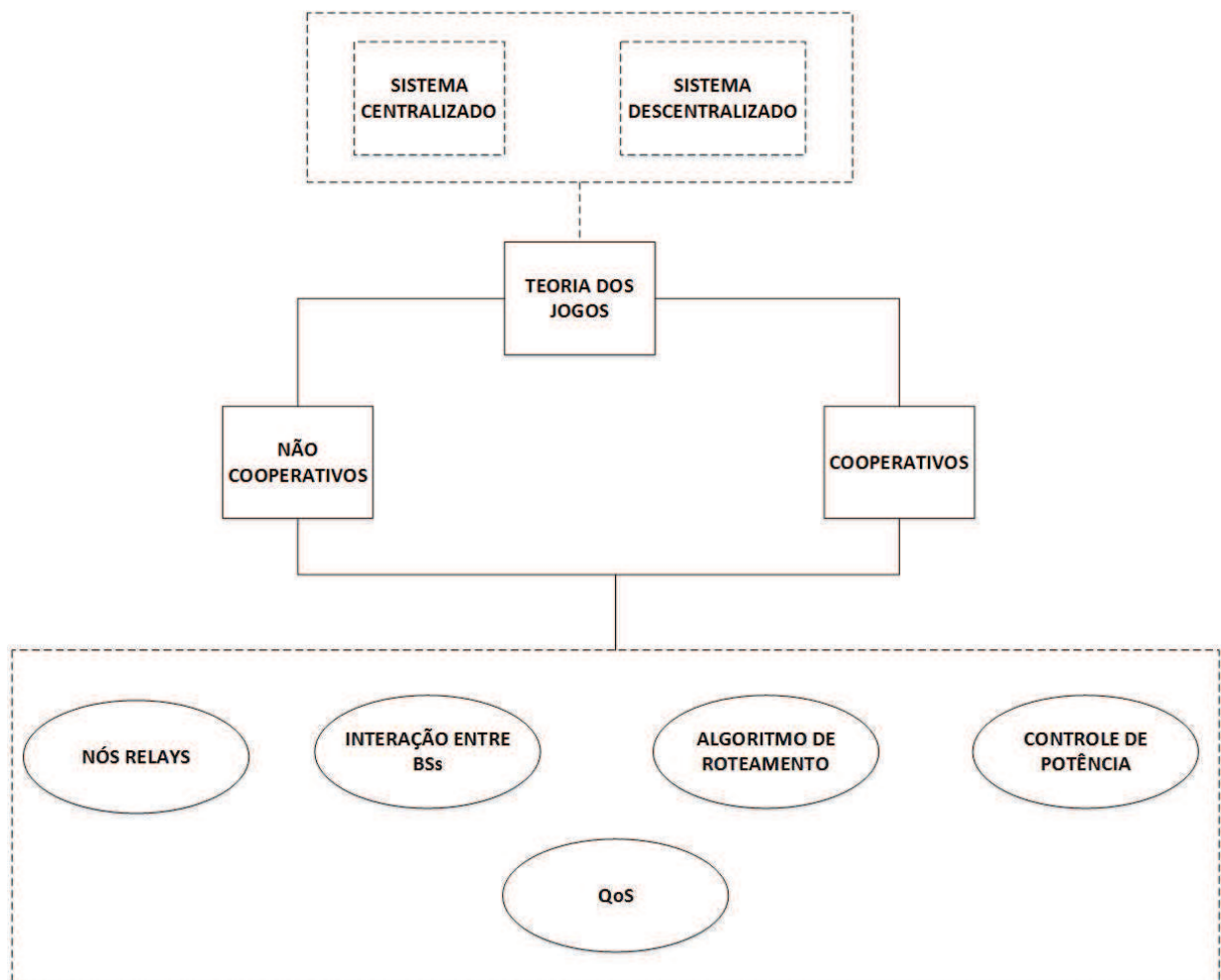


Figura 3-1: Exemplo de abordagens e cenários de uso.

As principais abordagens envolvendo teoria dos jogos são subdivididas em teoria dos jogos: cooperativo e não cooperativo, como pode ser visto na Figura 3-1. Quando utilizado teoria dos jogos cooperativos, duas metodologias são utilizadas: baseada em reputação e em preço. A primeira metodologia tem por filosofia a de isolar os nós que não cooperam. Ou seja, os nós que retransmitem mais informações, são classificados como cooperadores e seus

pacotes são repassados por outros nós. No caso de nós que não cooperam, seus pacotes não são repassados. Já no caso da metodologia baseada no preço, cada nó da rede tem associado a ele um preço pago para repassar pacotes de outros nós e o preço pago para toda a rede por repassar seus pacotes. Quando repassar pacotes de outros nós, ganha créditos para quando for necessário passar seus pacotes. Será mostrado que apesar da teoria dos jogos não cooperativa muitas vezes levar a potências de transmissão final máxima dos transmissores, muitas soluções são propostas utilizando esta metodologia.

Outro ponto importante se dá no uso de teoria dos jogos para modelar o cenário de controle de potência de transmissão. As metodologias também podem ser divididas em centralizadas ou distribuídas. A primeira tem uma entidade responsável por centralizar informações como a de crédito de cada jogador e fornecer esta informação, quando for necessário. As metodologias distribuídas não fornecem esta estrutura com elemento centralizado. As informações então são distribuídas entre os jogadores.

Para uma visão mais geral sobre teoria dos jogos aplicada a redes, o trabalho de (TRESTIAN; ORMOND; MUNTEAN, 2012) se torna bastante completo. Nesta dissertação, os trabalhos revisados foram divididos em categorias. Uma delas é a de interação entre os jogadores, sendo divididos em: i) Usuários vs. Usuários, ii) Redes vs. Usuários e iii) Rede vs. Rede. Além desta categoria, existe a subdivisão nas categorias de jogos cooperativos e não cooperativos, levando em consideração vários modelos de jogos como: jogos evolucionários, *auction games*, jogos de barganha, jogos repetidos (*repeated games*), jogos de *stackelberg*, dentre outros modelos de jogos cooperativos e não cooperativos

Tabela 3-1: Principais modelagens utilizando Teoria dos Jogos.

Teoria dos Jogos Não Cooperativos	Teoria dos Jogos Cooperativos
	Centralizado
	Descentralizados
	Baseado na Reputação
	Baseado no Preço

O controle de potência de transmissão se mostra eficiente na redução da interferência e aumento da capacidade na transmissão de dados em redes sem fio (DOUROS; POLYZOS,

2011). Neste trabalho, são mostrados exemplos de aplicação do controle de potência de transmissão. Apesar do foco do trabalho ser a revisão de trabalhos realizados em VANETs, muitos resultados referentes à MANETs e redes celulares são mostrados.

O principal método utilizado para validação teórica tem sido o da simulação. Para realizar simulações de VANETs, os principais arcabouços utilizados têm sido o OMNET++, Veins e ns-2. Quando se quer somente validar algum procedimento da comunicação de dados, sem levar em consideração informações de tráfego dos veículos, se utiliza o OMNET++ ou ns-2. Porém, quando se tem por objetivo uma análise mais realista, com deslocamento veicular, se utiliza o Veins, que nada mais é que um arcabouço que combina o OMNET++ com o SUMO.

Nas últimas décadas, redes de dispositivos móveis cresceram por permitir que qualquer tipo de dispositivo móvel se comunique. Diante da sua grande aceitação pela comunidade científica, diversos padrões foram desenvolvidos. As VANETs têm atraído pesquisas em diversas áreas como em análise de fluxo de veículos, capacidade do tráfego em vias, disseminação de informações de tráfego como acidentes, troca de dados entre veículos e muitas outras aplicações (YUYI LI, 2012).

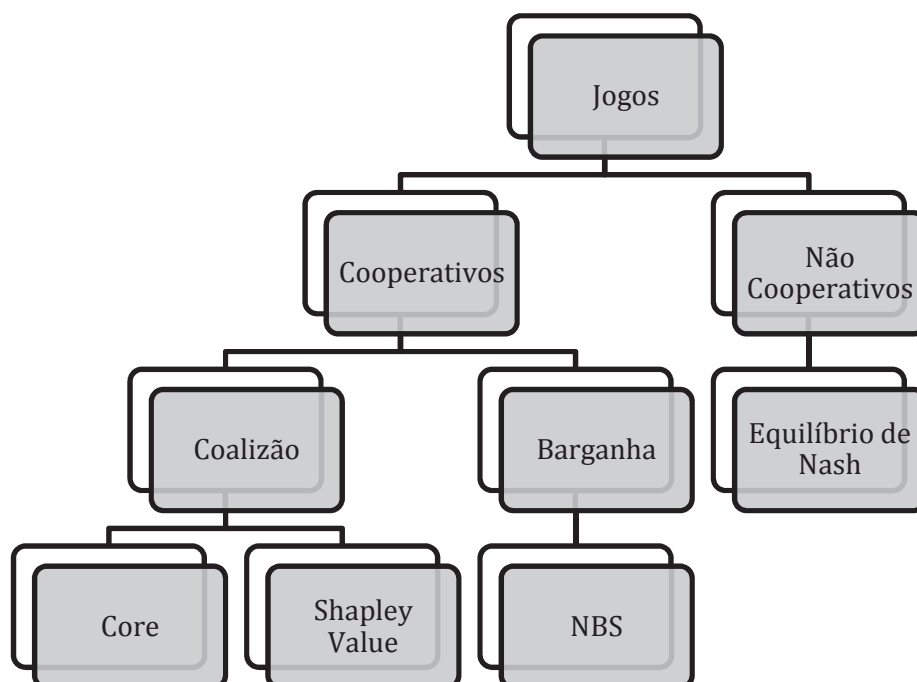


Figura 3-2: Principais modelagens utilizando Teoria dos Jogos.

O maior desafio para o pleno funcionamento de uma VANET se encontra em sua característica de ser altamente dinâmica. Esta característica causa curtos contatos entre nós da rede, mudanças bruscas nas tabelas de roteamento, mudanças rápidas nas condições da rede, vulnerabilidades de segurança, dentre outros.

Para que a modelagem de teoria dos jogos seja proposta, o primeiro passo é definir para qual aplicação em comunicação ela deve ser aplicada. Por exemplo, para uma aplicação de *streaming*, a metodologia proposta deve considerar baixar todos os dados quando for possível (NIYATO; HOSSAIN, 2010). Para uma aplicação que envolve envio de mensagens de alerta de trânsito ou acidentes, o envio de uma mensagem curta com QoS deve ser considerado para uma RSU na direção onde o veículo está se deslocando. Então, para o segundo cenário, uma cooperação entre RSUs seria uma abordagem interessante (SAAD *et al.*, 2011).

Depois de definida a aplicação, foi escolhida qual abordagem de teoria dos jogos deveria ser utilizada. Neste capítulo são mostrados os principais trabalhos realizados em cada uma das modelagens da Figura 3-2. A princípio foram analisadas aplicações utilizando teoria dos jogos cooperativos. Esta última possui muita literatura para referência, porém apresenta uma complexidade de implementação no Veins que tornou a análise por simulação proibitiva. Assim, o trabalho foi realizado utilizando teoria dos jogos não cooperativos como arcabouço.

Nos tópicos a seguir, serão mostrados, nesta ordem, todos os principais trabalhos envolvendo teoria dos jogos: cooperativos, não cooperativos, evolucionários, e PGG (*Public Good Games*).

3.1. Aplicações de Teoria dos Jogos Não cooperativos

Femtocell (FUJITSU, 2013) é um conceito de células de comunicação de BS. Elas tipicamente são diferentes das BS tradicionais pelo seu reduzido alcance, 10m em média. Em (HAIDER *et al.*, 2015) é proposto o uso de *Mobile Femtocell (MFemtocell)* para VANETs como trens, ônibus, táxis ou veículos particulares. Um dos maiores desafios para a aplicação das *femtocells* e *mfemtocells* está na interferência mútua entre as mesmas. Com o intuito de resolver o problema da interferência entre células, (HA; LE, 2014) propõe algoritmos de controle de potência distribuído e associação de distribuição de BS que possam manter a SINR em um nível determinado como bom. Um usuário terá a sua disposição células de vários tipos como: macrocélulas, microcélulas, picocélulas e femtocélulas. O algoritmo proposto ajuda na escolha de qual célula se conectar, baseado na qualidade do canal de comunicação.

O algoritmo de escolha de BS é baseado na escolha da BS com menor interferência. Nenhum veículo estará conectado, simultaneamente, a duas BS. Porém, poderá mudar de BS conectada. Além da escolha da BS, o algoritmo é responsável pela escolha da melhor potência de transmissão.

Para aplicar teoria dos jogos, foi proposta uma formulação de teoria dos jogos não cooperativa. A função utilidade é a variável dependente das variáveis independentes: potência de transmissão e interferência. Como se trata de uma modelagem utilizando jogos não cooperativos, cada veículo irá ajudar a potência de transmissão para maximizar seu *payoff*.

Como alternativa, é analisada uma outra proposição, onde os algoritmos de controle de potência de escolha da BS são independentes. Os cenários envolvem transferências de voz e dados. São estudados a SINR e a taxa de usuários suportados na rede. Além disso, também é estudada a eficiência espectral média em função da SINR e em função do número de usuários. Como era de se esperar, o algoritmo não cooperativo leva as potências de transmissão aos valores máximos do rádio.

O cenário de múltiplos nós de origem e destino, em uma rede sem fio, foi modelado utilizando teoria dos jogos não cooperativos repetitivos. Uma abordagem que visa otimizar a taxa de entrega de pacotes e SINR. Em (SMITH *et al.*, 2014) são utilizados jogos com informações incompletas para implementações baseadas em IEEE 802.11.

Este estudo aplica teoria dos jogos não cooperativos a redes sem fio. O objetivo de cada nó da rede será maximizar sua função utilidade através da análise da interferência mais ruído térmico. Tudo isto sem ter conhecimento da ação dos outros jogadores $P_{-i}(\tau)$.

$$U_i(P_i)_\tau = \max_{P_i^{max} mW} U_i(P_i, P_{-i})_\tau \quad \text{para todo } i \in N, \text{ sabendo } 1 \leq P_i \leq \quad (3-1)$$

Não foi considerado nenhum tipo de comportamento malicioso. Neste estudo todos os nós são fixos. Não podendo assim ser considerado o estudo como aplicação de VANETs. Porém é interessante notar o resultado por apresentar índices de entrega de pacote superiores a 90% utilizando uma abordagem de teoria dos jogos cooperativos, onde cada nó tem por objetivo maximizar sua própria função utilidade.

Em (HAN; LIU, 2005) é proposto um algoritmo de controle de potência de transmissão e *throughput* não cooperativo para comunicações sem fio. A metodologia proposta é centralizada, possui limitações de valores de SINR e visa maximizar a taxa de transmissão dos veículos que estão na rede. Algumas das limitações é não considerar um cenário realista com obstáculos. Não entra em detalhes sobre a simulação, nem detalhes dos algoritmos propostos. Não faz análise do impacto de se ter um método centralizado para controle da potência de *throughput*.

3.2. Aplicação de Teoria dos Jogos Cooperativos

3.2.1. Controle de Potência de Transmissão e Teoria dos Jogos Cooperativos

Abordagens foram desenvolvidas visando o desenvolvimento de mecanismos de gerenciamento cooperativo de potência de transmissão de FBS (*Femtocell Base Station*) (PANTISANO *et al.*, 2013). Neste cenário, como o alcance da transmissão é mais curto que em tecnologias como LTE-A e WiMax, a interferência é um problema mais significativo. Então, um algoritmo para gerenciar a potência de transmissão é um desafio técnico estratégico. Neste artigo foi considerado que não somente a cooperação entre as coalizões é decisiva na redução da interferência. Mas também a interferência entre os elementos da coalizão e outros elementos fora da coalizão deveriam ser considerados e estudados. A função utilidade foi analisada em função do número de FBS. Também o tamanho da coalizão e o número médio de coalizões foi analisado. Como foi demonstrado, o número de elementos das coalizões foi muito maior nos cenários cooperativos que nos não cooperativos.

Em (KHAYATIAN; SAADAT; ABOUEI, 2013) foi proposto um método que utiliza da teoria dos jogos no controle da potência de transmissão associado ao roteamento cooperativo das informações. Deixa-se de trabalhar isoladamente com roteamento, sem a análise da camada física. Os nós são divididos em três categorias: origem, *relays* e destino. Os últimos são considerados as estações rádio base. O sistema de controle cooperativo é do tipo descentralizado. A transmissão da origem ao destino é feita utilizando dois *slots*. O primeiro é um *broadcast* da origem para todos os nós em sua área de alcance. O segundo é a transmissão do nó origem e *relay* para as BS (*Base Station*). A comunicação é feita em três etapas: 1) formação da coalizão, 2) alocação cooperativa de potência e 3) transmissão de dados.

É definida uma função característica das coalizões. Esta função é proporcional à taxa de transmissão e decai com o aumento da potência de transmissão de cada *relay* e do nó de origem. Na primeira etapa de comunicação, formação da coalizão, os nós de origem analisam os possíveis *relays* em sua área de alcance e analisam seus canais, em busca do que tiver melhores condições.

Como cada coalizão possui interesse em maximizar sua função utilidade, um comportamento não cooperativo iria criar ainda mais interferência. Isto seria possível graças ao aumento de todas as potências de transmissão das coalizões na tentativa de eliminar o

efeito da interferência de outras coalizões. Para mitigar este problema, é proposta uma proposição cooperativa.

Para a simulação foram utilizados: *path loss* igual a 3, potência de transmissão máxima de 2W, área de interesse de 2km x 2km. São realizadas comparações entre algoritmo centralizado e não centralizado. Em função da relação SINR, os resultados do algoritmo centralizado são superiores aos distribuído. Foi definida uma métrica, denominada eficiência de potência. Esta métrica foi definida por (3-2) e (3-3).

$$Eficiência_{distribuída} = \frac{P_{NPGP} - P_{dist}}{P_{NPGP}} \quad (3-2)$$

$$Eficiência_{centralizada} = \frac{P_{NPGP} - P_{cent}}{P_{NPGP}} \quad (3-3)$$

Onde P_{dist} , P_{cent} e P_{NPGP} são, respectivamente, no algoritmo distribuído, centralizado e no método NPGP (*Non Cooperative Power control Game Pricing*). O trabalho poderia considerar em sua análise um protocolo de roteamento ou mais de um deles, mostrando que a abordagem proposta por ele tem bons resultados utilizando tais protocolos de roteamento.

3.2.2. VANETs, BitTorrent e Teoria dos Jogos Cooperativos

WAVE (*Wireless Access Vehicle Environment*) é o estado da arte para a comunicação veicular em um sistema de transporte inteligente (ITS - *Intelligent Transport System*). Os desafios são o fato do ambiente de comunicação variar muito rapidamente e a comunicação entre os nós poder ser muito curta (SHRESTHA *et al.*, 2008). Ou seja, é possível que arquivos muito grandes não sejam completamente transmitidos para seu destino em tempo hábil. Isto se deveria aos veículos passarem pouco tempo se comunicando com determinados vizinhos. Pelo fato da arquitetura ser extremamente dinâmica, isto poderia prejudicar a transferência de informações muito grandes. Para isto, o estudo utiliza da ideia por trás do BitTorrent, para propor uma forma de trocar as informações entre os veículos. Para isto seria utilizado teoria dos jogos de barganha entre os jogadores. A RSU seria responsável por transmitir pedaços da informação para cada veículo. Assim, seria possível transmitir as informações sem sobrecarregar nenhum dos nós.

O problema é dividido em duas principais frentes: a primeira delas é como a RSU (*Roadside Unit*) deve distribuir as diferentes partes do dado para os veículos no seu alcance

somente sabendo do perfil do tráfego e tempo médio de transmissão dos dados para os OBUs (*Onboard Unit*) dos veículos em seu alcance. O segundo problema se deve à comunicação V2V. Se deve à otimização da comunicação entre OBU e RSU.

É considerado que L pacotes de comprimento M devem ser distribuídos. Como é de se esperar, aos L pacotes dificilmente serão transmitidos pela RSUs às OBUs. Assim, as últimas irão enviar aleatoriamente pacotes para as OBUs, que irão transmitir os pacotes faltantes aos outros veículos através de V2V.

São estudados como os OBUs trocam as informações e como as RSUs distribuem os dados entre as OBUs. No primeiro caso, é definida a função utilidade de cada OBU. Ela é proporcional ao peso que se dá aos pacotes que esta OBU armazena. Este peso se dá devido ao tipo de dados que esta OBU armazena. Dados de informações de trânsito podem ser marcadas como com maior peso que informações de multimídia. Há também uma barganha que visa maximizar o ganho mútuo entre os OBUs em discussão. A RSU transmite pacotes para as OBUs maximizando sua função utilidade, mudando a função distribuição de probabilidade para os L pacotes que deve transmitir. Dependendo do perfil do tráfego, a RSU deve primeiro enviar as informações de maior necessidade, como informações de trânsito, como acidentes, para depois enviar informações de multimídia, por exemplo.

Para o problema de barganha entre os OBUs são propostos três critérios: NBS (*Nash Bargaining Solution*), KSS (*Kalai-Smorodinsky Solution*) e EA (*Egalitarian Solution*). Após a fase de descoberta de rede, inicia-se uma fase de negociação. Após esta fase, os vizinhos têm todas as informações de quais pacotes seu vizinho tem a oferecer e qual seu peso. Após a fase de negociação, inicia-se um algoritmo de barganha. O algoritmo é executado até chegar a alguma dos três critérios acima.

Para validar as informações, foram realizadas simulações. As OBUs foram simuladas transmitindo a uma potência de 400mW a uma distância máxima de 80m. O MAC PDU é considerado de 2000 bytes. A velocidade média dos veículos simulados foi de 80-120kmph. O total de informações trocadas foi de 16MB. Há três tipos de dados: alta, média e baixa prioridade. Os primeiros são dados por avisos de trânsito ou acidentes. Os segundos por informações e os últimos por propagandas e avisos. São avaliados as taxas de transmissão entre veículos que se deslocam em pares, a velocidades de 70 e 100kmph. Outra variável independente analisada é a densidade de veículos nas ruas. Com uma maior densidade de

veículos foi possível transferir uma maior quantidade de dados, como era esperado. Também o veículo com dados de maior prioridade obteve uma maior transferência de dados devida à sua função utilidade ter valores maiores, devido aos dados de maior prioridade.

Foi observado que a transmissão entre veículos localizados entre vias com mesmo perfil de tráfego, a solução de Nash tradicional consegue modelar de uma forma bastante fiel. Porém, se as condições do tráfego forem muito distintas, a solução de Nash tradicional não modela de uma forma tão fiel quanto os outros dois métodos: KSS e EA.

O cenário de estudo deste trabalho é diferente do cenário modelado neste trabalho. No primeiro, a simulação compreende veículos que se deslocam a velocidades que variam entre 80 e 120 kmph. Também é considerada uma abordagem utilizando teoria dos jogos cooperativos. No último os veículos estão concentrados, simulando cenários de alta concentração veicular e é utilizado teoria dos jogos não cooperativos em sua modelagem.

3.2.3. Roteamento de Pacotes e Jogos Cooperativos

Em (TINGTING CHEN, 2011) os autores estudaram uma forma de estimular que nós em uma VANET cooperem, transmitindo os pacotes para o destinatário, obedecendo à sua tabela de roteamento. Os principais mecanismos de recompensa para roteamento sem fio são: 1) Sistemas de reputação; 2) Sistema de crédito. É argumentado que o primeiro sistema de recompensa não é adequado suficiente para aplicações de VANETs. A justificativa se dá pelo fato da dinâmica das VANETs. A comunicação entre dois veículos pode se dar somente uma vez durante um deslocamento. Neste estudo só existe um protocolo de roteamento. Não são estudados cenários com mais de um protocolo de roteamento visando a simplificação do cenário. A ideia é modelar a transferência de mensagens da origem ao destino como um jogo de coalizão de encaminhamento de informações. Para isto, são definidas funções de *payoff* para cada um dos nós integrantes da coalizão. Estas funções são projetadas levando em consideração a formação de um jogo que seja cooperativo e estável, estando este jogo no *core*.

O estudo é realizado dividido em: formação do jogo de coalizão de encaminhamento, incentivo de encaminhamento de informação e prevenção de atividades fraudulentas. Foram estabelecidos os modelos de jogo de coalizão de encaminhamento. Para isto foi definida uma forma de avaliar cada coalizão. Esta métrica é baseada principalmente no número de mensagens que chegam ao destino e no número de mensagens responsáveis por ajudar a determinar a rota para chegar ao destino. A solução proposta depende de um sistema

centralizado, onde são armazenadas as informações de crédito de cada veículo. Quando uma mensagem é encaminhada adiante por uma rota, o veículo ganha crédito mostrando evidências da cooperação.

As funções que determinam o *payoff* para cada nó são divididas em dois grupos: nós intermediários e nó de origem. O nó de destino é considerado no grupo de nós intermediários. Os primeiros têm *payoff* proporcional ao número de mensagens que são recebidas, retransmitidas e informações de rotas trocadas. No trabalho, não há o desenvolvimento de uma métrica de custos na função de *payoff*. A alocação do *payoff* do nó de origem é a diferença entre os ganhos em entregar as mensagens ao destino e o custo com os *payoffs* dos nós intermediários.

Para avaliar o método proposto são simulados cenários utilizando dois protocolos de roteamento: *Spray-and-wait* e *meetings-visits*. Assim se torna possível mostrar que o método proposto é efetivo para diferentes protocolos de roteamento. São avaliados o *delay* na entrega das mensagens e taxa de chegada das mensagens. Como para enviar mensagens, é necessário que os nós também repassem mensagens de outros veículos, gerando assim crédito para o custo de enviar mensagens, uma métrica utilizada é dos créditos acumulados por cada nó da rede. Os jogadores não cooperativos são aqueles que não repassam mensagens cujo destino não está em alguma coalizão que ele faz parte. É demonstrado que os resultados de crédito acumulado são superiores para os casos onde todos os veículos são cooperativos e são os menores para os casos de coalizões com menor número de veículos participantes. Também foi demonstrado que quando o esquema de cooperação é plenamente obedecido, os *delays* são inferiores aos casos em que 10 e 30% dos nós se comportam de forma não cooperativa.

3.2.4. Monitoramento de Distância Veicular e Teoria dos Jogos Cooperativos

Um exemplo de aplicação de VANETs beneficiando o tráfego de veículos é mostrado em (JIA; LU; WANG, 2014). O artigo mostra uma solução para a comunicação entre veículos com o objetivo de monitorar a distância entre eles. A tese é de que a diminuição da distância entre veículos, a uma distância segura, se pode balancear de forma a otimizar o fluxo de veículos nas vias. Toda uma modelagem matemática para calcular a distância ideal entre os veículos, quantidade ideal de veículos se comunicando, velocidade de cruzeiro etc. Para validar os resultados teóricos, foram desenvolvidas simulações utilizando o SUMO. Neste estudo o foco então é o de redução de consumo de combustível e emissão de

dióxido de carbono, mostrado nas simulações. Para chegar nestes resultados, a solução proposta reduz a velocidade dos veículos, evitando desacelerações e acelerações desnecessárias. Uma das limitações do trabalho é a falta de estudo do impacto da troca de mensagens para o controle da distância inter veicular.

3.2.5. Formação de Coalizões e VANETs

Em outros estudos como (YUYI LI, 2012), os autores desenvolveram mecanismos que permitem a seleção de *gateway* e formação da coalizão. Este trabalho em específico foca em teoria dos jogos cooperativos. O critério para escolha dos *gateways* é a máxima taxa de transmissão que o candidato pode receber da BS (*Base Station*). Para a formação da coalizão, a função utilidade foi desenvolvida visando o incentivo de outros veículos a estabelecer conexões extras com outros nós. A função utilidade é variada baseada no número de nós de comunicação. Neste trabalho foi considerada uma área de 4km X 4km. Os veículos estão localizados de forma randômica nesta área. A potência de transmissão da BS é fixa em 43 dBm. Já os veículos transmitem com uma potência fixa de transmissão de 23 dBm, com raio de alcance de 300m. O nível de ruído foi fixado em -120dB, com largura de banda de 100kHz. Este estudo envolveu a análise tanto de V2V quanto de V2I. As principais limitações do trabalho são que os autores não utilizam padronização IEEE 802.11p, que é desenvolvida especificamente para o uso em VANETs e está amplamente utilizada em pesquisas no meio acadêmico.

3.2.6. Velocidade de Propagação de Informações e Teoria dos Jogos Cooperativos

Estudos como o de (ZHANG; MAO; ANDERSON, 2011) se preocuparam com o fluxo de mensagens entre veículos em uma VANET. Um parâmetro especialmente estudado foi o IPS (*Information Propagation Speed*). Ele foi definido como o tempo necessário para que um veículo receba e processe uma mensagem antes ela esteja disponível para retransmissão (WU *et al.*, 2005). As principais contribuições de tal artigo são os resultados analíticos da densidade de veículos, distribuição de velocidade dos veículos e a variação de velocidade dos veículos em função do tempo. Todas estas informações focando na troca de mensagens entre os veículos nestas condições. Os parâmetros estudados são a taxa de colisão de pacotes e o *delay* de propagação por enlace. Outros estudos como (CAMARA; BONNET; FILALI, 2010) propõem cenários onde o IPS é o foco. Apesar disto, o foco principal do trabalho foi o estudo do comportamento dos veículos quando estão sem infraestrutura de

comunicação. Ou seja, quando somente os veículos podem processar e enviar as informações para os outros nós da rede, caracterizando uma rede com comunicação puramente V2V.

3.2.7. Controle de Potência de Transmissão para CRN

Em um cenário de CRN (*Cognitive Radio Networks*) existe um problema grave de interferência entre os rádios. É necessária uma forma de garantir que os usuários primários (PU - *Primary Users*) não tenham sua transmissão afetada pela transmissão de usuários secundários (SU - *Secondary Users*). Para isto, é utilizado o NBPCG (*Nash Bargaining Power Control Game*) que garante as transmissões dos PUs, utilizando um IPC (*Interference Power Control*). Para garantir que SUs possam transmitir informações, é necessário que um valor mínimo de SINR seja garantido (YANG; LI; TIAN, 2010).

No estudo são realizadas simulações com um par de PU e dois pares de SU. São testados três cenários: 1) Kalai–Smorodinsky Bargain Solution (KSBS) sem IPC; 2) KSBS para NBPCG com IPC; 3) NBS para o modelo NBPCG proposto. Para analisar cada cenário anterior, foram estudadas as potências de transmissão de equilíbrio de todos os SUs. Também foi estudado a SINR de cada um dos SUs em função dos três cenários citados anteriormente. Uma função utilidade baseada na SINR foi formulada cumprindo todos os axiomas do Teorema de Nash. Isto garante unicidade e equilíbrio justo para o jogo. O jogo modelado é baseado em preço, utilizando o IPC.

3.2.8. Alocação de potência e largura de banda em sistemas AF utilizando Jogos de Stackelberg

Em um sistema cooperativo de *multirelays* dois métodos principais são utilizados: 1) *amplify-and-forward* (AF) e 2) *decode-and-forward* (DF). No método AF, o sinal recebido pelos *relays* é amplificado e retransmitido, mesmo amplificando ruído. Quando os sinais chegam ao destino, são analisados e decodificados. No método DF, os sinais são decodificados, ao invés de amplificados e, posteriormente, encaminhados (AL-TOUS; BARHUMI, 2013).

O modelo do sistema AF é equacionado matematicamente, considerando SNR e taxa de transmissão. A modelagem utilizando jogos de Stackelberg é feita para responder duas perguntas: 1) Qual a potência P_i otimiza um esquema AF cooperativo?; 2) Qual a largura de banda W_i que otimiza um esquema AF cooperativo? Os comódites negociados são largura e

banda e potência de transmissão. Os jogadores são divididos em: compradores, vendedores (*relays*). É definida uma função utilidade para os compradores e outra para os vendedores. São definidos dois jogos: 1) Jogo de potência e banda para os usuários (compradores) e 2) Jogos de preços para os vendedores (*relays*).

Para o primeiro jogo, é provada a existência de equilíbrio de Nash e sua unicidade. Por fim, a estabilidade do algoritmo do primeiro jogo é determinada. No jogo de visão dos *relays*, ou vendedores, é modelado como jogo de Stackelberg.

Foram estudadas as potências de transmissão e largura de banda de equilíbrio. Além disso, também foram estudadas as funções utilidade de potência e largura de banda em função do número de interações.

3.2.9. Jogos de Formação de Coalizão Distribuídos para Comunicação entre RSUs

Em (SAAD *et al.*, 2011), são estudadas as coalizões de RSUs. Apesar de não tratar de SINR ou controle de potência de transmissão, este trabalho modela matematicamente a comunicação entre RSUs utilizando teoria dos jogos cooperativos. São estudados os benefícios de se ter cooperação entre as RSUs. São trocadas informações como número de veículos que estão se deslocando de uma RSU para outra de uma mesma coalizão. Também são trocadas informações de tipo de dados que são trafegados por qual veículo. Assim, as RSUs podem se ajustar para transmitir determinado tipo de dados. Por exemplo, dados de voz não podem sofrer de muito *jitter*. Determinados veículos que estão na RSU 1 estão indo para a RSU 2, que está na mesma coalizão que RSU 1. Com esta informação, a RSU 2 pode ser programada para ajustar seus parâmetros de modo a atender de forma mais efetiva as demandas de determinados veículos que estão migrando entre RSUs de mesma coalizão. Uma terceira opção para a cooperação é a entre veículos em trânsito e RSUs. Veículos que estão em trânsito entre RSUs e que têm informações solicitadas por um terceiro veículo em movimento podem passar as informações através de comunicação tipo V2V.

Em um momento inicial, a função utilidade para cada veículo i , definida por u_i , é dada por (3-4).

$$u_i = \beta \sum_{j \in N} \sum_{k \in K_{ij}} (w_1 P_{k,i}) \quad (3-4)$$

Analisando em um cenário de jogos de coalizão entre RSUs, é possível modelar o jogo com $u(S)$ dado por (3-5).

$$u(S) = \max_{B_S \in \mathcal{B}_S} (\beta \sum_{i \in S} (\sum_{j \in N \setminus S} \sum_{k \in \mathcal{K}_{ij}} (w_{c1} P_{k,i}) + \sum_{j \in S} \sum_{k \in \mathcal{K}_{ij} \setminus \mathcal{M}_i} (w_{bi} P_{k,i}) + \sum_{j \in S} \sum_{k \in \mathcal{M}_i} ((w_{bi} + w_{bj}) P_{k,i}))) \quad (3-5)$$

A equação em (3-5) define a função utilidade para os cenários: (i) de um veículo que se desloca de uma RSU em S para uma outra fora da coalizão, (ii) entre veículos que se deslocam entre RSUs que estão na mesma coalizão, sem utilizar V2V e (iii) entre veículos que podem se comunicar via V2V.

Como em comunicação sem fio o número de pacotes recebidos $P_{k,i}$ por um elemento da rede não indica o número de pacotes que chegaram sem erros ao destino, também é estudado o custo da coalizão. Então, é definido $v(S)$ como a diferença entre a função utilidade e o custo da coalizão.

$$v(S) = u(S) - c(S) \quad (3-6)$$

Para uma determinada coalizão, S , $v(S)$ representa o quanto que esta coalizão ganha para transportar determinados pacotes até seu destino. Para determinar quanto cada veículo irá ganhar, é necessária a modelagem utilizando TU (*Transferable Utility*). Assim, cada veículo da coalizão S ganhará a função utilidade, representada em (3-7).

$$\begin{aligned} \phi_i = \frac{1}{|S|} (v(S) \\ - \sum_{j \in S} (v_j \\ + v_j) \end{aligned} \quad (3-7)$$

Além do estudo da função utilidade da coalizão e como deve ser dividido o *payoff* para todos os veículos, também foi estudada a formação das coalizões. É proposto um algoritmo de formação de coalizões de RSUs. O algoritmo é dividido em três etapas: 1) Descoberta de vizinhança, 2) Formação de coalizão distribuída e 3) Comunicação cooperativa V2R.

Para validação da parte teórica é simulado um cenário com área de 3km x 3km. São considerados 3 tipos de dados, com pesos decrescentes, os quais são passados na forma de *chunks* pelos 25 veículos da rede. Dentre as formas de avaliação, foi analisado graficamente o *payoff* médio por RSU em função do número de RSUs. Foram simulados cenários cooperativos e não cooperativos. Para avaliar as coalizões, são analisados gráficos do

tamanho das coalizões em função do número total de veículos. A conclusão tomada foi a de que, no equilíbrio, a tendência é de se obter um pequeno número de coalizões compostas de um grande número de veículos. Por fim, é analisado o número médio total de operações de comutação em função do número de RSUs e tempo em minutos. Assim como em outros trabalhos, os autores não realizaram testes ou simulações utilizando algoritmos de roteamento veicular já propostos.

3.2.10. Alocação de potência e preço para redes de *multirelay* utilizando jogos de barganha e Stackelberg

Para o estudo de comunicação cooperativa, existe um cenário bastante pesquisado que é o uso de *relays*, ou seja, intermediários que irão repassar os pacotes de outros usuários da rede adiante. Existem dois tipos principais de *relays*: AP(*Amplify and Forward*) e DF. O primeiro apenas amplifica o sinal recebido e repassa para seus vizinhos. O segundo decodifica o sinal recebido antes de amplificar e repassar para os vizinhos, recuperando o sinal de algum determinado erro na transmissão.

Em (CAO; ZHAO; JING, 2012), são estudados os jogos de Stackelberg, de barganha e KSBS. O primeiro estuda o efeito de um líder e seus seguidores. Um jogo de barganha modela as interações que envolvem barganha de determinados elementos de uma rede. O KSBS é uma solução de um jogo de barganha como solução do problema de otimização, dado em (3-8).

$$\max k \quad s. t. \quad \frac{u_i - u_{i,0}}{u_i^I - u_{i,0}} = k \quad (3-8)$$

Onde u_i , $u_{i,0}$ e u_i^I são as funções utilidade de um determinado usuário i , o ponto de desacordo de um usuário i em um vetor $\mathbf{u}_0 = (u_{1,0}, u_{2,0}, \dots, u_{N,0})$, função utilidade ideal para um determinado usuário i , respectivamente. O objetivo do KSBS é de garantir um *payoffs* justos entre os jogadores. Garantir um ponto de equilíbrio onde todos os jogadores possam ter um retorno justo.

Primeiramente, o sinal recebido foi modelado matematicamente, assim como o SNR. É utilizado o jogo de Stackelberg com o *relay* como líder e os usuários como seguidores. O primeiro indica o preço a ser cobrado por repassar os sinais dos usuários. Com um jogo de

barganha, os usuários e *relays* barganham o preço pela retransmissão de sinais. A função utilidade do *relay* u_R é dado em (3-9).

$$u_R = \sum_{i=1}^N \lambda P_i \quad (3-9)$$

A função utilidade dos N usuários é modelada de forma a ser proporcional ao SNR e decrementar a potência de transmissão paga ao *relay*. São então resolvidos os problemas de alocação de potência de transmissão e preço, utilizando indução reversa.

É demonstrado que para um cenários de canais estáticos, com 3 usuários, 1 *relay* e 3 destinatários, a quantidade de potência vendida pelo *relay* tende a diminuir com o aumento do preço da potência para o KSBS. O mesmo também acontece com a taxa de transmissão.

Um das limitações do trabalho foi não considerar a interferência entre os usuários, nem entre usuários e *relays*. O número de usuários testados não é realista, sendo somente simulados 5, 10 e 15 usuários.

3.2.11. Compartilhamento cooperativo de banda para *relaying*

As três principais contribuições de (HAMOUDA; CHAABANE; TABBANE, 2015): 1) Aplicação de teoria dos jogos para estimular a cooperação entre diferentes entidades da rede; 2) Adaptar mecanismos básicos de jogos repetidos para o compartilhamento de banda em redes com *relaying*; 3) Propor novas regras para construir uma coalizão estável. Apesar deste trabalho não abordar o uso de controle de potência de transmissão, ele modela matematicamente um cenário de comunicação utilizando teoria dos jogos e SINR, como pode ser notado a seguir na modelagem proposta da função utilidade.

O cenário de aplicação é composto por células compostas k nós. Sendo um deles uma eNB e $k-1$ RN(Relay Nodes). Cada RN transmite a uma potência de transmissão P_{RN} e as eNB, a uma potência de transmissão P_{eNB} , onde $P_{RN} < P_{eNB}$. Também é sabido que $d_{RN} < d_{eNB}$. Onde d_{RN} e d_{eNB} são os raios de alcance das RNs e eNBs, respectivamente. A comunicação entre eNBs e UEs pode ser realizada diretamente ou com uma RN como *relay*. O primeiro *time slot* é transmitido entre a eNB e as RNs e macro UEs. O segundo *time slot* é transmitido entre as RNs para as UEs. A banda das eNBs é dividida em duas sub-bandas: 1) eNB e macro UE e 2) eNB e RN.

O jogo $G=\{I,S,U\}$, onde I é o conjunto de todos os jogadores, S é o conjunto de todas as estratégias e U as funções utilidade. A função utilidade, u_i , é dada pelo somatório da capacidade de transmissão de todos os nós da rede.

$$u_i = \sum_{k=1}^{N^i} r_k^i \quad (3-10)$$

Onde $r_k^i = w \log_2(1 + \gamma_k^i)$ é a capacidade do rádio do nó i , considerando a PRB k deste nó. Também γ_k^i é a SINR referente ao PRB k do nó i . O nó pode escolher cooperar ou não. Em cooperar, se diz deixar um outro nó utilizar um de seus PRBs para transmitir alguma informação.

Uma penalidade foi adicionada caso um dos jogadores resolva não cooperar com o jogo. Para isto, um fator foi adicionado à função utilidade caso um dos jogadores resolva não cooperar com o jogo. Foi demonstrado que com o fator de punição reduzido, o tempo de punição foi reduzido e os dois jogadores em estudo voltaram a cooperarem mutuamente mais rapidamente. Também foi demonstrado na simulação que o *throughput* aumentou em 14% com o uso da metodologia proposta.

3.2.12. Estímulo e cooperação entre nós utilizando esquema de punição e pagamento

Para uma arquitetura de *cluster*, composta de nós e dois CHs (*Cluster Heads*), um principal e outro reserva, o estudo (JESUDOSS; RAJA; SULAIMAN, 2015) faz uma análise cooperativa entre os nós. Uma tabela de reputação (*RTabela - Reputation Tabela*) é enviada pelo CH para todos os nós do *cluster*.

O foco principal do trabalho é o de encorajar os veículos da rede a ativamente participar de atividades como repassar, monitorar e reportar atividades da rede. Neste artigo foi proposto um esquema de reputação, baseado em pagamentos ou incentivos para motivar os veículos a realizar as atividades acima. O pagamento é dividido em etapas: 1) para participantes na eleição de CH, 2) para repassar dados, 3) para monitorar e avaliar os outros nós da rede. Apesar de não tratar diretamente de controle de potência de transmissão ou SINR, o trabalho consta de informações interessantes de metodologia, além de trabalhar com teoria dos jogos não cooperativos comparados a teoria dos jogos cooperativos.

Na eleição do CH são consideradas algumas métricas: i) distância relativa, ii) velocidade relativa, iii) número de vizinhos no raio de alcance. O peso W_i é calculado como mostrado em (3-11).

$$W_i = D_i \cdot wt_1 + S_i \cdot wt_2 + E_i \cdot wt_3 \quad (3-11)$$

Já a reputação de cada veículo i do *cluster* é calculado por $R_i = P_i - C_i$. Onde P_i é o preço pago para o CH e C_i é preço pago para cada nó do *cluster*. Cada um destes pagamentos são definidos em função de alguns parâmetros como o peso W_i , função de eleição $vt_i(W, k)$ e ρ_i pagamento por membro do *cluster*.

No esquema proposto, somente os CH e GW (*Gateways*) podem fazer o papel de *relays*. Como a natureza dos nós é não cooperativa, é necessário gerar algum estímulo para que eles atuem de forma cooperativa. Para verificar se os *relays* estão trabalhando de forma cooperativa, alguns outros veículos têm o papel de *watchdogs*.

Para que um pacote seja enviado de uma origem até seu destino, o veículo de origem envia uma requisição de envio do pacote para o destino. Quando a requisição chega ao destino, é gerada uma rota e um custo para tal entrega. Dependendo da reputação do veículo, ele poderá ou não enviar tal pacote ao destino por aquela rota.

Para avaliar a *performance* do protocolo, são analisados alguns detalhes como: i) *overhead* do sistema proposto, ii) segurança contra ataques. A área da simulação é de 3500 x 1500m, com veículos a velocidade média que varia entre 30 e 60 milhas por hora, alcance de 300m e de 50 a 100 veículos na simulação.

Foram avaliados cenários com 0, 20, 30, 40 e 50% de nós não cooperativos. Com isto são avaliadas as reputações dos nós com o tempo e a mudança de reputação com o tempo de simulação. Outras métricas como estabilidade do *cluster* em função da percentagem de veículos não cooperativos e o número de *hops* em função da percentagem de veículos não cooperativos são estudados. Apesar da grande variedade de testes e detalhes do protocolo proposto, faltou uma análise mais aprofundada no viés matemático para provar a estabilidade ou mostrar a função utilidade de cada veículo.

3.3. Aplicações de Teoria dos Jogos Evolucionários

Em (ZHANG *et al.*, 2014) é utilizada teoria dos jogos evolucionários para modelar matematicamente o fluxo de dados em uma rede veicular. Neste caso em específico, os veículos têm duas ações: reenviar o pacote recebido ou se recusar a reenviar o pacote. As VANETs se diferenciam das redes sem fio mais tradicionais por duas razões: 1) As questões de consumo de energia elétrica não são problemas para VANETs, 2) A topologia da rede evolui rapidamente. O uso de teoria dos jogos evolucionários se explica por ser uma modelagem matemática que advém da teoria dos jogos cooperativos, inicialmente aplicados à sistemas biológicos, que evoluem constantemente. Como o cenário é de VANETs e são considerados comportamentos cooperativos e não cooperativos, foi escolhida esta modelagem matemática. A função utilidade implementada considera os benefícios com a cooperação para a coalizão, custo para transmitir e os erros nos cálculos anteriores, modelado como uma distribuição normal. Os benefícios são calculados através da quantidade de dados que são transferidos para os vizinhos de primeiro grau (enlace direto) e as informações passadas para o nó em estudo. Para avaliar o desempenho do método proposto, são utilizadas as razões de isolamento, que mensura o quanto que um determinado nó não coopera e a média da largura de banda disponível na rede em estudo. São consideradas duas topologias principais: estrela e uma topologia com distribuição homogênea de nós.

3.4. Aplicações de *Public Good Games*

Nos jogos PGG (*Public Good Games*), grupos de jogadores são colaboradores ou não em investimentos que, necessariamente, gerarão um resultado r vezes o valor total investido pelo grupo. O valor gerado será dividido igualmente entre os participantes deste grupo, independentemente se o jogador cooperou ou não. Ou seja, independente de ter investido no fundo comunitário, os jogadores receberão parcelas iguais dos rendimentos do grupo. Quanto maior for o valor de r , maior será o rendimento do grupo e, conseqüentemente, o rendimento individual de cada jogador.

3.4.1. PGD e VANETs

Os jogadores podem ou não saber da decisão em cooperar dos outros jogadores. Em (SHIVSHANKAR; JAMALIPOUR, 2015), os jogadores são veículos equipados com equipamentos de comunicação. Formando assim uma rede de veículos que trocam

informações. Antes de enviar os pacotes, ou reenviar os pacotes enviados por outros veículos, o veículo em questão observa aleatoriamente um de seus vizinhos e repete sua estratégia.

O estudo foi dividido na análise de: encaminhamento de pacotes, evolução da estratégia dos jogadores e evolução da estratégia com mobilidade. Todas as etapas visam obter a melhor modelagem para o *payoff* de um jogador cooperativo e não cooperativo. O objetivo é estimular que o máximo de jogadores se comporte de forma cooperativa. No caso específico de VANETs, que é uma rede que possui a característica de ser altamente dinâmica, há uma grande preocupação com a evolução da estratégia. Isto porque a estratégia de um jogador é altamente dependente das estratégias de outros jogadores. Porém, os vizinhos de um veículo, em um cenário altamente dinâmico como de uma via pública, mudam em pouco tempo. Um veículo pode mudar de uma vizinhança cooperativa para outra não cooperativa. Mudando assim a estratégia do veículo em questão e podendo potencialmente diminuir o tempo de vida da coalizão. Afinal, poucos veículos cooperando, significa lucro daqueles que não cooperam em detrimento de prejuízo dos veículos que cooperam.

Para as simulações, foi proposto que somente um pacote fosse enviado por *time slot*. Nós somente encaminham pacotes quando são cooperadores. São consideradas duas densidades veiculares: 50 *veículos/km²* e 80 *veículos/km²* para dois cenários: mobilidade urbana e *highways*.

A princípio foram simulados cenários com veículos parados e se movendo com 20 e 50 veículos transmitindo. Como era de se esperar, quanto maior o fator multiplicador r , maior a frequência de cooperação dos veículos. Porém, foi observado que no cenário com 20 veículos transmitindo, um melhor resultado para a frequência de cooperação. Isto se deu devido à velocidade na qual a cooperação atingiu todos os veículos. Assim, nenhum outro veículo comutava para o estado de cooperativo. Também os resultados para a simulação de veículos estáticos tiveram maior frequência de cooperação que o caso dos veículos se movimentando. Também mostra que os benefícios para uma rede de VANETs são proporcionais ao aumento do fator multiplicador r .

3.5. Resumo dos Trabalhos Seleccionados

Várias são as métricas de avaliação utilizadas nos trabalhos seleccionados. Como referência, são apresentadas algumas informações como: Métrica, Limitações do Trabalho e Observações na Tabela 3-2.

Como pode ser observado, muitos trabalhos não apresentam cenários de simulações com um número significativo de elementos. Normalmente não passando de 30 veículos para uma área que, na realidade, teria um número muito mais elevado de veículos.

Quanto às métricas, pode ser notado que muitos trabalhos se utilizam da SINR, potência de transmissão, largura de banda, taxa de transmissão e taxa de erro para analisar a metodologia proposta pelo trabalho. Muitos trabalhos são modelados utilizando Teoria dos Jogos Cooperativos, porém também outros são modelados utilizando Teoria dos Jogos Não Cooperativos ou alguma variação da Teoria dos Jogos como PGD.

Tabela 3-2: Resumo dos Artigos Seleccionados.

Técnica do Jogo	Observação da Técnica	Centralizado (C) ou Descentralizado (D)	Métrica	Autores	Limitação
Cooperativo	Barganha	D	<i>Throughput</i> da rede	(BARSHA SHRESTHA, 2008)	Não trata das ocorrências de coalizões.
Cooperativo	-	D	Atraso na entrega de mensagem, largura de banda, <i>jitter</i>	(MATHEWS e RADHA, 2008)	
Cooperativo	-	D	SINR de equilíbrio, Potência de Transmissão, Eficiência de potência de transmissão	(HASAN KHAYATIAN, 2013)	Não considera a camada física no seu estudo.
Cooperativo	Evolucionário	D	Frequência de cooperação	(SMITHA SHIVSHANKAR, 2015)	Número de veículos simulados não é realista.
-	-	D	Intraespaçamento do platô, velocidade, aceleração, tamanho do platô,	(DONGYAO JIA, 2014)	Falta de estudo do impacto da troca de mensagens para o controle da distância interveicular.
Cooperativo	-	D	Função utilidade total, utilidade de cada veículo, número de operações de troca de informações.	(YUYI LI, 2012)	Poderia aplicar toda a teoria de jogos na padronização IEEE 802.11p.
Cooperativo	-	D	Potência de transmissão e largura de banda	(AL-TOUS e BARHUMI, 2013)	Foi considerado um cenário com apenas dois usuários e um <i>relay</i> . Foi considerada apenas uma potência de transmissão. Não foram simulados cenários com colisão.
Cooperativo	-	D	<i>Payoff</i> médio por RSU, tamanho da coalizão, quantidade de operações.	(SAAD <i>et al.</i> , 2011)	Não realizou testes com algoritmos de roteamento veicular. Apenas 25 veículos em uma área de
Cooperativo	Barganha	D	Potência total vendida pelos <i>relays</i> . Preço da potência vendida pelo <i>relay</i> . Taxa de transmissão da rede.	(QIAN CAO, 2012)	Não considerou interferência entre os usuários, nem entre usuários e <i>relays</i> . Somente são simulados 5, 10 e 15 usuários.

Cooperativo	-	D	<i>Throughput</i> de todos os nós	(SOUMAYA HAMOUDA, 2015)	Não considera interferência entre células. Simulação de uma rede fixa. Poucos nós simulados.
Cooperativo	-	D	<i>Número de hops, estabilidade do cluster, reputação dos nós</i>	(AUXEELIYA JESUDOSS, 2015)	Não faz uma análise aprofundada utilizando teoria dos jogos.
Cooperativo	-	C	Delay e taxa de chegada de mensagens	(TINGTING CHEN, 2011)	Não leva em consideração a potência de transmissão ou SINR.
Não Cooperativo	-	D	Eficiência Espectral	(HA e LE, 2014)	Somente considera o estudo de nós fixos.

4. GRaPhiC

Nesta seção, são apresentados detalhes da metodologia aplicada ao desenvolvimento do GRaPhiC (*Game theoRy Power Control*). Todos os detalhes para a descrição do problema, modelagem do cenário, métricas escolhidas e algoritmos propostos são apresentados nas subseções seguintes.

4.1. Cenário de Aplicação

Dados os dois principais tipos de comunicação inter veicular (V2V e V2I), a ideia principal é controlar, utilizando teoria dos jogos, a potência de transmissão de cada veículo. Controlando a potência de transmissão, reduzindo-a quando possível, reduziria a SINR. Assim, aumentando a taxa de transmissão dos veículos.

Todos os equipamentos instalados em veículos são considerados idênticos e configurados da mesma forma. Além disso, todos os nós reagem igualmente todas as mudanças das variáveis independentes, definidas nas próximas subseções. Neste estudo, todos os nós são configurados para rodar o mesmo algoritmo e nunca se recusam a utilizá-lo. A Figura 4-1 mostra um cenário em *grid* utilizado na simulação do cenário em estudo. Em uma extensão deste trabalho, seria possível simular o efeito do uso de teoria dos jogos cooperativos neste cenário. Este estudo não leva em consideração as rotas nas quais os pacotes devem seguir entre a origem e o destino.

Nas simulações realizadas, os veículos que se envolvem em colisões, enviam um *broadcast* para seus vizinhos, BS (V2I) e outros veículos (V2V). Nas simulações as colisões são induzidas. Assim, nos instantes onde não há acidente, não há *broadcast*, a não ser as de retransmissões de acidentes anteriores, comunicação V2V. Antes de cada transmissão, quando um *airframe* é recebido, o algoritmo proposto é executado, analisando o ambiente para analisar a possibilidade de redução da potência de transmissão da OBU do veículo em questão. O algoritmo proposto não incrementa a potência de transmissão, apenas reduz ou mantém constante, desta forma foi possível analisar o cenário de uma forma simplificada.

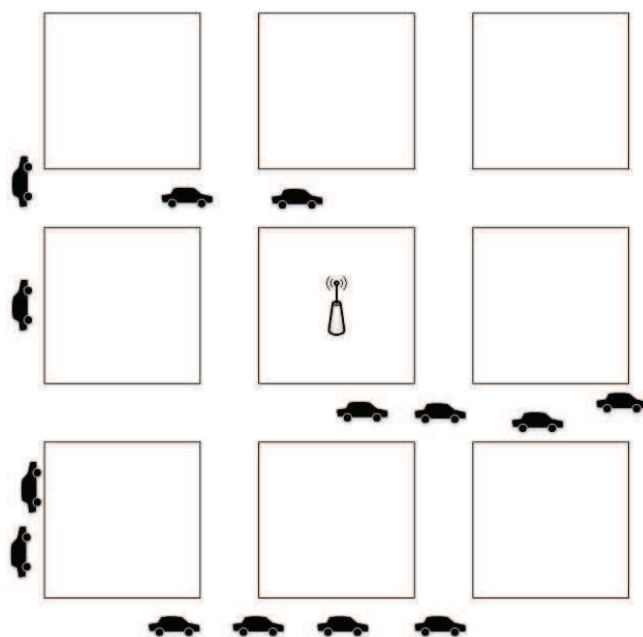


Figura 4-1: Cenário em *grid* para jogo não cooperativo.

Foram propostos, teoricamente no Capítulo 2, dois algoritmos utilizando teoria dos jogos. O primeiro utiliza teoria dos jogos não cooperativos e o segundo utiliza teoria dos jogos cooperativos. Como o cenário utilizando o algoritmo cooperativo aumentava a complexidade das simulações, somente o algoritmo não cooperativo proposto foi simulado.

O cenário apresentado na Figura 4-1 estuda os cenários de V2V e V2I. Esta é uma representação do cenário de *grid* simulado. Para isto, são considerados *grids* com blocos de $100 \times 100 \text{ m}^2$. O primeiro tem 80 cruzamentos na horizontal e 80 na vertical. O segundo tem 100 cruzamentos na vertical e 100 na horizontal.

Todos os nós, OBUs instaladas nos veículos, são considerados programados de uma forma honesta e homogênea. Assim, é considerado que nenhuma OBU terá algoritmo reprogramado de forma a não utilizar o algoritmo proposto. A BS é simulada no centro do cenário e os veículos são postados a se locomover pelo cenário em *grid*. Cada rota tem no mínimo 100m de distância, esta seria uma distância para percorrer duas quadras e parar o veículo. Todas as rotas são simuladas utilizando o *randomTrips.py* (SUMO, 2013). Este *script* permite que o número de veículos na área de interesse seja gerado de forma constante ou randômica, seguindo uma distribuição binomial. Foram geradas rotas para inserção de veículos a cada: 0,5, 1, 2 e 4 segundos. Assim foram simulados cenários com até 2000, 1000, 500 e 250 veículos.

Para simular os acidentes, determinados nós são escolhidos e enviam *broadcasts* simulando uma mensagem de acidente. Nas simulações conduzidas, cada cenário tem 25 simulações de acidente. Em todos os cenários, os mesmos nós simulam acidentes. O número de veículos que simulam acidentes é proporcional ao número de veículos simulado. Com o número de veículos aumentando, também será maior o número de veículos simulando acidentes. Este número varia entre 24 e 199, dependendo do número de veículos na simulação.

Como o objetivo era criar um cenário mais próximo possível de situações reais, para cada cenário são criadas 30 rotas veiculares distintas. Todas as variáveis estudadas são analisadas para cada uma destas simulações. Como será visto adiante, o número de veículos é uma das variáveis independentes.

Todas as simulações possuem um tempo fixo de 1000s, tempo suficiente para que as mensagens cheguem aos seus destinos. As antenas das OBU têm alcance teórico de 1km, sem obstáculos ou interferência. São considerados -89dBm para a sensibilidade das antenas e um ruído térmico de -110dBm. A frequência de portadora utilizada nas simulações é a de 5,89GHz, esta frequência está em uma faixa reservada para aplicações de ITS nos EUA (TOOR *et al.*, 2008). A FCC reservou, nos EUA, uma banda de 75MHz, na faixa de frequência de 5,850 a 5,925 GHz para o DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) (FCC, 2015). Para o Japão e países da Europa, a frequência utilizada para a portadora é a de 5,8GHz.

Tabela 4-1: Parâmetros da Simulação.

Parâmetro	Valor
Sensibilidade	-89 dBm
Ruído Térmico	-110 dBm
Frequência da Portadora	5.89 GHz
Largura de banda	10 MHz
Faixa de potência de transmissão	30, 50, 80, 100mW
Número de veículos na simulação	250 500 1000 2000
Número de cruzamentos na horizontal e vertical	80,100
Distância mínima de rota dos veículos	100m

Tempo de Simulação	1000s
Altura da RSU	3m
Altura da antena móvel	1,9m
Alcance Máximo da antena	1000m

A cada veículo é associado um trajeto que foi gerado de forma aleatória no *grid*. Cada trajeto é realizado também considerando que devem haver colisões entre os veículos, quando devem ser gerados os *broadcasts* para seus vizinhos. Assim, é possível analisar quais as consequências do uso do algoritmo de controle de potência de transmissão utilizando teoria dos jogos.

4.2. Algoritmo Proposto

O cenário não cooperativo consiste de veículos que se comunicam entre si, utilizando de teoria dos jogos não cooperativos para decidir se devem diminuir ou não a potência de transmissão. O objetivo de cada nó é o de maximizar sua função utilidade. A influência da concentração de veículos, tipicamente em situações de tráfego intenso, pode gerar interferência entre nós que se comunicam. Assim, com o aumento na concentração de veículos, deve-se notar uma diminuição da relação SINR.

De modo a validar o estudo, um experimento controlado foi implementado utilizando o algoritmo não cooperativo. Para desenvolver o experimento, foi conduzida uma simulação utilizando o Veins.

4.2.1. Algoritmo Não Cooperativo

O algoritmo cooperativo realiza o cálculo da função utilidade u_i , representada em (4-1).

$$u_i = 1 * \ln(1 + \text{sinr}) - 0,009 * (\text{txPower}) \quad (4-1)$$

Para o cálculo da função utilidade acima, foi considerada a taxa de transmissão, primeiro termo da equação, e um fator decrementador em função da potência de transmissão do veículo. O segundo termo é o responsável por controlar a potência de transmissão do veículo. Se a função utilidade fosse composta apenas do primeiro termo de (4-1), com a maximização da função utilidade, nenhum nó iria tentar reduzir sua potência de transmissão. Tentaria apenas aumentar sua potência de transmissão, com o intuito de aumentar a SINR e,

consequentemente a função utilidade. Os fatores que multiplicam o logaritmo natural e a taxa de transmissão foram encontrados de forma empírica. A escolha foi feita baseada nos resultados médios de SINR encontrados nas simulações. Estes valores se tornaram máximos para estes valores de fatores multiplicativos.

Para cada veículo, é armazenado o maior valor de função utilidade em memória, na variável $u_{máx,i}$. São realizadas comparações da potência de transmissão no instante : $txPower$ com a potência do veículo que gerou o *broadcast* e com a potência máxima do transmissor. A lógica do algoritmo é mostrada na Figura 4-2.

4.3.

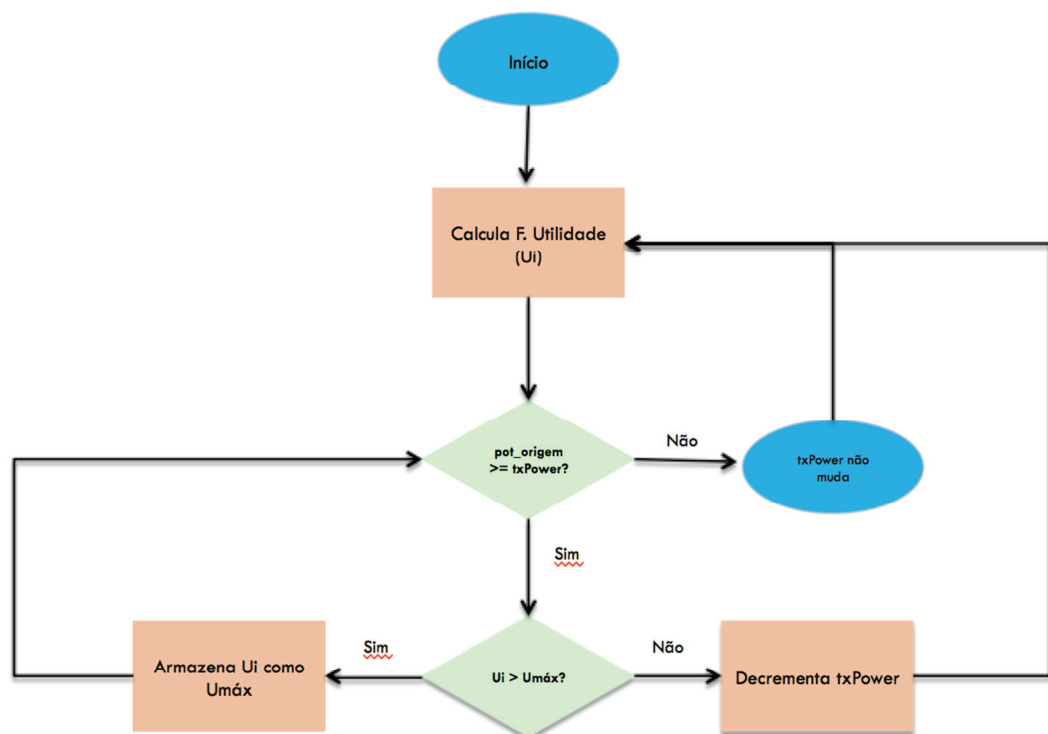


Figura 4-2: Algoritmo Não Cooperativo.

Inicialmente, é calculada a função utilidade do nó em análise. Serão somente considerados quadros cuja origem transmite a uma potência de transmissão superior ao nó

estudado. Assim, para reduzir a potência de transmissão do transmissor, é realizada a comparação da função utilidade no instante e a função utilidade máxima, armazenada em memória. Caso a função utilidade seja maior que a máxima, a potência de transmissão pode ser decrementada em 1mW. Caso contrário, ela se manterá no mesmo valor.

4.3. Métricas do Sistema

Esta subseção tem por objetivo detalhar as métricas propostas para realizar a análise de desempenho do algoritmo não cooperativo proposto. O objetivo é prover detalhes sobre a modelagem e métricas do sistema estudado neste trabalho.

Para provar que o algoritmo proposto é efetivo, foram realizadas simulações levando em consideração condições realistas. Comparando com (LI *et al.*, 2014), o sistema proposto é modelado e simulado inicialmente com áreas de 8 x 8km e 10 x 10km. Para analisar cenários com diferentes concentrações de veículos, foram simuladas rotas com 250, 500, 1000 e 2000 veículos. Os veículos se comunicam através de *broadcasts* para todos os seus vizinhos em sua área de cobertura. Assim como em (YERRAMALLI; JAIN; URBASHI, 2014), a relação entre o número de veículos e a SINR média é analisada. As principais variáveis dependentes e independentes estão mostradas na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Variáveis dependentes e independentes.

Variável Dependente	Variável Independente
Potência de Transmissão Instantânea	Potência de Transmissão Inicial
SINR	Número de Veículos na Simulação
	Área de Interesse

As variáveis dependentes são: a potência de transmissão instantânea e a SINR. Por outro lado, as variáveis independentes são: a potência de transmissão, o número de nós, a área de interesse.

A influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes é analisada. Deve ser esperado que com o aumento na potência de transmissão, a SINR decresça, como pode ser observado na equação em (4-1). O aumento no número de nós na simulação deve aumentar a interferência na área de interesse, diminuindo a SINR e a taxa de transmissão. Todas estas análises devem ser mostradas com mais detalhes na seção de resultados das simulações.

Para deixar de forma mais clara, todas as variáveis dependentes e independentes mostradas na Tabela 4-2 são utilizadas para comparação de valores simulados nos diversos cenários propostos. Para quantificar a eficiência do algoritmo proposto, serão mostrados resumidamente os principais pontos utilizados na metodologia de avaliação na Tabela 4-3.

Não é objetivo deste trabalho o estudo da ocupação de espectro ou do consumo de energia dos dispositivos de comunicação. O consumo de energia não seria estudado por conta da falta de necessidade de economia de energia em cenários de VANETs quando se consideram veículo à combustão. Porém, quando se consideram veículos elétricos, uma necessidade por economia de energia surge. Assim, a redução na potência de transmissão nas OBUs se torna importante.

4.4.Métodos de Avaliação

Nesta subseção, são apresentados os métodos de avaliação utilizados neste trabalho. A avaliação foi dividida em três partes: (i) avaliação teórica, (ii) avaliação das simulações e (iii) análise comparativa entre os resultados simulados e os resultados teóricos.

Foram realizadas diversas simulações, levando em consideração variações das variáveis independentes. Para analisar as simulações realizadas, inicialmente foi simulado um cenário de *grid* sem obstáculos. Foram simulados cenários com: 250, 500, 1000 e 2000 veículos. Por fim, também foram simulados veículos com diferentes valores iniciais de potência de transmissão: 30, 50, 80 e 100mW. O objetivo é analisar a razão SINR para os diferentes cenários. Para obter significância estatística, todos os cenários foram simulados por 30 vezes cada, com coeficiente de confiança de 95%. As simulações são realizadas, cada uma, simulando rotas veiculares distintas. Dependendo do

cenário, várias simulações, como em (RAWAT; POPESCU; OLARIU, 2011), têm o tempo de simulação de 300s, inferior ao tempo das simulações deste trabalho, 1000s. A Figura 4-3 sumariza todos os cenários investigados.

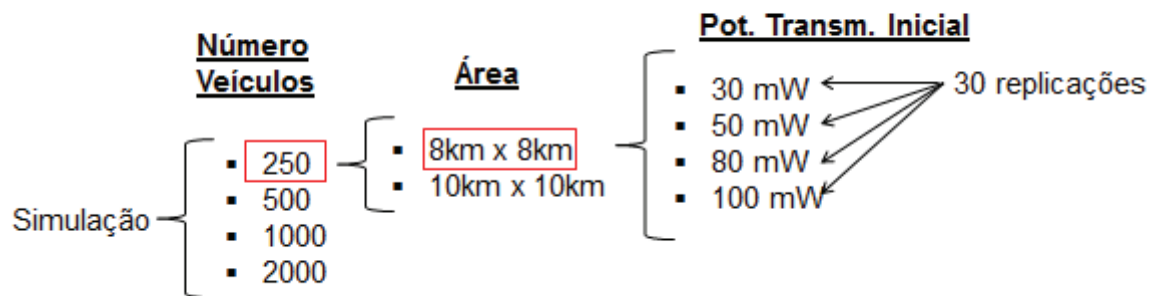


Figura 4-3: Cenários Investigados.

A ideia é comparar os resultados das simulações do algoritmo não cooperativo com um cenário de potência de transmissão fixa, como mostrado na Figura 4-4. Para que os resultados mostrem algum tipo de vantagem do algoritmo proposto ante à potência de transmissão fixa, é necessário que haja uma certa concentração de veículos. É esperado que com o aumento da concentração dos veículos, resultados para a potência fixa sejam piores em termos de SINR.

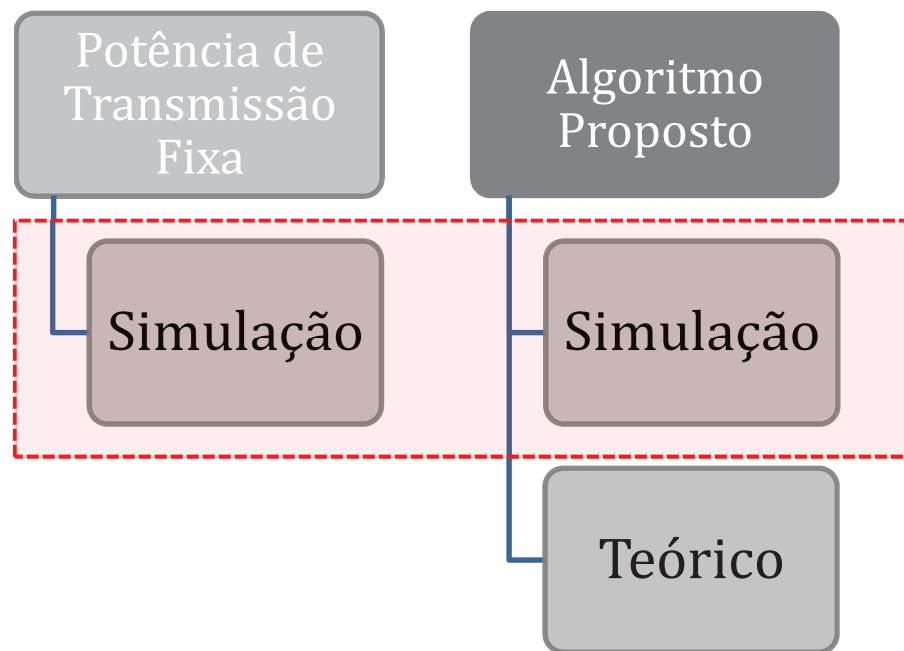


Figura 4-4: Comparação entre Algoritmo Proposto e Potência de Transmissão Fixa.

Como resultado da simulação, tem-se arquivos com informações de rotas dos veículos, potência de transmissão, SINR, potência de sinal recebido e outras informações. Estes arquivos texto foram, inicialmente, pré-processados utilizando Java e Regex e, posteriormente, processados utilizando R (R-FOUNDATION, 2015). Para melhorar o desempenho dos procedimentos de processamento, a etapa de pré-processamento foi eliminada, gerando um relatório texto mais preciso. O último processamento de dados, realizado no R, é também responsável pela geração de gráficos e análises de significância estatística dos dados.

Como são realizadas simulações com um número crescente de veículos, é necessário que sejam analisadas as médias e desvios padrão para cada um dos cenários. Não somente em relação a um determinado veículo, mas em relação ao conjunto de veículos. Assim, no final da análise, teremos uma distribuição de dados de SINR do conjunto de veículos como um todo, para cada um dos cenários apresentados. Assim, é possível analisar com mais propriedade os efeitos do aumento da concentração veicular, aumento de área de interesse etc.

5. Resultados e Avaliação

Neste tópico será apresentada uma análise relacionada às simulações conduzidas utilizando o algoritmo não cooperativo, em cada um dos cenários estudados no tópico anterior.

5.1 Análise

Para realizar a análise das variáveis dependentes, foram geradas tabelas que mostram de forma resumida o comportamento das variáveis dependentes com a variação das variáveis independentes. Neste tópico são mostradas as análises qualitativa e quantitativa.

5.1.1. Avaliação dos Cenários em *Grid*

Neste tópico serão comparados os resultados de SINR para os dois *grids*: 80x80 e 100x100 quadras. Será analisado se existe alguma diferença de resultados entre estes dois cenários, supondo quantidades iguais de veículos em cada comparação de cenário. Para facilitar o entendimento dos resultados deste tópico, eles são agregados à análise dos próximos dois tópicos: (i) Avaliação das Potências de Transmissão Médias, (ii) Avaliação dos valores médios de SINR.

Para analisar o efeito não só da variação de potência de transmissão inicial e do número de veículos, também foi variada a dimensão da área de interesse. Alguns trabalhos como em (YUYI LI, 2012) foram consideradas áreas de interesse de 4km por 4km. Outros trabalhos como em (SAAD *et al.*, 2011), foi considerada uma área de interesse de 3km por 3km. Já em (JESUDOSS; RAJA; SULAIMAN, 2015) a área de interesse é de 3,5km por 1,5km. Nos trabalhos considerados acima, nenhum realizou um estudo do efeito da variação da área de interesse, o que foi um diferencial deste trabalho. Já para o número de veículos, o mesmo pode ser dito. Nenhum dos trabalhos citados anteriormente realiza análise com a variação no número de veículos. Assim, é possível variar a densidade de veículos na área de interesse. E esta análise é um diferencial deste trabalho. A Tabela 5-1 mostra a densidade veicular em cada cenário escolhido para as simulações.

Tabela 5-1: Densidade veicular em cada cenário de simulação.

Número de Veículos	Densidade Veicular	
	Área de Interesse 80x80	Área de Interesse 100x100
250	3,9 <i>veículos/km²</i>	2,5 <i>veículos/km²</i>
500	7,8 <i>veículos/km²</i>	5 <i>veículos/km²</i>
1000	15,6 <i>veículos/km²</i>	10 <i>veículos/km²</i>
2000	31,3 <i>veículos/km²</i>	20 <i>veículos/km²</i>

5.1.2. Avaliação das Potências de Transmissão Médias

Neste tópico são analisados os resultados de potência de transmissão média para cada um dos cenários da Tabela 5-1. Foram simulados quatro cenários: (i) 250, (ii) 500, (iii) 1000 e (iv) 2000 veículos. Para cada um dos cenários acima, foram variados os seguintes elementos: potência de transmissão inicial entre 30 e 100mW e sua área de interesse, entre 80x80 quadras e 100x100 quadras. Por questão de simplicidade, as áreas de simulação de 80x80 quadras são representadas por áreas 80 e as áreas de interesse de 100x100 quadras são representadas por áreas 100.

Como pode ser observado na Tabela 5-2, a potência de transmissão média dos cenários de área de interesse de 80x80 quadras apresentam valores de potência de transmissão média inferiores que dos cenários de área de interesse de 100x100 quadras. Isto mostra que o algoritmo reduz de forma um pouco maior a potência de transmissão em áreas onde a concentração de veículos é maior.

Tabela 5-2: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 250 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	Potência de Transmissão Média (mW)	Redução da Potência de Transmissão (%)	Intervalo de Confiança Inferior (mW)	Intervalo de Confiança Superior
-----------------------	-------------------	------------------------------------	--	--------------------------------------	---------------------------------

(mW)					
30	80	29,53	1,58	29,49	29,56
30	100	29,68	1,07	29,64	29,72
50	80	49,52	0,95	49,48	49,56
50	100	49,70	0,59	49,67	49,74
80	80	79,46	0,68	79,42	79,49
80	100	79,69	0,39	79,66	79,72
100	80	99,52	0,48	99,49	99,56
100	100	99,70	0,30	99,66	99,74

Nas simulações com 250 veículos, a maior redução na potência de transmissão se dá no cenário de potência de transmissão inicial de 30mW. Especificamente para a simulação de área de interesse de 80x80 quadras.

Tabela 5-3: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 500 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	Potência de Transmissão Média (mW)	Redução da Potência de Transmissão (%)	Intervalo de Confiança Inferior (mW)	Intervalo de Confiança Superior (mW)
30	80	28,44	5,20	28,41	28,47
30	100	29,08	3,08	29,05	29,10
50	80	48,41	3,18	48,38	48,44
50	100	49,05	1,89	49,02	49,08
80	80	78,38	2,03	78,34	78,41
80	100	79,04	1,20	79,01	79,07
100	80	98,41	1,59	98,38	98,44
100	100	99,05	0,95	99,02	99,08

O mesmo pode ser observado para as simulações realizadas com 500 e 1000 veículos. Em todos os cenários, mesmo variando a potência de transmissão inicial entre os valores de 30, 50, 80 e 100mW, há uma maior redução na potência de transmissão para os cenários com maior concentração veicular. É inclusive notória a diferença entre as potências de transmissão

médias quando se comparam cenários de mesma potência de transmissão inicial e áreas de interesse de 80x80 quadras em relação aos cenários de 100x100 quadras. Como foi observado no cenário de 250 veículos na simulação, neste caso a maior redução de potência de transmissão se deu no cenário com potência de transmissão inicial de 30mW e área de interesse de 80x80 quadras.

Tabela 5-4: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 1000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	Potência de Transmissão Média (mW)	Redução da Potência de Transmissão (%)	Intervalo de Confiança Inferior (mW)	Intervalo de Confiança Superior (mW)
30	80	26,12	12,92	26,10	26,15
30	100	27,47	8,44	27,44	27,49
50	80	45,99	8,01	45,97	46,03
50	100	47,41	5,19	47,38	47,43
80	80	76,03	4,96	76,00	76,06
80	100	77,39	3,27	77,36	77,41
100	80	96,00	4,00	95,97	96,03
100	100	97,40	2,60	97,38	97,43

Por fim, a Tabela 5-5 mostra os resultados de potência média dos veículos para os diversos cenários de simulação com 2000 veículos. Como pode ser observado nos resultados obtidos de potência de transmissão, as maiores reduções de potência de transmissão se dão para a potência de transmissão inicial de 30mW. Como era de se esperar, a maior redução de potências de transmissão se dá para 30mW de potência de transmissão inicial e no cenário de

2000 veículos simulados em um *grid* de 80x80 quadras. Este é o cenário de maior concentração veicular. Mostra-se que o algoritmo de fato induz a redução de potência de transmissão média dos veículos.

Tabela 5-5: Resultados da Potência de Transmissão para simulação com 2000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	Potência de Transmissão Média (mW)	Redução da Potência de Transmissão (%)	Intervalo de Confiança Inferior (mW)	Intervalo de Confiança Superior (mW)
30	80	22,70	24,32	22,69	22,72
30	100	24,41	18,63	24,39	24,43
50	80	41,15	17,69	41,13	41,18
50	100	43,86	12,28	43,84	43,88
80	80	70,84	11,45	70,81	70,87
80	100	73,78	7,78	73,75	73,80
100	80	90,90	9,10	90,87	90,93
100	100	93,84	6,16	93,82	93,87

No próximo tópico serão analisados os valores de SINR para os cenários analisados neste tópico. No final do próximo tópico será possível analisar de forma mais detalhada se a redução da potência de transmissão máxima incrementa os valores de SINR.

5.1.3. Avaliação dos valores médios de SINR

Neste tópico são analisados os resultados de SINR médio para cada um dos cenários da Tabela 5-1. Foram simulados os mesmos quatro cenários: (i) 250, (ii) 500, (iii) 1000 e (iv) 2000 veículos. Para cada um dos cenários, foram simuladas variações na potência de transmissão inicial entre 30 e 100mW e sua área de interesse, entre 80x80 quadras e 100x100 quadras.

Nesta análise, são comparados os valores médios de SINR para os diversos cenários. Na simulação de 250 veículos, disponível na Tabela 5-6, é sutil, porém perceptível, a diferença entre os valores de SINR dos cenários de área de interesse de 80x80 quadras e 100x100 quadras. No caso de maior concentração, é possível notar que os valores de SINR são superiores. Além disso, é possível notar que para mesmos valores de concentração veicular,

porém maior potência de transmissão inicial, os valores de SINR se mantêm superiores, à medida que a potência de transmissão é aumentada.

Estes resultados mostram que para cenários críticos, onde há uma maior concentração veicular, com potências de transmissão superiores, há maiores valores também para a SINR e, conseqüentemente, para as taxas de transmissão de cada nó na rede.

Tabela 5-6: Resultados de SINR para simulação com 250 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	39,79	36,91	41,82
30	100	39,48	36,21	41,64
50	80	42,01	38,99	44,05
50	100	41,69	38,34	43,87
80	80	47,33	44,08	49,69
80	100	44,16	42,46	45,56
100	80	45,02	42,17	47,09
100	100	44,71	41,67	46,77

Assim, nota-se que os cenários em que há grande concentração, a relação sinal ruído e interferência (SINR), se apresenta com valores superiores aos com menor concentração, mesmo reduzindo a potência de transmissão, o que pode ser observado na Figura 5-1.

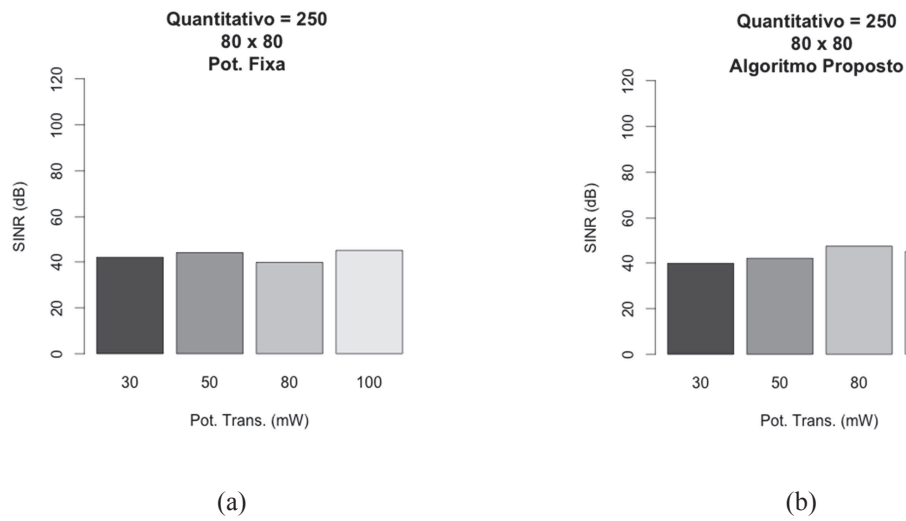


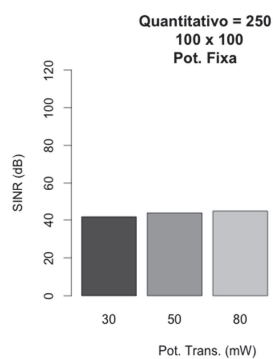
Figura 5-1: SINR Médio para simulação de 250 veículos em *grid* de 80x80 com: (a) Potência Fixa
(b) Algoritmo Proposto.

Além do cenário utilizando o algoritmo proposto, foi analisado um cenário onde a potência de transmissão se mantém constante em 30, 50, 80 e 100mW, em cenários de 80x80 e 100x100 quadras, simulando 250 veículos.

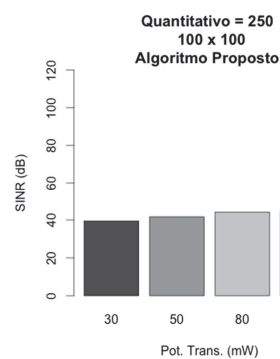
Tabela 5-7: Resultados de SINR para simulação com 250 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	39,80	36,87	41,88
30	100	39,48	36,16	41,73
50	80	42,01	39,12	44,07
50	100	41,70	38,33	43,89
80	80	44,05	41,17	46,12
80	100	43,75	40,45	45,88
100	80	45,02	42,38	47,19
100	100	44,71	41,49	46,86

O que pode ser notado com a Tabela 5-7 é que, da mesma forma como nos resultados do algoritmo proposto, há valores superiores de SINR nos cenários com maior concentração veicular. Nota-se assim que os valores de SINR superiores em áreas mais concentradas se deve ao fato de nestas áreas os veículos estarem a uma distância menor e terem sinais mais fortes de recepção dos quadros.



(a)



(b)

Figura 5-2: SINR Médio para simulação de 250 veículos em *grid* de 100x100 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.

Uma redução na SINR nos cenários onde se tem 100x100 quadras mostra que os veículos estão afastados a ponto de a SINR ser reduzida. O algoritmo proposto então reduz a

potência de transmissão sem reduzir a SINR para este cenário. Ou seja, com uma maior concentração veicular, o que resulta em maior interferência, obtém-se uma redução na potência de transmissão média sem reduzir a SINR médio dos veículos.

Na Tabela 5-8 é mostrado que para cenários de maior concentração, os resultados de SINR são superiores aos cenários de menor concentração para a simulação com 500 veículos.

Tabela 5-8: Resultados de SINR para simulação com 500 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	88,18	82,17	91,21
30	100	36,99	36,02	37,80
50	80	90,37	84,20	93,42
50	100	39,22	38,31	39,98
80	80	92,38	86,20	95,43
80	100	41,27	40,41	42,07
100	80	93,38	87,30	96,41
100	100	42,25	41,37	43,12

Também é possível notar um aumento na SINR à medida que a potência de transmissão inicial é incrementada, como também pode ser observado na Figura 5-3.

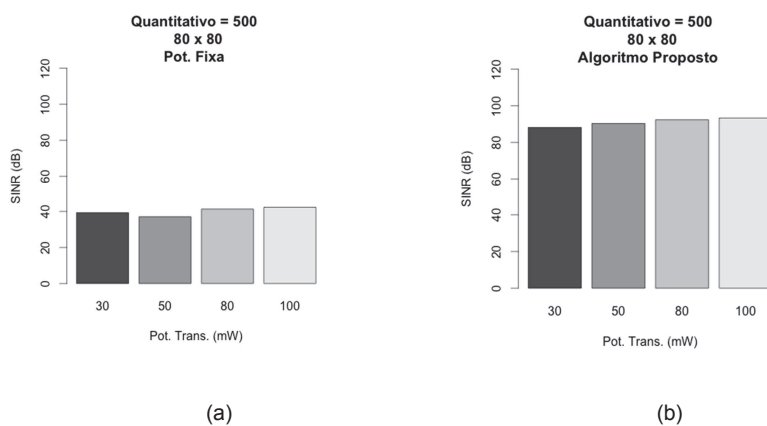


Figura 5-3: SINR Médio para simulação de 500 veículos em *grid* de 80x80 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.

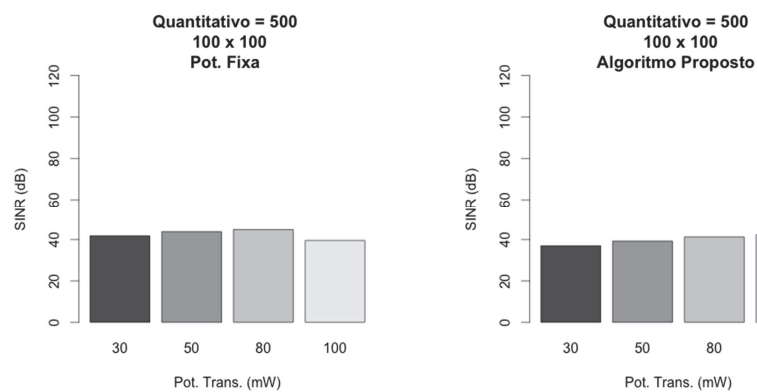
Os resultados para a simulação com 500 veículos e potências fixas estão mostrados na Tabela 5-9. O que pode ser notado com estes resultados é que os valores de SINR para o

cenário de área de interesse de 100x100 quadras é bem próximo, mostrando que não há uma diferença substancial na redução da potência de transmissão em termos de SINR.

Tabela 5-9: Resultados de SINR para simulação com 500 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	39,57	37,57	41,24
30	100	37,07	36,29	37,79
50	80	41,79	39,73	43,48
50	100	39,28	38,50	40,04
80	80	43,82	41,73	45,49
80	100	41,34	40,57	42,04
100	80	44,80	42,76	46,68
100	100	42,30	41,55	43,03

Porém, para os cenários de área de interesse de 80x80 quadras houve uma diferença na SINR encontrada. Foram obtidos valores inferiores de SINR nos casos do algoritmo proposto, como pode ser observado também na Figura 5-4.



(a)

(b)

Figura 5-4: SINR Médio para simulação de 500 veículos em *grid* de 100x100 com: (a) Potência Fixa
(b) Algoritmo Proposto.

Para a simulação de 1000 veículos, é possível notar também uma melhora dos valores de SINR médio à medida que há uma maior concentração veicular.

Tabela 5-10: Resultados de SINR para simulação com 1000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	82,53	79,01	84,76
30	100	37,04	36,12	37,91
50	80	84,73	81,17	86,95
50	100	39,30	38,43	40,25
80	80	83,12	77,10	86,14
80	100	41,34	40,49	42,15
100	80	87,75	84,22	89,97
100	100	42,30	41,43	43,12

Este valor é mais perceptível com o aumento da concentração veicular, ou seja, quando se comparam resultados de potência de transmissão veicular entre cenários de 80x80 quadras e 100x100 quadras.

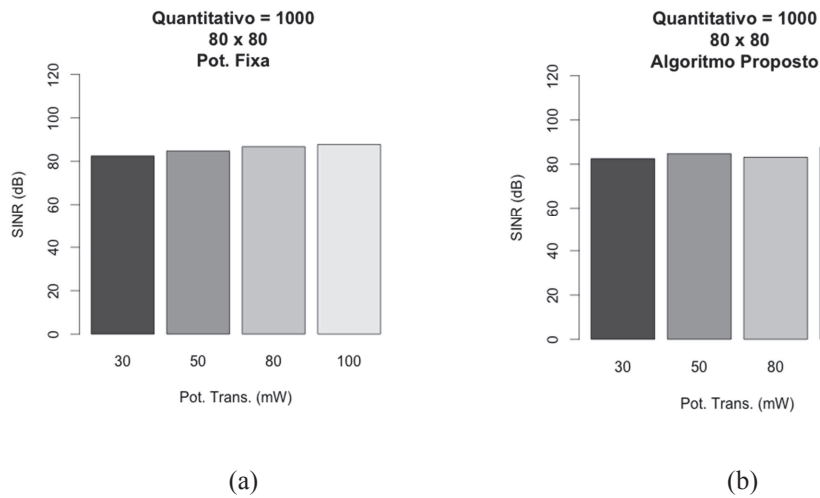


Figura 5-5: SINR Médio para simulação de 1000 veículos em *grid* de 80x80 com: (a) Potência Fixa
(b) Algoritmo Proposto.

Como foi demonstrado anteriormente, a Tabela 5-11 confirma os resultados anteriores. Os resultados de SINR para os cenários de 1000 veículos com potência fixa e com algoritmo proposto são aproximadamente iguais. O que demonstra que para este cenário, não há prejuízo em termos de SINR com o uso deste.

Tabela 5-11: Resultados de SINR para simulação com 1000 veículos para potências fixas de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	82,53	79,01	85,04
30	100	37,09	36,22	37,91
50	80	84,76	81,24	86,97
50	100	39,31	38,44	40,17
80	80	86,79	82,01	89,29
80	100	41,30	40,41	42,17
100	80	87,76	82,99	90,25
100	100	42,33	41,37	43,14

Porém, é notória a redução da potência de transmissão entre os cenários de potência fixa e controlada pelo algoritmo. O que mostra que apesar de uma redução na potência de transmissão média, que pode chegar a 8% nestes cenários, não interfere nos resultados de SINR do cenário proposto.

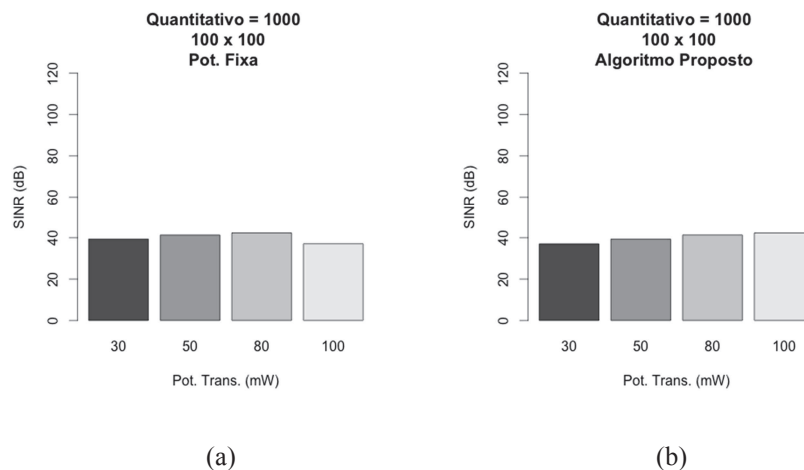


Figura 5-6: SINR Médio para simulação de 1000 veículos em *grid* de 100x100 com: (a) Potência Fixa (b) Algoritmo Proposto.

Por fim, os cenários com 2000 veículos simulados apresentam resultados que, de uma forma macro, têm conclusões idênticas aos cenários com 250, 500 e 1000 veículos. É possível notar que nos cenários com maior concentração de veículos, ou seja, cenário com *grid* de 80x80 quadras, os resultados de SINR médio são superiores aos de 100x100 quadras.

Tabela 5-12: Resultados de SINR para simulação com 2000 veículos para potências iniciais de: (i) 30mW, (ii) 50mW, (iii) 80mW e (iv) 100mW.

Potência Inicial (mW)	Área de Interesse	SINR Médio (dB)	Intervalo de Confiança Inferior (dB)	Intervalo de Confiança Superior (dB)
30	80	75,40	71,70	78,10
30	100	68,39	36,25	73,16
50	80	78,15	73,60	80,33

50	100	70,61	38,52	76,63
80	80	79,67	74,23	82,36
80	100	72,65	40,57	77,42
100	80	80,64	75,20	83,32
100	100	73,62	41,55	78,39

Como comparação entre os resultados de SINR entre o algoritmo proposto e a potência fixa, foi possível notar que é possível reduzir em até 24% a potência de transmissão de um nó sem reduzir valores de SINR. Foram realizadas simulações com potência fixa e controlada pelo algoritmo proposto. Cenários foram simulados com diversas rotas veiculares, mais especificamente 30 rotas veiculares para cada cenário estudado.

6. Conclusão

O estudo de VANETs está cada vez mais presente em pesquisas que envolvem desde aplicações para VANETs a soluções para roteamento eficiente, eficiência energética com controle de potência de transmissão, controle de mensagens através de QoS aplicado a VANETs e muitos outros.

A teoria dos jogos está presente em vários trabalhos que não só se limitam à economia. São muitos trabalhos em redes de sensores, redes móveis celulares, VANETs, robótica, mobilidade urbana e outros. Apesar de ser uma subárea da matemática que apresenta um elevado grau de dificuldade e uma certa limitação de bibliografia, é bastante aplicada e possui bastante flexibilidade para ser aplicada em diversos cenários.

O algoritmo proposto demonstra resultados interessantes no incremento de SINR, mesmo com a redução de potência de transmissão. São analisados cenários diversos, levando em consideração variação de variáveis independentes como dimensão da área de interesse, número de veículos simulados, potência de transmissão inicial. Já as variáveis dependentes: SINR, taxa de transmissão e potência de transmissão instantânea são analisados a fim de validar o modelo teórico.

Foi proposto, analisado teoricamente, demonstrada no Capítulo 2, e através de simulações, demonstrado no Capítulo 5, um algoritmo utilizando teoria dos jogos. Este algoritmo foi analisado teoricamente utilizando teoria dos jogos não cooperativos. Foi demonstrado que há um equilíbrio de Nash que garante que a função utilidade proposta é factível de ser utilizada na prática. Por fim, foi demonstrado através das simulações que os resultados de SINR são mantidos constantes, com o uso do algoritmo proposto. Além disto, é demonstrado que em determinados cenários, o uso do algoritmo reduziu de forma mais drástica a potência de transmissão média dos veículos.

6.1. Contribuições

As principais contribuições deste trabalho serão resumidas como resposta às perguntas que foram deixadas como perguntas de pesquisa.

Q1) É possível obter uma maior taxa de transmissão, induzindo veículos a diminuir sua potência de transmissão para maximizar seu *payoff*?

A1) Como foi mostrado no capítulo de resultados, foi proposto um algoritmo baseado em teoria dos jogos que possibilita uma redução substancial na potência de transmissão, sem diminuir a SINR para o cenário proposto.

Q2) Como devemos mensurar a melhoria de desempenho? Quais métricas utilizar?

A2) As métricas utilizadas neste trabalho foram: interferência em cada nó, taxa de transmissão e SINR. A mensuração foi realizada em cada nó, quando havia uma transmissão. Para cada cenário foram realizadas trinta simulações. Cada métrica foi analisada e uma média foi calculada para cada cenário.

Q3) É possível aplicar teoria dos jogos em um cenário de VANETs? Que tipo de modelagem formal deve ser utilizada?

A2) Como foi visto no levantamento do estado da arte, várias abordagens tem sido utilizadas aplicando teoria dos jogos. Desde abordagens utilizando jogos cooperativos de coalizão a jogos não cooperativos foram utilizados. Dependendo do cenário em estudo, uma ou outra abordagem se torna mais eficiente. No caso deste trabalho, foi analisada a aplicação de teoria dos jogos não cooperativos.

Q4) É possível modelar matematicamente o cenário para induzir os veículos a cooperarem entre si em uma coalizão? Quais condições garantem uma coalizão eficiente?

A4) Foi visto que teoricamente é possível modelar matematicamente o cenário com um jogo cooperativo de coalizão. Um trabalho futuro é o de simular esta aplicação utilizando o Veins e realizar uma comparação com o caso não cooperativo e com outras propostas de controle de potência de transmissão.

Q5) É possível obter melhores resultados de SINR de um algoritmo não cooperativo de controle de potência de transmissão, em relação a um comportamento de potência de transmissão fixa?

A5) De acordo com as simulações para os cenários de 250, 500 e 1000 veículos, de uma forma geral, os resultados foram de uma redução nas potências médias de transmissão, porém com valores de SINR se mantendo constantes.

Q6) Como comparar os resultados de jogos não cooperativos e de potência fixa? Quão convergente são estes resultados? Existe um equilíbrio de Nash para a modelagem de jogo não cooperativo proposto?

A6) Foi demonstrado teoricamente que existe um equilíbrio de Nash para o cenário proposto. Também foi demonstrado através de simulações que, em média, obtém-se valores de SINR superiores em simulações cuja concentração veicular é maior. Quando comparando cenários com algoritmo proposto e potência fixa, foi possível notar que, via de regra, as potências de transmissão foram reduzidas, sem comprometer os valores de SINR.

Q7) Qual a metodologia de análise de desempenho?

A7) A análise quantitativa leva em consideração a variação de algumas variáveis independentes e analisar como cada variável dependente era afetada, em cada um dos cenários propostos.

6.2 Limitações

Uma limitação clara desta abordagem é o seu uso para cenários de pouco tráfego. Neste cenário, somente haveria a real necessidade de um controle de potência de transmissão com o objetivo de redução de potência de transmissão, para efeitos de redução do consumo de energia dos dispositivos. Neste cenário em específico, dependendo das necessidades de comunicação, haveria uma necessidade de aumento de potência de transmissão para enviar informações a uma RSU distante. Em um cenário de maior concentração veicular, haveria uma comunicação utilizando outros veículos (V2V) como *relays*.

Por necessitar de informações de potência de transmissão que foi transmitido o *airframe* no par de comunicação, esta é uma limitação por adicionar *overhead* na comunicação. Além disso, a simulação não foi realizada com um protocolo de roteamento entre origem e destino.

6.3 Dificuldades Encontradas

De uma forma geral, o trabalho foi dividido nas seguintes etapas: (i) levantamento bibliográfico de VANETs, (ii) levantamento bibliográfico de Teoria dos Jogos, (iii) estudo de teoria dos jogos, (iv) definição de abordagem de GT a ser utilizada, (v) estudo de simuladores ou arcabouços, (vi) desenvolvimento de ambiente de simulação utilizando o Veins, (vii) desenvolvimento de *scripts* de automatização de simulações, (viii) processamento de dados.

As maiores dificuldades nas etapas (i), (ii), (iii) e (iv) são descritas a seguir. A teoria dos jogos em si é um assunto que em si é bastante dinâmico em suas aplicações. Porém, sua dinâmica é proporcional ao seu grau de dificuldade e relativos poucos textos que podem ser considerados como bibliografia. Além disto, como é utilizado de forma massiva em economia, ela se desenvolveu bastante, criando várias ramificações. Então, para analisar qual a melhor ramificação da teoria dos jogos escolher, é necessário ter uma ideia, pelo menos, básica de cada uma de suas áreas. Isto tudo gera uma maior dificuldade na elaboração do projeto.

Para as etapas (v) e (vi) as seguintes dificuldades foram encontradas. Apesar de existir uma grande quantidade de estudo na área de VANETs, não existe um simulador bem definido e confiável, dificultando assim o trabalho do pesquisador na área. As ferramentas disponíveis são arcabouços, a exemplo do Veins, que são bastante abertos e necessitam de um elevado nível de esforço para montagem de um cenário de simulação confiável e eficiente. Assim, foi despendido um tempo razoável na configuração de tal arcabouço para montar as simulações.

Para as etapas (vii) e (viii) foram encontradas as seguintes dificuldades. Como as simulações são realizadas diversas vezes, de forma repetitiva, e necessitam de um elevado grau de desempenho das máquinas, o tempo de simulação ainda é muito elevado. Apesar das simulações individuais não serem muito longas, como são realizadas muitas simulações, o intervalo acumulado é bastante elevado. Além deste fator, são necessários *scripts* externos para automatização das simulações. O OMNet++ não apresenta uma interface amigável para automatização de simulações em massa. Apesar disto, pode ser rodada através de linhas de comando, porém com poucas opções para as simulações. Estes fatores dificultam bastante a automatização das simulações.

6.4 Trabalhos Futuros

Os principais pontos de atenção que podem ser utilizados como trabalhos futuros podem ser apresentados abaixo:

- Incorporar algoritmos de roteamento para analisar de forma mais ampla os benefícios do algoritmo proposto.
- Propostas de algoritmo não cooperativo de incremento de SINR para cenários onde não haja alta concentração veicular.
- Estudo de viabilidade no uso de Jogos Cooperativos (JC) na diminuição da SINR em VANETs.
- Desenvolver algoritmo cooperativo e não cooperativo que controle o tipo de modulação, além da potência de transmissão.

Referências

- ALSKAIF, T.; ZAPATA, M. G.; BELLALTA, B. Game theory for energy efficiency in Wireless Sensor Networks: Latest trends. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 54, p. 33-61, 2015.
- AL-TOUS, H.; BARHUMI, A. I. Joint Power and Bandwidth Allocation for Amplify-and-Forward Cooperative Communications Using Stackelberg Game. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 62, n. 4, p. 1678-1691, 2013.
- AL-TOUS, H.; BARHUMI, I. Joint Power and Bandwidth Allocation for Amplify-and-Forward Cooperative Communications Using Stackelberg Game. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 62, n. 4, p. 1678-1691, 2013.
- CAMARA, D.; BONNET, C.; FILALI, F. **Propagation of public safety warning messages: A delay tolerant network approach**. Proc. IEEE Wireless Commun. [S.l.]: [s.n.]. 2010. p. 1-6.
- CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. **WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING**, Golden, p. 483-502, 2002.
- CAO, Q.; ZHAO, H. V.; JING, Y. Power Allocation and Pricing in Multiuser Relay Networks Using Stackelberg and Bargaining Games. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 61, n. 7, p. 3177-3190, 2012.
- CHEN, T. et al. Stimulating Cooperation in Vehicular Ad Hoc Networks: A Coalitional Game Theoretic Approach. **Vehicular Technology, IEEE Transactions on**, v. 60, n. 2, p. 566 - 579, 2010.
- CHEN, X. Decentralized Computation Offloading Game for Mobile Cloud Computing. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, v. 26, n. 4, 2014.
- DIAS, J. A. F. F.; RODRIGUES, J. J. P. C.; ZHOU, L. Cooperation advances on vehicular communications: A survey. **Vehicular Communications**, v. 1, n. 1, p. 22-32, 2014.

DOUROS, V. G.; POLYZOS, A. G. C. Review of some fundamental approaches for power control in wireless networks. **Computer Communications**, 34, n. 13, 2011. 1580–1592.

ETSI. **Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 2: Scenarios**. ETSI. [S.l.], p. 1-10. 2013. (1.2.1).

FCC. The Official FCC Blog, February 2015. Disponivel em: <<https://www.fcc.gov/blog/driving-wi-fi-ahead-upper-5-ghz-band>>. Acesso em: 24 July 2015.

FOGUE, M. M. F. J. et al. Securing Warning Message Dissemination in VANETs Using Cooperative Neighbor Position Verification. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 64, n. 6, p. 2538 - 2550, 2015.

FUJITSU. FUJITSU Network BroadOne LTE Femtocell Systems , 2013. Disponivel em: <<http://www.fujitsu.com/global/products/network/products/femto/>>. Acesso em: 2014.

HA, V. N.; LE, L. B. Distributed Base Station Association and Power Control for Heterogeneous Cellular Networks. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 63, n. 1, p. 282-296, 2014.

HAIDER, F. et al. Spectral-Energy Efficiency Trade-off of Cellular Systems with Mobile Femtocell Deployment. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. PP, n. 99, p. 1-12, 2015.

HAMOUDA, S.; CHAABANE, I. B.; TABBANE, S. Cooperative Bandwidth Sharing for Relaying in LTE-Advanced Using Game Theory. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 64, n. 6, p. 2306-2317, 2015.

HAN, Z. et al. **Game Theory in Wireless and Communication Networks: Theory, Models, and Applications**. New York: Cambridge University Press, 2012.

HAN, Z.; LIU, K. J. R. Noncooperative Power-Control Game and Throughput Game Over Wireless Networks. **IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS**, v. 53, n. 10, p. 1625-1629, 2005.

IEEE Standard Association, 2014. Disponivel em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/1609.0-2013.html>>. Acesso em: 2014.

ILHAN, H.; UYSAL, M.; AND ALTUNBAS, I. Cooperative Diversity for Intervehicular Communication: Performance Analysis and Optimization. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Singapore, v. 58, n. 7, p. 3301 - 3310, 2009.

JESUDOSS, A.; RAJA, S. V. K.; SULAIMAN, A. Stimulating truth-telling and cooperation among nodes in VANETs through payment and punishment scheme. **Ad Hoc Networks**, v. 24, p. 250-263, 2015.

JHANG, M.-F.; LIAO, W. **On Cooperative and Opportunistic Channel Access for Vehicle to Roadside (V2R) Communications**. Global Telecommunications Conference. [S.l.]: IEEE Globecom. 2008. p. 1-5.

JIA, D.; LU, K.; WANG, J. A Disturbance-Adaptive Design for VANET-Enabled Vehicle Platoon. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, 63, n. 2, 2014. 527-539.

JOHN F. NASH, J. Equilibrium points in n-person games, v. 36, n. 1, p. 48-49, 16 November 1949.

KARL WESSEL, M. S. A. K. D. W. **Overview, MiXiM – The Physical Layer An Architecture**. In Proceeding of the 2. International Workshop on OMNeT++. Rome: [s.n.]. 2009.

KHAYATIAN, H.; SAADAT, R.; ABOUEI, J. Coalition-Based Approaches for Joint Power Control and Relay Selection in Cooperative Networks. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 62, n. 2, p. 835 - 842, 2013.

KNORR, F. et al. Reducing Traffic Jams via VANETs. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 61, n. 8, p. 3490-3498, 2012.

LEI, L. et al. Operator controlled deviceto-deviceto-communications in LTE-advanced networks. **IEEE Wireless Communications**, 19, n. 3, 2012. 96-104.

LI, Y. et al. Coalitional Games for Resource Allocation in the Device-to-Device Uplink Underlying Cellular Networks. **IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS**, v. 13, n. 7, p. 3965-3977, 2014.

MATHEWS, D. A. K. B.; RADHA, S. **Dynamic Pricing Approach for Cooperation Stimulation and QoS in Mobile Ad Hoc Networks**. Computational Science and Engineering. Sao Paulo: IEEE. 2008. p. 388 - 393.

MICHAEL BEHRISCH, L. B. J. E. D. K. **SUMO – Simulation of Urban MObility An Overview**. Berlin: SIMUL 2011 : The Third International Conference on Advances in System Simulation , 2011. 55-60 p.

NASH, J. The bargaining problem. **Econometrica**, v. 18, n. 2, p. 155-162, April 1950.

NIYATO, D.; HOSSAIN, A. E. A Unified Framework for Optimal Wireless Access for Data Streaming Over Vehicle-to-Roadside Communications. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 59, n. 6, p. 3025-3035, Jly 2010.

NS-2. Disponivel em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>.

OMNET++ , 2001. Disponivel em: <<https://omnetpp.org>>. Acesso em: Julho 2014.

PANTISANO, F. et al. Interference Alignment for Cooperative Femtocell Networks: A Game-Theoretic Approach. **EEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING**, v. 12, n. 11, p. 2233-2246, 2013.

PETERS, H. **Game Theory: A Multi-Leveled Approach**. Berlin: Springer, 2008.

RAWAT, D. B.; POPESCU, D. C.; OLARIU, G. Y. A. S. Enhancing VANET Performance by Joint Adaptation of Transmission Power and Contention Window Size. **IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS**, v. 22, n. 9, p. 1528-1535, 2011.

R-FOUNDATION. R. **R**, 2015. Disponivel em: <<https://www.r-project.org>>. Acesso em: 2014.

RUBINSTEIN, M. G. et al. A Survey on Wireless Ad Hoc Networks. **Mobile and Wireless Communication Networks**, v. 211, p. 1-33, 2006.

SAAD, W. et al. Coalition Formation Games for Distributed Cooperation Among Roadside Units in Vehicular Networks. **IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS**, v. 29, n. 1, p. 48-60, 2011.

- SHIVSHANKAR, S.; JAMALIPOUR, A. An Evolutionary Game Theory-Based Approach to Cooperation in VANETs Under Different Network Conditions. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 64, n. 5, p. 2015-2022, 2015.
- SHRESTHA, B. et al. Wireless Access in Vehicular Environments Using BitTorrent and Bargaining, p. 1-5, 2008.
- SMITH, D. B. et al. Multi-Source–Destination Distributed Wireless Networks: Pareto-Efficient Dynamic Power Control Game With Rapid Convergence. **Vehicular Technology, IEEE Transactions on**, v. 63, n. 6, p. 2744 - 2754, 2014.
- SUDIP MISRA, P. V. K. A. B. A. S. C. B. E. W. C. L. A learning automata-based fault-tolerant routing algorithm for mobile ad hoc networks. **The Journal of Supercomputing**, v. 62, n. 1, p. 4-23, 2012.
- SUMO. Tools/Trip. **Tools/Trip**, 2013. Disponível em: <<http://sumo.dlr.de/wiki/Tools/Trip>>. Acesso em: 4 May 2014.
- TINGTING CHEN, L. Z. F. W. S. Z. Stimulating Cooperation in Vehicular Ad Hoc Networks: A Coalitional Game Theoretic Approach. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, -, v. 60, n. 2, p. 566 - 579, 2011.
- TOOR, Y. et al. VEHICLE AD HOC NETWORKS: APPLICATIONS AND RELATED TECHNICAL ISSUES. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 10, n. 3, p. 74-88, 2008.
- TRESTIAN, R.; ORMOND, O.; MUNTEAN, G. Game Theory-Based Network Selection: Solutions and Challenges. **IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS**, 14, n. 4, 2012. 1212-1231.
- VEINS - Vehicles in Network Simulations, 2006. Disponível em: <<http://veins.car2x.org>>. Acesso em: July 2014.
- WANG, C.-X.; CHENG, X.; LAURENSEN, D. I. Vehicle-to-Vehicle Channel Modeling and Measurements: Recent Advances and Future Challenges. **TOPICS IN AUTOMOTIVE NETWORKING**, v. 47, n. 11, 2009.

WANG, Q.; FAN, P.; LETAIEF, K. B. On the Joint V2I and V2V Scheduling for Cooperative VANETs With Network Coding. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 61, n. 1, p. 62-73, 2012.

WEHRLE, K.; GÜNES, M.; GROSS, J. **Modeling and Tools for Network Simulation**. [S.l.]: Springer, 2010. 256 p.

WU, H. et al. Efficiency of simulated vehicle-to-vehicle message propagation. **Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board**, v. 110, p. 82-89, 2005.

YANG, C.-G.; LI, J.-D.; TIAN, Z. Optimal Power Control for Cognitive Radio Networks Under Coupled Interference Constraints: A Cooperative Game-Theoretic Perspective. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 59, n. 4, p. 1696-1706, 2010.

YERRAMALLI, S.; JAIN, R.; AND URBASHI MITRA. Coalitional Games for Transmitter Cooperation in MIMO Multiple Access Channels. **IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING**, 62, n. 4, 2014. 757-771.

YUYI LI, K. Y. P. C. H. Y. A. H. L. Cooperative Data Dissemination in Cellular-VANET Heterogeneous Wireless Networks , 2012.

ZHANG, J. et al. **Information Dissemination in Vehicular Networks via Evolutionary Game Theory**. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 125-129.

ZHANG, Z.; MAO, G.; ANDERSON, B. D. O. On the Information Propagation Process in Mobile Vehicular Ad Hoc Networks. **IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY**, v. 60, 2011.