

Leonardo Augusto Gomes da Silva
Orientador: Profa. Dra. Deborah Maria Vieira Magalhães
Co-orientador: Esp. Pablo De Abreu Vieira

Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 em Redes Veiculares

Picos - PI
13 de Novembro de 2017

Leonardo Augusto Gomes da Silva
Orientador: Profa. Dra. Deborah Maria Vieira Magalhães
Co-orientador: Esp. Pablo De Abreu Vieira

Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 em Redes Veiculares

Monografia submetida ao Curso em Bacharelado em Sistemas de Informação como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
13 de Novembro de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

S586a Silva, Leonardo Augusto Gomes da
Avaliação do padrão IEEE 802.15.4 em redes veiculares /
Leonardo Augusto Gomes da Silva.– 2017.
CD-ROM : il.; 4 ¾ pol. (53 f.)
Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Sistemas
de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2018.
Orientador(A): Prof. Dra. Deborah Maria Vieira Magalhães
Coorientador: Esp. Pablo de Abreu Vieira

1. Redes Veiculares. 2.Zigbee 3.DoE (*Desig of Experiment*). I. Título.

CDD 004.62

AVALIAÇÃO DO PADRÃO IEEE 802.15.4 EM REDES VEICULARES

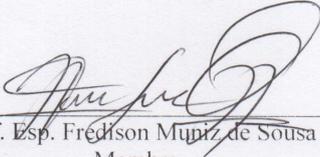
LEONARDO AUGUSTO GOMES DA SILVA

Monografia Aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

Picos – PI, 08 de Novembro de 2017

Deborah Maria Vieira Magalhães
Prof.^a. Dra. Deborah Maria Vieira Magalhães
Orientador


Prof. Esp. Fredison Murtiz de Sousa
Membro

Francisca Pâmela Carvalho Nunes
Prof.^a. Ma. Francisca Pâmela Carvalho Nunes
Membro

Agradecimentos

Deixo meus agradecimentos primeiramente a Deus por me conceder suas graças e segundo a minha família; que em destaque está minha Mãe Dona Gicélia que foi a guerreira que começou com a história de um pequeno *nerd* magrelo na saga dos estudos para que um dia se tornasse um cidadão de bem, tudo em minha vida foi conquistado por causa dela, devo tudo a ela... Ao meu Avô Seu Martinho e a Minha Finada Avó Dona Ramos, e não posso esquecer da minha Tia Girlene e meu Tio Carlos ...

Não posso esquecer dos meus queridos irmãos de vida que escolhi como amigos. Essas pessoas foram as que me apoiaram e me incentivaram e cuidaram e continua cuidando de mim, que passaram bons e maus momentos ao meu lado. Para começar a grande lista agradeço ...

A toda a Família Lima, meu pai e mãe de consideração Pastor Francisco Lima e Irmã Marineyde, também ao meu *Brother* eterno Rhamon e seu irmãozinho Alepher ...

A família Camilo, Pastor Miqueias, Irmã Rosely, Nathan e a minha cantora favorita Naara que sempre será minha irmã que me dá os cascudos quando faço besteira ...

Ao meus Orientadores Pablo Abreu e Deborah Magalhães, que tiveram a grande bondade e coragem de me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho e por serem grandes inspirações como pessoas e pesquisadores vou leva-los pra vida ...

Aos meus fiéis irmãos e companheiros de guerra que fazem parte da *Família SI*, Leonardo de Jesus, Rafael Araújo, Jaqueline Campelo (Meu Braço Direito), Kécyo Kevinny, Diego Fernando, Diego Vasconcelo (Kirito), Carlos Henrique, Guilherme Dutra, Antônio de Carvalho e Fabrício Sousa. Sempre gosto de ressaltar que se eu cheguei até aqui não foi mérito só meu, sem a ajuda dessa turma não conseguiria lidar com tudo só; foi uma bela união de esforços...muitas noites de sono, muitos cafés tomados, muitas diversões e claro que não posso esquecer do querido Jogo *Call of Duty* que foi o grande unificador da turma toda; *Vida Longa a Zoeira* ...

Não posso esquecer de toda família do Diego Fernando, em especial a Dona Irani e Seu Rubens (Piloto dos Testes), sem eles nada do que foi conquistado nesse trabalho teria acontecido. Pessoas de boa vontade que se empenharam a ceder sua casa e seus recursos para a realização do experimento em campo ...

Aos meus loucos de pedras Laryssa (Injuança), Raphael Felipe (O Cara Louco), Eduardo (Dudú Perigoso), André (O Bacana) e Ingredy Alves (A revoltada), que entraram na minha vida pra deixar boas marcas e encher minha vida de alegria, nunca vou esquecer essa galera...

Ao Marlos Eduardo (Irmão Chato) meu amigo mais velho, criados juntos na mesma rua de terra, praticamente nos mesmo teto, posso viajar pra qualquer lugar ou passar anos vê-lo a amizade continua a mesma ...

Aos meus amigos do curso de história por sempre me apoiarem na minha trajetória acadêmica e pessoal, em especial a Frida (Mãezinha) e Sara (Nega do Coração) por sempre cuidarem do neguinho aqui...ainda do grupo dos historiadores Lincoln, Kaio Cesar (Gordelícia), Professor Mestre Fábio... Aos meus amigos matemáticos Mirele, Josenês, Jackeline e Grazielle que me deram uma força para me esforçar mais e mais ...

Nunca poderia esquecer da Thaliane minha Neguinha linda, que mesmo estando longe me apoiava como podia orando, dando forças e motivação como ninguém, para seguir em frente com os empecilhos que encontrava; foi de papel mais que crucial melhor pessoa do mundo ...

Agradeço também ao meu grande amigo Thiago Paes (O Bahia) que me ajudou em um momento que praticamente estava querendo desistir do curso por problemas pessoais, um bom amigo de bom coração, difícil de se achar ...

Ao Davi Luiz por ser essa pessoa tão iluminada que ajudou com o começo do meu pré-projeto, cedendo seus equipamentos para o início protótipo...Ao Antônio Júnior por também me ajudar com os materiais do protótipo e ajudar nos testes para a finalização do TCC final...Ao Rodrigo Carlos que me auxiliou na análises dos dados do projeto, foi de grande importância, e é claro, ao Meu Amigo Expert em Gibbs, Israel que no começo do curso deu aquela força em me ajudando como pode ...

Não importa o quão poderoso você se torne nunca tente fazer tudo sozinho, caso contrário irá falhar.

Uchiha Itachi (Naruto)

Resumo

As Redes Veiculares *ad hoc* (*Vehicular ad hoc Networks-VANETs*) são redes autogeradoras responsáveis pela entrega de pacotes sem a necessidade de controle totalmente centralizado. Apesar do empenho no desenvolvimento e padronização desta tecnologia, há uma grande dificuldade em adquirir rádio de comunicação especializada. O objetivo principal desta proposta avalia o uso do padrão IEEE 802.15.4 através dos módulos ZigBee como alternativa ao protocolo convencional IEEE 802.11p, verificando se os módulos atendem aos requisitos mínimos de latência, velocidade de conexão em modo *ad-hoc*, *broadcast* e distância para enlace. Os testes são realizados com o suporte do método estatístico DoE, que permite observar com maior profundidade, a taxa de entrega, a latência eo desempenho das métricas de throughput (taxa de transferência), considerando a variação dos fatores (tamanho do pacote e velocidade do veículo). Neste contexto, foi desenvolvido um protótipo de baixo custo capaz de fornecer comunicação ad hoc entre os componentes da rede de veículos. O padrão ZigBee é projetado para gerenciar quadros curtos a baixa latência. O tamanho do pacote é o fator de impacto mais relevante na latência. Os tamanhos de pacote de 80 a 100 bytes atingem uma latência média de 700 ms, sete vezes maior do que o requisito mínimo. Portanto, os pacotes grandes tornam o uso do protocolo inviável para aplicações baseadas em emergência de veículos. No entanto, o protocolo atende aos requisitos mínimos para pacotes curtos, mesmo quando o veículo atinge altas velocidades (80 km/h). Desta forma, pode ser usado para diferentes aplicações veiculares, tais como aplicativos de marketing para o tráfego e entretenimento, e pesquisa de mídia e entrega como envios de áudio ou comunicação de voz.

Palavras-chaves: Redes Veiculares. Zigbee. DoE (*Desing of Experiment*).

Abstract

VANETs ad-hoc mobile networks are self-generating networks responsible for delivering packages without the need for fully centralized control. Despite the engagement to the development and standardization of this technology, there is a great difficulty in acquiring specialized communication radio. The main goal of this proposal evaluates the usage of IEEE 802.15.4 standard via ZigBee modules as an alternative to the conventional IEEE 802.11p protocol, verifying if the modules meet the minimum requirements regarding latency, connection velocity in ad-hoc mode, permanent broadcast and link distance. The tests are carried out with the support of the DoE statistical method, which allows observing with greater depth, the delivery rate, latency and throughput metrics behavior, considering the factors variation (package size and vehicle speed). In this context, a low-cost prototype capable of providing ad-hoc communication between vehicular network components was developed. The ZigBee standard is designed to manage short frames and low latency. The package size is the most relevant impact factor in the latency. Package sizes of 80 to 100 bytes reach an average latency of 700 ms, seven times more than the minimum requirement. Therefore, large packets make the protocol usage unfeasible for vehicle emergency-based applications. However, the protocol meets the minimum requirements for short packets, even when the vehicle reaches high speeds (80 km/h). In this way, it can be used to different vehicular applications such as marketing applications for traffic and entertainment, and media searching and delivering as short audio submissions or voice communication.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura V2V- (<i>Vehicle-to-Vehicle</i>) adaptação (ALVES et al., 2009)	18
Figura 2 – Arquitetura V2I- (<i>Vehicle-to-Infrastructure</i>) adaptação (ALVES et al., 2009)	19
Figura 3 – Arquitetura V2X- (<i>Vehicle-to-Mean</i>) adaptação (ALVES et al., 2009)	19
Figura 4 – Dedicated short-range communications (GAO et al., 2008)	20
Figura 5 – Arquitetura WAVE (WANGHAM et al., 2014)	21
Figura 6 – Camadas do padrão ZigBee, camadas superiores em amarelo responsáveis pelo padrão ZigBee e camadas inferiores responsáveis pela IEEE 802.15.4 (ALLIANCE, 2016).	23
Figura 7 – Topologias de Uma rede ZigBee (GHAZY; OZKUL, 2009).	23
Figura 8 – Faixas de operações de canais (SANT’ANA, 2014).	25
Figura 9 – Arduino UNO (SOUZA; NASCIMENTO; FILHO, 2012).	27
Figura 10 – Prototipo onboard (unidade de bordo) a esquerda e offboard (unidade externa) à direita, montados com os módulos XBees.	33
Figura 11 – Interface de comunicação	33
Figura 12 – Cenário do experimento, lat:-6.9909894, long:-42.1385521,1149 (600.20 metros de comprimento) situado na cidade de Oeiras-PI	36
Figura 13 – Cenário do experimento (comportamento da transmissão ao longo do trajeto)	36
Figura 14 – Efeito principais para a latência	37
Figura 15 – Pareto de efeitos principais para a latência	38
Figura 16 – Efeito principais para a throughput	39
Figura 17 – Pareto de efeitos principais para a throughput	40
Figura 18 – Taxa de entrega para 40 km/h	41
Figura 19 – Taxa de entrega para 80 km/h	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Critérios de comparação entre os trabalhos correlatos e o trabalho atual	31
Tabela 2 – Requisitos para aplicações de trânsito (PAPADIMITRATOS et al., 2009)	32
Tabela 3 – Desenho do Experimento	34

Lista de abreviaturas e siglas

API	Application Programming Interface
APS	Application Sub Layer
BSS	Basic Service Set
CAN	Controller Area Network - Rede de controle serial multiplexada
DOE	Design of Experiment
DSRC	Dedicated Short-Range Communications
DTNs	Delay Tolerant Networks
GBPS	Gigabits
GBPS	Gigabits
GHz	Gigahertz
GMS	Sistema Global de Comunicação Móvel
GPS	Global Positioning System
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPV6	Internet Protocol version 6
ISO	International Organization for Standardization
KBPS	Kilobyte
KM/H	Kilometros por hora
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MANETZ	Mobile Ad Hoc Networks
MBPS	Megabits
MHZ	Megahertz

MS	Milisegundos
NWK	Network
OBUZ	Unidades de bordo
OSI	Open System Interconnection
PHYS	Physical
QOS	Quality of Service (Qualidade do Serviço)
RFCS	Request for Comments (ou "pedido para comentários" em português)
RSUS	Unidades de acostamento
TCP/IP	Transmission Control Protocol - Protocolo de Controle de Transmissão
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Mean
VANETS	Vehicular Ad Hoc Networks
VDTNS	Vehicular Delay Tolerants Networks
VOIP	Voice over Internet Protocol
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WSMP	WAVE Short Message Protocol
WSMP	WAVE Short Message Protocol
ZDO	ZigBee Device Object

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Contexto e Problema	15
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Contribuições	16
1.3.1	Principal	16
1.3.2	Secundária	16
1.4	Metodologia do Trabalho	16
1.5	Disposição do Trabalho	17
2	Referencial Teórico	18
2.1	MANETs e VANETs	18
2.2	Infraestruturas das Redes Veiculares	18
2.3	Protocolos VTDNs	20
2.4	Arquitetura WAVE	20
2.4.1	Família IEEE 1609	21
2.4.2	IEEE 802.11p	22
2.5	Padrão ZigBee	22
2.5.1	Padrão IEEE 802.15.4	22
2.5.2	Topologias	23
2.6	Módulos XBee	24
2.6.1	Pilhas de Protocolos	25
2.6.2	Tipos de Módulos	25
2.7	Plataforma Android	26
2.8	Arduino	26
3	Trabalhos Relacionados	28
4	Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 nas Redes Veiculares	32
4.1	Sistema	33
4.2	Desenvolvimento	34
4.3	Cenários	35
5	Resultados e Discussões	37
5.0.1	Latência na Arquitetura V2I	37

5.0.2	Throughput na Arquitetura V2I	39
5.0.3	Taxa de Entrega na Arquitetura V2I	41
6	Conclusão	43
6.1	Contribuições	44
6.2	Trabalhos Futuros	45
7	Publicações	46
	Referências	47
	Apêndices	50
APÊNDICE A	Código Python para o Script de Logs automatizados da RSU	51
APÊNDICE B	Código do Arduino (C++/C) do Nó Móvel	52
APÊNDICE C	Código Java da Aplicação Mibile da OBU	53

1 Introdução

As redes de computadores desde sua criação ganharam importância pois possibilitam a comunicação entre pessoas geograficamente distribuídas. Tal comunicação, atualmente, se dá principalmente através de dispositivos móveis com acesso a rede móvel que trocam informações constantemente (KUROSE; ROSS, 2006).

1.1 Contexto e Problema

As redes móveis *Ad Hoc* (*Mobile Ad Hoc Network MANETs*) possibilitam uma comunicação de dados entre dispositivos de forma dinâmica. Elas estabelecem uma estrutura flexível beneficiando aspectos de acessibilidade e mobilidade (ALVES et al., 2009).

As Redes Veiculares *Ad hoc* (*Vehicular Ad Hoc Network-VANET*) são uma vertente mais dinâmica das MANETs pois sua comunicação é realizada através de veículos (PALMEIRA; SANTOS, 2015). Elas são utilizadas principalmente para a segurança no trânsito, auxiliando os condutores nas estradas de possíveis acidentes e obstruções nas vias. Além de poderem ser usadas em sistemas de localização, entretenimento e suporte ao socorro de vítimas em locais de difícil acesso (ALVES et al., 2009).

Um conjunto de fatores ambientais e geográficos podem influenciar na atuação do rádio em ambientes de redes sem fio, por exemplo, o aumento da latência devido ao clima e relevo, colisões e perda de pacotes devido à interferência de obstáculos (KUROSE; ROSS, 2006). As VANETs são ainda mais inconsistentes e imprevisíveis devido à mobilidade de seus nós, fatores como velocidade e distância dos veículos dificultam o contato mínimo entre os mesmos para que ocorra o salto do pacote (informação) (SERRADO et al., 2014).

As aplicações funcionais são quase inexistentes e os trabalhos que focam em testes de campo são escassos por conta do alto custo da tecnologia e dificuldade ao seu acesso (MENG et al., 2015). Este fato levou ao surgimento de pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias economicamente viáveis que podem atingir desempenho e funcionalidades semelhantes aos das tecnologias para VANETs (BARCELOS et al., 2014). Trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de baratear o hardware e disponibilizar software *open source* resultando em protótipos de microcontroladores (JUNIOR et al., 2016).

1.2 Objetivos

Nesta seção será abordado com mais clareza os objetivos gerais e específicos esperados com a avaliação do padrão IEEE 802.15.4 para VANETs.

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa uma solução de baixo custo para comunicação entre veículo e infraestrutura nas vias. Tal proposta faz uso de módulos ZigBee (IEEE 802.15.4) como alternativa ao padrão IEEE 802.11p e sua avaliação é conduzida à luz das métricas vazão, latência e taxa de entrega no contexto da arquitetura V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um protótipo de testes para o envio e recebimento de dados em Redes Veiculares V2I, fazendo uso do ZigBee em modo *Ad Hoc*;
- Avaliar a viabilidade do protótipo verificando conforme o *workload* real das aplicações veiculares voltadas para o trânsito;
- Propor uma metodologia para avaliação de Redes Veiculares em cenário real se utilizando de métodos estatísticos.

1.3 Contribuições

1.3.1 Principal

Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 no contexto de VANETS apoiado pelo método estatístico DoE. A metodologia abordada avaliou o impacto do tamanho dos pacotes e velocidade do veículo na latência, taxa de entrega e *throughput*.

1.3.2 Secundária

O protótipo implementado teve um desempenho satisfatório na avaliação em ambiente real incluindo variação no *workloads*. Isso é relevante, visto que percebemos uma carência de experimentação real, devido ao custo, indisponibilidade de equipamento especializado e complexidade técnica. As tecnologias e técnicas utilizadas podem servir como escopo para trabalhos derivados contribuindo com a criação de novas técnicas de avaliação.

1.4 Metodologia do Trabalho

A investigação da literatura permitiu identificar um conjunto de técnicas e tecnologias mais adequadas para a construção do protótipo. A escolha dos módulos ZigBee está vinculada a seu funcionamento em modo Ad Hoc e por serem maleáveis. Permitindo que sejam facilmente integrados as outras tecnologias aplicadas como os microcontroladores. As técnicas estatísticas foram selecionadas buscando um diferencial em relação aos trabalhos recentes, almejando uma melhor análise do padrão IEEE 802.15.4 em um contexto

de comunicação de trânsito. Os experimentos foram conduzidos com o intuito de capturar medidas realistas no contexto de aplicações veiculares. Isso permitiu que a metodologia abordada alcançasse os objetivos propostos.

1.5 Disposição do Trabalho

Este trabalho está organizado como descrito a seguir. No Capítulo 2 apresenta o Referencial Teórico sobre aspectos das VANETs e das tecnologias usadas na proposta. No Capítulo 3 são apresentados os Trabalhos Relacionados. A Avaliação do Padrão IEE 802.15.4 nas Redes Veiculares, e ainda, construção do Protótipo no Capítulo 4. No Capítulo 5, são apresentados os principais resultados bem como suas discussões e, por fim, no Capítulo 6 as conclusões e considerações finais são apresentadas.

2 Referencial Teórico

2.1 MANETs e VANETs

As MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*) são redes caracterizadas em modo *ad hoc* por ter nós que apresentam grande liberdade, comunicando-se com outros nós enquanto se deslocam. Nessas redes os pacotes são constantemente perdidos ou corrompidos pela sua ampla dinamicidade pela movimentações dos dispositivos (COSTA, 2015)

Como um vertente das MANETs surgiram as VANETs que possuem as mesmas características de uma rede móvel. Com a diferença de que elas se tornam muito mais dinâmicas por sua troca de informações (dados) ocorrerem de veículo para veículo em baixas e altas velocidades. Isso torna a topologia da rede extremamente volátil e de difícil previsão. Tal fator levou a criação de protocolos oportunistas tolerantes a falhas que são chamados de VDTNs (Vehicular Delay Tolerants Networks) (PALMEIRA; SANTOS, 2015).

2.2 Infraestruturas das Redes Veiculares

Existem três arquiteturas presentes nas redes veiculares, que ditam como os nós são organizados para possibilitar a troca de dados. A arquitetura primária é conhecida como V2V-(Vehicle-to-Vehicle) em que os pacotes são passados de nó para nó, chamados de OBUs (Unidades de bordo) através de saltos (SERRADO et al., 2014). A vantagem dessa arquitetura é o baixo custo para sua implantação por ser mais simples. Porém como contra partida, apresenta constantes situações de desconectividade, pois faz-se necessário um tráfego considerável de veículos para a passagem de informação pela rede com mais facilidade (SERRADO et al., 2014). Na Figura 1 ilustra arquitetura V2V.

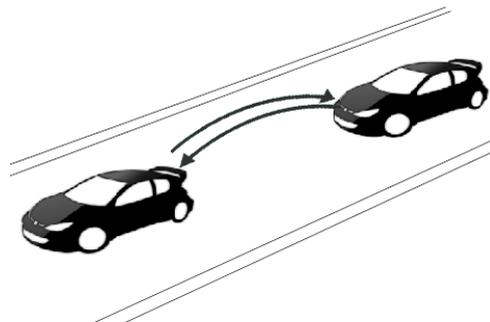


Figura 1: Arquitetura V2V- (*Vehicle-to-Vehicle*) adaptação (ALVES et al., 2009)

A segunda arquitetura é a V2I-(Vehicle-to-Infrastructure) caracterizada pela troca de pacotes de veículo para infraestrutura e de infraestrutura para veículo. Ela é formada

por nó móvel e estruturas fixas chamadas de RSUs (Unidades de acostamento) nas margens das vias. Conforme ilustrada na Figura 2. Sua principal vantagem é a possível solução do problema de tráfego de dados da V2V, pois procura resolver a desconectividade aumentando os contatos entre os nós e instalando transmissores ao longo das estradas (WANGHAM et al., 2014).

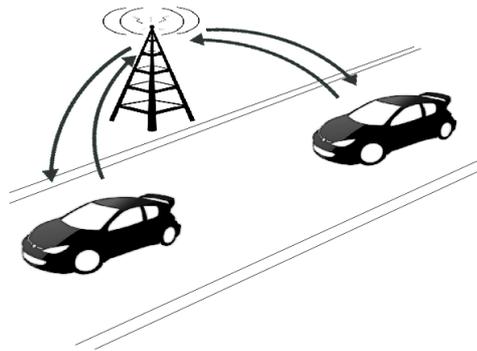


Figura 2: Arquitetura V2I- (*Vehicle-to-Infrastructure*) adaptação (ALVES et al., 2009)

A terceira última arquitetura é a V2X- (*Vehicle-to-Mean*) que mescla os pontos favoráveis das duas organizações anteriores, ou seja, ela aborda uma comunicação veículo para infraestrutura (vice-versa) e também uma comunicação veículo para veículo (SOARES et al., 2013). Na figura 3 ilustra a arquitetura V2X.

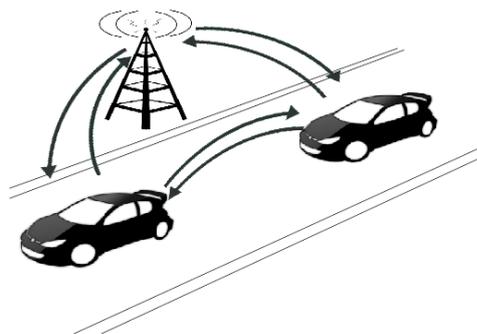


Figura 3: Arquitetura V2X- (*Vehicle-to-Mean*) adaptação (ALVES et al., 2009)

Ela se caracteriza híbrida devido a comunicação não possuir limites de direcionamento, ou seja, os nós móveis trocam informações entre eles e também diretamente com a infraestrutura, ou mesmo o salto de pacotes pode passar de OBU para OBU até chegar na infraestrutura. Ela tem menor custo de implementação por diminuir o número de RSUs, porém mais complexa para ser implantada, pois as rotas dos saltos podem ter inúmeras alternativas somando maior poder de processamento das aplicações envolvidas (PALMEIRA; SANTOS, 2015).

2.3 Protocolos VTDNs

Um conjunto de características muito peculiares podem influenciar a troca de informações nas VANETs, como: constante períodos de desconectividade, curto tempo para que ocorra o estabelecimento do enlace, constantes mudanças de topologia e trajetória dos veículos além de obstáculos de diversos tipos (SANT'ANA, 2014).

Para que ocorra uma maior garantia na entrega das informações, foram criados protocolos especiais que suportam as necessidades das aplicações. O encaminhamento das mensagens é um dos principais pontos das VANETs, devido à longos atrasos e frequentes desconexões há grande perda de informação, portanto os protocolos TCP/IP não são apropriados (SERRADO et al., 2014).

São utilizados em Redes Veiculares os protocolos VDTNs que são derivados dos DTNs (*Delay Tolerant Networks*). Eles permitem uma abordagem estratégica com um encaminhamento mais aprimorado para a entrega mais rápida da informação (GALVÁN et al., 2016). Como um exemplo desse tipo de protocolo o *GeOpps*, neste protocolo de estratégia de cópia única de pacote as informações são obtidas dos GPS dos veículos. As coordenadas são usadas para determinar que veículos se movimentarão até um ponto mais próximo, ou mais cedo, do nó de destino de um pacote (SOARES et al., 2013).

2.4 Arquitetura WAVE

Os primeiros passos dados para uma padronização das VANETs foram realizado no ano de 1999 nos Estados Unidos pela FCC, no qual foi separado uma faixa de frequências de 75 MHz em um espectro de 5,9 GHz. Ela é chamada de DSRC (*Dedicated short-range communications*) e foi dividida em 7 canais com 10 MHz, ainda com uma faixa de 5 MHz reservada nas extremidades das faixa, . A figura 4 apresenta a divisão dos canais.

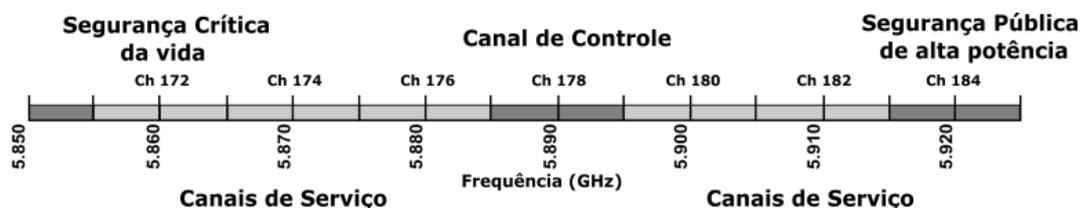


Figura 4: Dedicated short-range communications (GAO et al., 2008)

Desde o ano de 2004 o grupo de pesquisa do IEEE (do inglês Institute of Electrical and Electronics Engineers) vem somando esforços para o desenvolvimento e padronização das tecnologias voltadas para as VANETs. O padrão que vem sendo aperfeiçoado é conhecido como arquitetura WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*), constituído por padrão IEEE 802.11p que foi aliado ao IEEE 802.11 e por mais seis documentos da família

1609: IEEE P1609.0, IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE P1609.11 (WANGHAM et al., 2014). Conforme ilustrado na Figura 5.

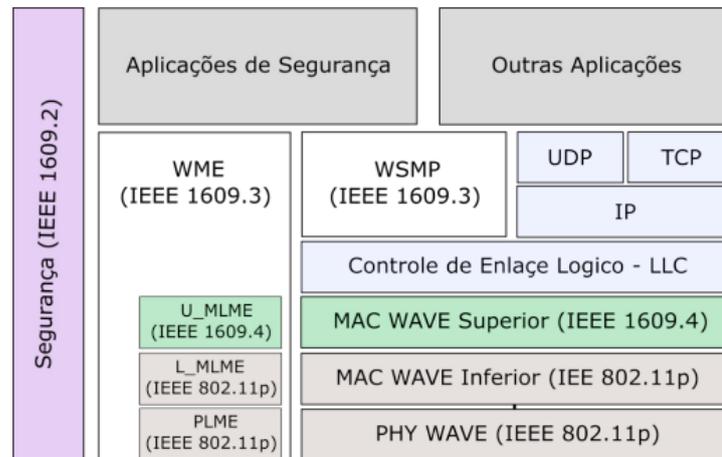


Figura 5: Arquitetura WAVE (WANGHAM et al., 2014)

2.4.1 Família IEEE 1609

Os documentos da Família IEEE 1609 tem como principal objetivo fornecer escopo para uma maior interoperabilidade entre as aplicações, buscando subtrair barreiras na comunicação e dispor mais conforto e conveniência ao usuário com dispositivos que se comunica com baixa latência e baixo *overhead* implementados em aplicações de segurança no trânsito (SOARES; GALENO; SOARES, 2016). Cada um dos seis documentos tem uma finalidade específica, sendo elas:

- IEEE P1609.0 - Descreve o funcionamento dos padrões e serviços para a arquitetura WAVE. Ele define como os dispositivos devem se comunicar usando múltiplos canais DSRC em um ambiente veicular de alta mobilidade;
- IEEE P1609.1 - Define o gerenciamento de recursos e fluxo de dados, além dos componentes básicos para a WAVE, como mensagens de comandos formatos de mensagens para armazenamento e quais tipos de dispositivos podem ser implantados para uma unidade de bordo;
- IEEE P1609.2 - Este está relacionados a segurança dos serviços que as aplicações podem oferecer. Ele descreve como deve ser o gerenciamento de mensagens, como o processamento do formato para a privacidade dos condutores dos veículos;
- IEEE P1609.3 - Descreve serviços na camada de rede e transporte, padronizando como deve ser o endereçamento para o roteamento de mensagens com segurança. O padrão está vinculado a suportar duas pilhas de protocolos, o IP em sua versão 6 (IPv6) e também o WSMP (WAVE ShortMessage Protocol);

- IEEE P1609.4 - Especifica as operações nos múltiplos canais na WAVE para que se possa utilizar o protocolo 802.11p.
- IEEE P1609.11 - Define como devem ser os formatos para os serviços e mensagens necessárias para sistemas que privem pagamento eletrônico com segurança na WAVE.

2.4.2 IEEE 802.11p

O padrão IEEE 802.11p é formado por dois protocolos: o IEEE 802.11p-2010 e IEEE 802.11-2012, documentos que posteriormente foram unidos em um só 802.11-2012 para operar fora de um contexto de um conjunto de serviços básicos (BSS). Ele especifica a subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e múltiplas camadas físicas (PHYs), que por fim a família IEEE 1609 definem padrões de interface na camada de aplicação voltados para as camadas de Aplicação e transporte, tomando como escopo o modelo ISO/OSI (ALVES et al., 2009).

2.5 Padrão ZigBee

O ZigBee é um protocolo de rede desenvolvido e mantido pela ZigBee Alliance (ALLIANCE, 2016) voltado à fácil implementação e interoperabilidade em dispositivos diferentes. A principal vantagem de uma rede ZigBee consiste na sua auto organização, permitindo que a rede se auto mantenha e faça enlaces com qualquer dispositivo compatível à sua tecnologia (COSTA, 2015). Outros aspectos positivos estão relacionados sua sustentabilidade pelo baixo consumo de energia e manutenção. A ZigBee Alliance estima que a adoção do padrão pode ser mundial e pode ser amplamente utilizada em redes de sensores para diversos fins (ALLIANCE, 2016).

As características mencionadas acima estão relacionado ao seu funcionamento aprimorado *Ad Hoc*. Seu modo de configuração de rede é automática e a comutação permite enlaces rápidos fim-a-fim de forma mais direta. Os dispositivos podem "ouvir" uns aos outros de forma que a rede pode tratar falhas casos outros nó não estejam aptos à comunicação (SANT'ANA, 2014). Portanto, a ZigBee Alliance em conjunto com o IEEE trabalham para desenvolver um padrão capaz de possibilitar um controle seguro, de baixo custo e de baixa potência em redes sem fio para o controle de diversos equipamentos, incluindo soluções para a automação predial, aplicações em telemedicina e entretenimento (jogos).

2.5.1 Padrão IEEE 802.15.4

O padrão ZigBee baseia-se pelo modo como as abelhas se organizam e comunicam na polimerização de forma comunicativa e auto organizada. Ele define as camadas de rede

e aplicação e segurança do protocolo. As camadas Física e de Enlace, são definidas pelo padrão IEEE 802.15.4, adotado como parte do protocolo de rede ZigBee (TOSE et al., 2012). A Figura 5 apresenta a organização das camadas do padrão ZigBee.

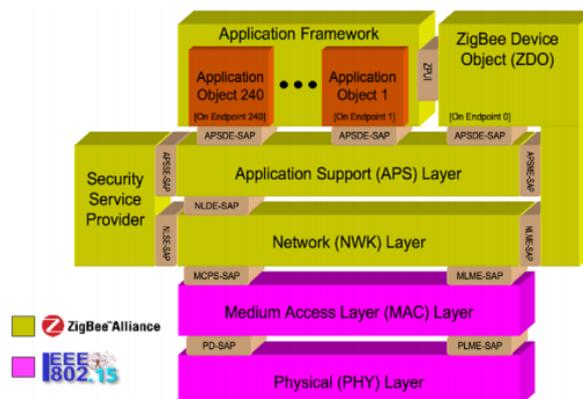


Figura 6: Camadas do padrão ZigBee, camadas superiores em amarelo responsáveis pelo padrão ZigBee e camadas inferiores responsáveis pela IEEE 802.15.4 (ALLIANCE, 2016).

O ZigBee foi criado para dar suporte a projetos sustentáveis que não necessitam de grande consumo de energia, umas das principais características a ser usados em monitoramento da agricultura moderna. Os dispositivos possuem um controle que permite que sejam alimentados apenas por baterias (com pilhas, um dispositivo pode funcionar até 6 meses) com pouca voltagem, a duração delas dependendo do tipo de aplicação do sistema em que eles são adotados (COSTA, 2015).

2.5.2 Topologias

A organização dos módulos está diretamente relacionada a topologia da rede e como são configurado os dispositivos que seguem padrão IEEE 802.15.4. Eles são configurados em *Coordinator*, *Router*, *End Device* que serão explicados na seção seguinte. As topologias então divididas em Malha, Árvore, Estrela. São ilustrado na Figura 7.

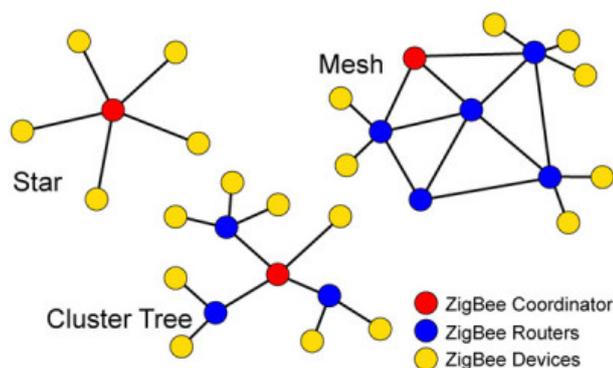


Figura 7: Topologias de Uma rede ZigBee (GHAZY; OZKUL, 2009).

- Malha (*Mesh*): Nesta topologia há diversos caminhos possíveis para que a informação seja transferida, ou seja, os dados podem ser passados de dispositivo para dispositivo. A rede se ajusta de forma automática permitindo o reconhecimento e monitoramento da saída e entrada de dispositivos, além da otimização do tráfego em grandes áreas geográficas;
- Árvore (*Cluster Tree*): O conceito desta topologia é a hierarquia entre os nós. Na rede podem estar presentes nós que funcionam como centralizadores/coordenadores (pais) ou pode haver nós que se comportam como nós que são coordenados (filhos). O seu sistema é semelhante a topologia Malha, com a diferença que há nós que funcionam como mestre, sendo assim a informação pode ser controlada por regras de negócios específicas para a aplicação.
- Estrela (*Star*): Esta topologia pode ser definida por um nó coordenador e outros nós nas extremidades ligados em rede diretamente a ele. Tal característica torna mais simples a implementação. A transmissão de dados deve ser de forma estratégica para que haja menor interferência possível de obstáculos.

2.6 Módulos XBee

Os XBees são módulos sem fio que suportam envios de quadros pequenos com latência mínima e pouco consumo de energia. Ideais em projetos como os que utilizam controle na agricultura, automação residencial, sistemas de alarmes e supervisão industrial. Em uma rede XBee pode haver componentes como Coordenadores (*Coordinator*), Roteadores (*Routers*) e os Dispositivos Finais (*End Devices*). Os coordenadores operam como um nó que atua como inicializador de um canal de comunicação que gerencia os nós. Os Roteadores são encaminhadores de mensagens entre nós de uma rede. Os “end devices” são como dispositivos finais que só recebem mensagens vindas de outros nós.

Para que a topologia Malha (*Mesh*) exista, os módulos podem ser configurados em todos os tipos de componentes. A quantidade deles é decidido conforme a necessidade do sistema, podendo se estender até quilômetros. A topologia Árvore (*Cluster Tree*) se aplica a mesma configuração dos nós em Mesh, contudo se diferenciam na hierarquia entre os componentes. Na Estrela (*Star*) é obrigatório usar apenas um nó Coordenador comandando Dispositivos Finais. A quantidade deles também é decidido pela necessidade da sistema. Os dados recebidos e enviados pelos os módulos XBee são processados de forma serial por qualquer tipo de dispositivo UART (*Universal asynchronous receiver/transmitter*) em dois modos ([ALLIANCE, 2016](#)):

- Modo AT: Neste modo AT qualquer dado recebido no pino de entrada é posto em espera no *buffer* de transferência para que logo após seja feita a transmissão

através da antena. Já na recepção das informações, o caminho é percorrido no sentido contrario, logo após a chegada dos dados pela antena eles são armazenados no *buffer* de recepção. Assim tal modo possui a sua operação simples. Porém ele torna a identificação do endereço de origem enviesada e retira, ou seja não possui qualquer indicação de sucesso ou falha na transmissão.

- Modo API (*Application Programming Interface*): Permite que os dados recebidos no pino de entrada sejam colocados no *buffer* de transmissão para que em seguida sua transmissão ocorra através da antena. Assim como no modo AT a informação que chega no nó é posta no *buffer* de recepção. Neste modo, não há o empecilho do modo AT, porém sua configuração é mais complexa.

2.6.1 Pilhas de Protocolos

O modelo de rede OSI serve de escopo para o padrão ZigBee em relação às camadas Física ou PHY (*Physical*), Acesso ao Meio ou MAC (*Medium Access Control*) e Network ou NWK (*Network*). O tratamento e gerenciamento dos dados se dá através do tipo de interface que o sistema necessita. Essa característica é permitida desde de que as camadas de Transporte, Sessão e Aplicação estejam implementadas na camada ZigBee constituída pela APS (*Application Sub Layer*) e ZDO (*ZigBee Device Object*). Na Figura 8 traz um breve resumo de como os canais são divididos.

	2450 MHz	915 MHz	868 MHz
Transmissão	250 kbps	40 kbps	20 kbps
Largura do canal	5 MHz kbps	2 MHz kbps	1 MHz
Canais	16	10	1
Licença	Global	América do Norte	Europa

Figura 8: Faixas de operações de canais (SANT'ANA, 2014).

O funcionamento do rádio, neste padrão está diretamente ligado a como o protocolo de rede é constituído. Como mostra a Figura 8, as frequências de canais são delimitadas para que a definição da taxa de transmissão, largura e quantidades de canais sejam pré divididas de forma que padrões diferentes não tenham interferência na seleção de qualquer canal. O rádio do padrão trabalha com faixas de frequências com seguintes limites: na Europa com 868 MHz, na América varia de 902-928 MHz e nível global com 2,4 GHz (ALLIANCE, 2016).

2.6.2 Tipos de Módulos

Os módulos são compostos por um microcontrolador que em seu núcleo possui um *firmware* que pode ser configurado e atualizado para fins diferentes. São produzidos pela

Digi International que mantém o padrão ZigBee associado ao padrão IEEE 802.15.4. Seus principais componentes estão divididos em dois grupos de módulos XBee:

- XBee/XBee-Pro Série 1: são mais simples e utilizam o padrão 802.15.4 para as topologias de rede ponto a ponto e estrela.
- XBee/XBee-Pro Série 2: Nestes módulos com a implantação do padrão ZigBee permite o uso de redes mais complexas e extensas, além da ponto a ponto e estrela é possível a criação de uma rede mesh.

Sobre as características físicas dos módulos eles são praticamente idênticos, com pinos comuns e compatíveis, porém o hardware possui diferentes especificações tornando a interoperabilidade dos dois grupos inviável (COSTA, 2015).

2.7 Plataforma Android

A criada pela Google, a plataforma Android é um conjunto de softwares para dispositivos móveis. Composto por um sistema operacional, *middleware* e aplicações móveis. Ela oferece um ambiente e bibliotecas para a codificação padronizada dentro do *Kernel Linux*. Isso permite aplicativos que possam ser executados, usando APIs padrões como: WI-FI, *Bluetooth* e dispositivos GPS (SANT'ANA, 2014).

A codificação das aplicações pode ser desenvolvida na linguagem Java em ambientes como Android Studio (padronizada pela Google), Eclipse, Netbeans ou IntelliJ IDEA. Na atualidade ela é uma das plataformas mais difundidas para aplicações móveis. Suas concorrentes diretas, são a Windows Mobile e iPhone da Apple, que dão suporte a tecnologia móvel também oferecendo ferramenta para seu desenvolvimento (DEVELOPERS, 2014).

2.8 Arduino

A placa Arduino foi criada para o desenvolvimento de hardwares sem a necessidade da impressão de circuito integrados específicos para diferentes tipos de aplicações e protótipos. Ela engloba tecnologia de hardware e software *Open Source* desenvolvidos para auxiliar na criação de ambientes automáticos de fácil abstração. Por ser portátil e ter pouco consumo de energia são fáceis de serem instaladas em diversos locais e por conta dessa característica, são bastante utilizado em pesquisas de campo (MONTEIRO; BEZERRA, 2015).

Criada na sua primeira versão por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis. Consiste em uma placa única em possibilitar que exportação de códigos fontes na memória e indica o que o hardware irá processar. Possui entradas e

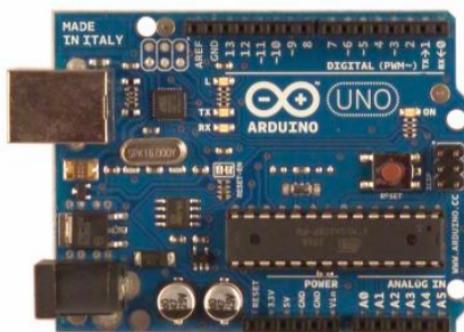


Figura 9: Arduino UNO (SOUZA; NASCIMENTO; FILHO, 2012).

saídas digitais ou analógicas (SOUZA; NASCIMENTO; FILHO, 2012). A placa UNO é a mais utilizada em projetos, como ilustrada na Figura 9:

O processamento geralmente é feito por um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits que usam chips megaAVR, como os ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280. A linguagem de programação utilizada na placa é baseada em *Wiring*, que é implementada a partir de bibliotecas C/C++ (SANT'ANA, 2014). Toda a codificação pode ser feita na IDE oficial que foi criada em Java, permitindo o *update* do código através do serial direto no microcontrolador da placa. Outro aspecto importante é a expansão da placa com outros periféricos eles são chamados *shields* permitindo maior usabilidade (MONTEIRO; BEZERRA, 2015).

3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão discutidos os trabalhos correlatos ao contexto das VANETs em pesquisas de campo com o padrão IEEE 802.15.4. A Tabela 1 apresenta os critérios analisados relatando suas contribuições, diferenças e semelhanças em relação com presente trabalho.

Em (CAMPOLO et al., 2012) é proposto um protótipo chamado de SMaRTCaR que consiste em uma plataforma baseada em dados oriundos de sensores instalados nos carros e sensores externos. Os dados são captados pelo sistema CAN já em utilização em veículos. O protótipo tem com objetivo contribuir com o transporte rodoviário mais sustentável. Os dados são transmitidos por meio de uma rede ZigBee com módulos XBee acoplados a um Arduino que processava os dados vindos do CAN em tempo real. Foram desenvolvidos protocolos colaborativos e oportunista para a melhoria da tolerância a falhas, as características de seu desempenho e baixo custo tornaram a solução viável a curto prazo.

No artigo (CHIEH; ISA, 2012) foi proposto um sistema de comunicação V2V para a detecção de colisão. A aplicação utiliza a união de quatro tecnologias sem fio diferentes (GPS, Wi-Fi, ZigBee e 3G) controlados por um computador para auxiliar o processamento. O trabalho propôs suprir três desafios a largura de banda limitada, memória e tempo de resposta menor para o processamento dos dados para a identificação de uma possível colisão. É proposto também um método mais otimizado para processamentos paralelo entre a CPU e GPU. Os resultados do teste mostraram que há pelo menos 4 a 10 vezes melhoria na velocidade de processamento com processamento paralelo de CPU e GPU usado na comunicação V2V.

(BHARGAV; SINGHAL, 2013) desenvolveram um sistema de emergência para missões de resgate de veículos acidentados em locais remotos. O protótipo é construído com uma mesclagem de tecnologias, sendo elas: uma rede ZigBee para o fornecimento de uma rede espontânea Ad-hoc e rastreamento das coordenadas dos veículos; e para uma comunicação mais abrangente foi utilizado 3G dispondo de WCDMA para a comunicação de voz viável. Foram utilizado também prioridade seletiva de atribuição de canal e priorização de pacotes de fala. O sistema se portou de forma conveniente para a implantação na próxima geração de automóveis, atendendo o proposito a que foi destinado. Segundo os resultados os módulos podem ser estendidos para comunicação V2V. Capacitando o para o uso de sistemas anti-roubo; prevenções de acidentes e monitoramento de transito em tempo real.

A proposta de (WANG; HUANG; ZHANG, 2013) fornece uma solução para viabilizar a comunicação de veículo para veículo utilizando o padrão IEEE 802.15.4 dos módulos ZigBee. Este trabalhos propõe a analisar o desempenho e potência do RIP e a Taxa de Erro do Pacote (PER) além do comunicação dos dados. Os teste são realizados com 4 veículos equipados com protótipos dispondo as localizações GPS enviando para o veículo

na faixa de transmissão RF disponível do veículo mais próximo; calculando a distância para o tratamento adequado dos dados vindo de dois pontos distintos e retransmitindo a informação para os próximos veículos localizados na traseira para evitar possíveis acidentes. O padrão IEEE 802.15.4 pela conclusão dos resultados pode atender aos requisitos de mensagens de emergência na comunicação V2V.

Em (GAUR et al., 2014) foi abordado um sistema para um melhoramento no controle de semáforos de forma mais eficiente e sustentável ecologicamente. As comunicações são feitas sem fio em modo *Ad-hoc* entre veículos por meio de rede ZigBee entre todos os polos evitando o congestionamento sem qualquer barreira. Eles utilizaram uma técnica chamada de "*Eco Friendly Energy Efficient Smart Wireless Traffic Light Controller*" juntamente com tecnologia GSM (Sistema Global de Comunicação Móvel) interligadas a um servidor para o compartilhamento informações sobre o congestionamento. O sistema atendeu bem a comunicação entre veículos no modo *Ad-hoc*, mostrando um resultado positivo para no tráfego de dados no trânsito com um sistema simples que atende o tempo de resposta rápido e de energia eficiente simpatizando com o meio-ambiente.

Já no trabalho de (KARYEMSETTY; SAMATHA; RAO, 2015) é realizado um estudo de cunho experimental com testes envolvendo cinco veículos portados com módulos ZigBee e GPS conectados a um Arduino. O trabalho tem como principal objetivo testar a viabilidade de entrega das coordenadas dos veículos com sucesso para um unidade ao lado da estrada (RSU) que atua como coordenador traçando os movimentos do veículo para o monitorando o caminho de viagem do veículo no mapa. Os testes foram projetados para verificar de o sistema projetado atende as necessidades de segurança e precisão de atraso de mensagens. De acordo com os resultados dos testes o padrão dos módulos tem um certa degradação da rede em altas velocidades para a latência. Porém para baixas velocidades ele atendeu bem a demanda da aplicação.

Em (SHREE; PENUBAKU; NANDIHAL, 2016) foi abordado um design de uma rede ZigBee para a comunicação entre veículos para validar um sistema seguro para fins de troca de dados em contexto veicular. Os sistema consiste em um servidor central em uma rede local (LAN) ou uma rede de área ampla (WAN) auxiliando os carros na área trafegada. Os dados são transmitidos conforma a necessidade para que venha a ser construído um serviço cooperativo para o gerenciamento local do tráfego de veículos e seus arredores. O resultados comprovaram que o padrão pode ser adotado para a comunicação veicular em ambientes com vários cenários e afirmaram que o conceito dos XBee é recomendável para os fornecedores de automóvel na implantação de futuras tecnologias voltada para futuras aplicações VANETs.

A partir da Tabela 1 comparativa observamos que o padrão ZigBee é amplamente utilizado no contexto das VANETS para a troca de informações entre entidades que compõe a rede. O trabalho atual tem como principal diferencial em relação aos demais a metodologia abordada nos experimentos, como o uso de técnicas embasadas em envios de

quadros seguidos com tempo de espera entre eles. Além do estudo estatístico em DoE com análises combinatórias entre níveis e fatores. Permitindo uma observação mais profunda acerca de peculiares e características do protótipo em estudo. Nos demais trabalhos os autores não tomam em conta a alternância no envio de quadros com tamanhos diferentes como mais um fator importante para verificar se pode haver ou não degradação na rede. Já o estudo atual permite testes que forcem um *workload* (carga de trabalho) maior com envios de quadros distintos em velocidades diferentes. Ocasionalmente análises cruzadas para a latência, taxa de entrega e *throughput*. O Estudo utilizando o DoE somado à metodologia presente pode otimizar a investigação do comportamento da rede do padrão IEEE 802.14.5 em âmbito veicular, aperfeiçoando ou servindo de escopo para possíveis novas métricas e técnicas no desenvolvimento de testes em VANETs.

Tabela 1: Critérios de comparação entre os trabalhos correlatos e o trabalho atual

Ano	Principal Contribuição	Envios de Quadros Com Tamanhos Diferentes	DoE (Design of Experiment)
(CAMPOLO et al., 2012)	Sistema SMaRTCaR Uma Plataforma Baseado Em Dados CAN e Sensores Externos Para Contribuir Com o Transporte Rodoviário mais Sustentável.	NÃO	NÃO
(CHIEH; ISA, 2012)	Sistema de Comunicação V2V para a Detecção de Colisão Utilizando (GPS, Wi-Fi, ZigBee e 3G)	NÃO	NÃO
(BHARGAV; SINGHAL, 2013)	Protótipo Emergência para Missões de Resgate de Veículos Acidentados em Locais remotos	NÃO	NÃO
(WANG; HUANG; ZHANG, 2013)	Analisar o Desempenho e Potência, do RIP e a Taxa de Erro do Pacote (PER) E Sistema de Colisão Traseiras Contra Acidentes	NÃO	NÃO
(GAUR et al., 2014)	Sistema de Controle de Semáforos de Forma Mais Eficiente e Sustentável ecologicamente.	NÃO	NÃO
(KARYEMSETTY; SAMATHA; RAO, 2015)	Estudo Experimental Com Módulos ZigBee e GPS Aviando a Entrega das Coordenada dos Veículos Para Uma Unidade ao Lado da Estrada	NÃO	NÃO
(SHREE; PENUBAKU; NANDIHAL, 2016)	Design de Uma Rede ZigBee Entre Veículos Avaliando Um Sistema Seguro de Troca de Dados Cooperativos do Tráfego de Veículos e seus arredores.	NÃO	NÃO
Este Trabalho	Avaliação de Desempenho e Comportamento Do Padrão IEEE 802.15.5 para VANETs com Analisa Combinatória No Envio de Quadros Distintos Em Velocidades Diferentes	SIM	SIM

4 Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 nas Redes Veiculares

Neste trabalho realizamos uma análise do comportamento da rede que faz uso do padrão ZigBee para a comunicação veicular. Tal avaliação tem como motivação principal avaliar o potencial do padrão ZigBee para aplicações veiculares no contexto da arquitetura V2I. A interface com os módulo é realizada através do microcontrolador Arduino. Contamos com uma aplicação Android interligada ao microcontroladores, para envio e recebimento das mensagens como também uma interface de interação direta com o usuário.

Foi utilizado o método estatístico DoE (Design of Experiments) para construção do modelo experimental para a análise das métricas: latência, taxa de entrega e *throughput*. Os resultados verificam se o ZigBee atende aos requisitos mínimos necessários para aplicações voltadas à segurança no trânsito. A Tabela 2 esboça de alguns requisitos mínimos para aplicações direcionadas ao trânsito.

Tabela 2: Requisitos para aplicações de trânsito (PAPADIMITRATOS et al., 2009)

Gral	Aplicações	Comunicação	Tipo	Tempo	Latência	Outros
1	Alerta de veículo lento	ad hoc, V2V	broadcast permanente	500 ms	100 ms	Alcance: 300m, alta prioridade
2	Alerta de colisão em cruzamento	ad hoc, infraestrutura, V2V, V2I	infraestrutura, V2V, V2I broadcast permanente	100 ms	100 ms	Posicionamento preciso em um mapa digital, alta prioridade
3	Pré-colisão	ad hoc, V2V	broadcast periódico, unicast	100 ms	50 ms	Alcance 50m, prioridade alta/média
4	Gerenciamento de Cruzamento	infraestrutura, ad hoc, V2I, V2V	broadcast periódico, unicast	1000 ms	500 ms	Precisão do posicionamento: <5m
5	Download de Mídia	infraestrutura, rede de telefonia celular, etc	unicast, broadcast, sobdemanda	n/d	500 ms	Acesso à internet, Gerência dos direitos reservados
6	Assistência para direção ecológica	infraestrutura, ad hoc, V2I, V2V e rede de telefonia celular	unicast, broadcast, sobdemanda	1000 ms	500 ms	Acesso à Internet disponibilidade do serviço

As categorias 1, 2, 3 são relacionadas a segurança em transportes que utilizando o enlace ad hoc, que necessitam de restrições rígidas com relação ao tempo por serem de aplicações de anticolidões. A categoria 4 está referente ao o monitoramento e gerenciamento do tráfego em modo ad hoc. As categorias 5 e 6 que são destinadas á informar os tipos de comunicação direto com pontos infraestruturados para dar acesso à outros tipos de redes (redes de telefonia celular, internet, etc), elas são chamada de *infotainment*. Para

essa categoria latência é menos rígida, pois o tempo de atraso pode ser maior que nas aplicações voltadas para situações críticas (WANGHAM et al., 2014).

4.1 Sistema

O protótipo desenvolvido para dispor de um interface de controle dos módulos ZigBee. O microcontrolador Arduino executa um código que possibilita o envio de mensagens ao módulo *bluetooth*, no qual o dispositivo celular é conectado para que possa ser trafegada informação do dispositivo como um sistema de OBU. A Figura 10 mostra o nó para a instalação no veículo e RSU.

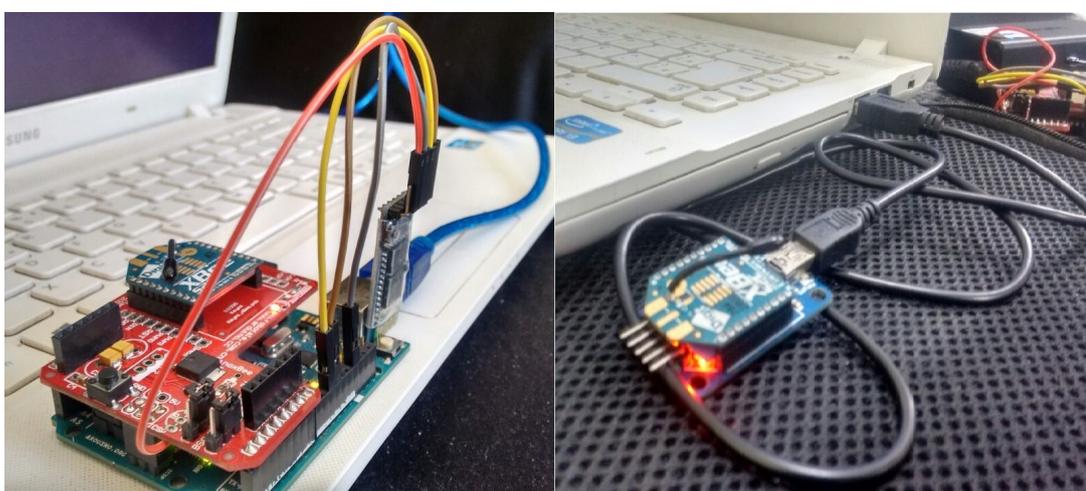


Figura 10: Protótipo onboard (unidade de bordo) a esquerda e offboard (unidade externa) à direita, montados com os módulos XBees.

O módulo *bluetooth* permite que os dados oriundos de outro nó emissor seja repassado para o aplicativo Android afim de armazená-los em um arquivo de texto para fazer as observações dos *logs* do experimentos. A Figura 11 ilustra o diagrama de interação entre as tecnologias do protótipo.



Figura 11: Interface de comunicação

Geralmente as aplicações que trabalham no trânsito utilizam interface *bluetooth* para interligar os dispositivos dentro dos veículos a os sistemas com hardware mais robusto

que trabalham com a transmissão e processamento das informações (WANGHAM et al., 2014). A seguir será mostrado a relação e preço dos dispositivos e periféricos usados para a construção do protótipo para os nós e para o nó situado como infraestrutura para a arquitetura V2I:

- 2 Módulos XBee PRO S2C (R\$ 120 cada)
- 1 Módulo Bluetooth RS232 HC-05 (R\$ 38,90)
- 1 XBee Shield para Arduino (R\$ 44,90)
- 1 XBee Explorer USB Adapter (R\$ 49,90)
- 1 Arduinos UNO (R\$ 44,90)
- 1 Smartphone LG Joy H222F Android
- 1 Notebook Acer Aspire E5-573-541L

O Arduino faz uso da serial para realizar a comunicação com módulo XBee por meio de comunicação serial. A comunicação serial foi adaptada por meio do XBee Shield facilitando a integração ao microcontrolador. Os XBees foram configurados em modo API para que qualquer informação que seja enviada para o módulo *bluetooth* logo em seguida era repassada para o Arduino e encaminhada para os ZigBee. A comunicação com *bluetooth* também é feita de modo serial, porém é realizada através de uma biblioteca especial, chamada *SoftSerial*, utilizada para a emulação da porta serial nas entradas digitais do placa.

4.2 Desenvolvimento

As análises realizadas nos testes foram baseadas no método estatístico DoE que permite fazer análise cruzadas entre fatores e níveis, objetivando verificar o impacto dos mesmos em determinado sistema ou serviço. Com o DoE foi possível a investigação de qual fator (es) é (são) mais significativo (s) para uma determinada métrica, por fim fazendo um síntese do comportamento. A Tabela 2 apresenta o desenho do experimento.

Tabela 3: Desenho do Experimento

Fator	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6
Tamanho do pacote	50 B	80 B	100 B	50 B	80 B	100 B
Velocidade	40 km/h	40 km/h	40 km/h	80 km/h	80 km/h	80 km/h

As escolhas dos tamanhos dos pacotes foram embasadas na capacidade de transmissão dos módulos ZigBee. Pois a partir de 84 bytes é feita a quebra e indexação de quadros

em tamanhos menores. Tomando essa capacidade do padrão, os pacotes de 50 bytes serviram como tipo de *workload* inicial mínimo, os pacotes de 80 bytes induziram uma carga próxima do máximo e por fim os pacotes de 100 bytes foram a carga acima do máximo.

Foi criada uma função na aplicação Android com fim de automatizar e gerenciar os logs com os dados observados. Os pacotes eram enviados com um id de saída do aplicativo; a data, hora, minuto, segundo e milésimo de segundo e por fim, seu conteúdo. O caractere de finalização das mensagens era "#", isso indica que somente os dados recebidos por completos eram considerados completos. A mensagens que chegavam com erro ou incompletas eram descartadas. As informações foram estruturadas dessa forma:

- **Pacote de 50 Bytes:** 6-16:43:12.974-AAAAAAAAAAAAAAAA-#
- **Pacote de 80 Bytes:** 6-16:43:12.974-BBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB-#
- **Pacote de 100 Bytes:** 6-16:43:12.974-CCCCCCCCCCCCCCCC
CC-#

Os *logs* da latência na arquitetura V2I são coletados por um notebook que está conectado ao XBee através do *Explorer USB Adapter*. O notebook (nó infraestruturado) executa um código automatizado em Python para controlar as mensagens recebidas através da biblioteca *pyserial*¹ permitindo que sejam marcados de tempo referentes ao primeiro e último bit para o cálculo da latência.

O cálculo da taxa de entrega é realizado através da contagem de mensagens gravadas com sucesso. Para ter maior controle eram verificados através da diferença do log de envio e de recebimento, verificando os IDs das mensagens. O cálculo do *throughput* é realizado conforme tamanho do quadro de envio multiplicado por 8 (ex: 64 bytes x 8 bytes = 524.288 bits) dividido pela a latência individual de cada mensagem (ex: 524.288 bits /0,060 segundo = 8.738.133 bits por segundo).

4.3 Cenários

Esta subseção apresenta o cenário de experimentação. O ambiente de testes foi escolhido para simular a troca de dados em um contexto veicular de uma rodovia de mão dupla. A figura 13 ilustra o mapa do local do experimento.

A troca de dados foi feita entre um veículo é um nó infraestruturado situado à margem da via, onde os dados oriundos do veículo eram coletados. O trajeto tem aproximadamente 600 metros de comprimento e o nó simulando a RSU era situado na metade da via. O envio de dados era feito por *broadcast* (transmissão comum nas aplicações de trânsito). A via foi escolhida por ser um trajeto de pouca movimentação permitindo que os tetes

¹ <https://pythonhosted.org/pyserial/>



Figura 12: Cenário do experimento, lat:-6.9909894, long:-42.1385521,1149 (600.20 metros de comprimento) situado na cidade de Oeiras-PI

fossem realizadas com segurança. A Figura 12 esboça o contexto inicial da comunicação feita nos experimentos.

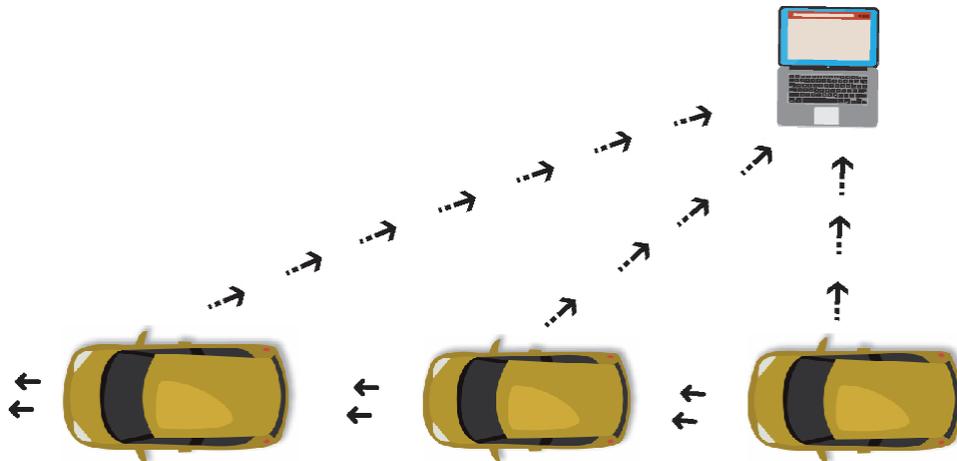


Figura 13: Cenário do experimento (comportamento da transmissão ao longo do trajeto)

A Figura 13 representa o comportamento da transmissão de dados observada nos experimentos. Para cada combinação eram realizadas 5 voltas enviando 6 pacotes com *delay* de 3 segundos entre eles, foram totalizados 30 voltas e enviados 180 pacotes no final do experimento (tamanho do pacote + velocidade). Notamos que os pacotes eram enviados em um fluxo constante até alcançar sua distância máxima de transmissão, que vai de 60 metros em ambiente fechado até 1200 metros em ambiente aberto (ALLIANCE, 2016).

5 Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões sobre a análise realizada nos experimentos. As análises seguiram o critério de testes o uso do método estatístico DoE para elaboração de experimentos.

5.0.1 Latência na Arquitetura V2I

Em qualquer aplicação em rede a latência é um fator primordial para a qualidade e segurança dos dados para o serviço. Em aplicações veiculares o requisito da latência recomendada é de 100 ms para sistemas de extrema urgência. Essa métrica é crucial pois impacta no comportamento de outras métricas como a banda passante da rede. A Figura 14 apresenta o gráfico de efeito dos fatores para a latência.

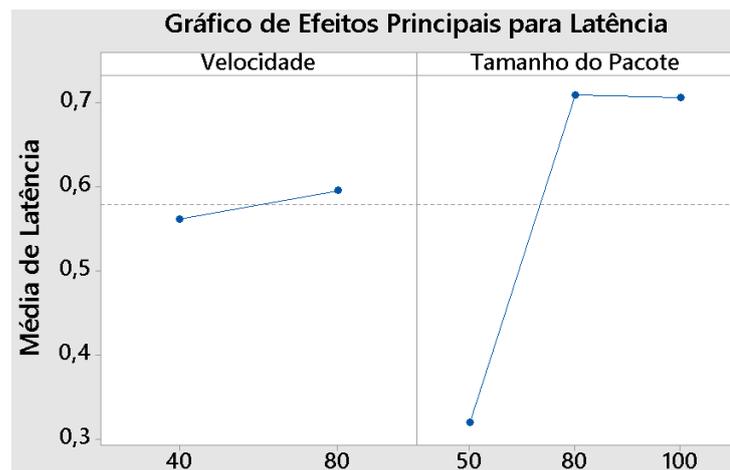


Figura 14: Efeito principais para a latência

O gráfico apresentado na Figura 14 mostra os efeitos dos fatores sobre a latência a cada interação do experimento. O eixo vertical representa as médias das latências observadas e o eixo horizontal representa os fatores. Cada um dos fatores serão discutidos a seguir:

- **Velocidades:** Notamos que houve uma certa estabilidade na transmissão de uma velocidade baixa (40 km/h) para uma alta (80 km/h). O padrão foi submetido o envio consecutivos de pacotes. A latência teve um aumentou baixo, mesmo dobrando a velocidade. Isso pode indicar que o padrão é pouco impactado pela velocidades dos veículos se comparado ao tamanho do pacote.
- **Tamanho do Pacote:** Para o efeito dos pacotes notou-se que o aumento do tamanho teve impacto direto na latência. Observando os pacotes de 50 bytes, as médias mateveram 300 ms; para pacotes com 80 bytes e 100 bytes ocorreu uma certa estabilidade sem um aumento elevado de um tamanho para o outro. Tal motivo pode ter

sido provocado pelo funcionamento dos módulos por suportarem envios de quadros com robustez até 84 bytes, ou seja, o padrão a partir disso pode decair ou aumentar a performance do rádio. Por motivos de custo não foram submetidos mais níveis de pacotes para uma maior verificação do comportamento.

Neste experimento concluímos que o fator com mais impacto na latência dos pacotes é o tamanho dos mesmos, conforme a Figura 14. Em relação ao requisito mínimo para a latência (média de 100 ms) não foi atendido com latências de 300 ms chegando a alcançar 700 ms. Entretanto a uma série de observações para esse comportamento, pois dentro dos requisitos da tecnologia dos ZigBee afirmados pelos fabricantes o módulo se manteve estável. Como os sistemas veiculares possuem inúmeras aplicações, o padrão pode atender aquelas que não necessitam de grande urgência e risco, como por exemplo aplicações de *market* no trânsito. A Figura 15 mostra o gráfico de Pareto dos efeitos padronizados.

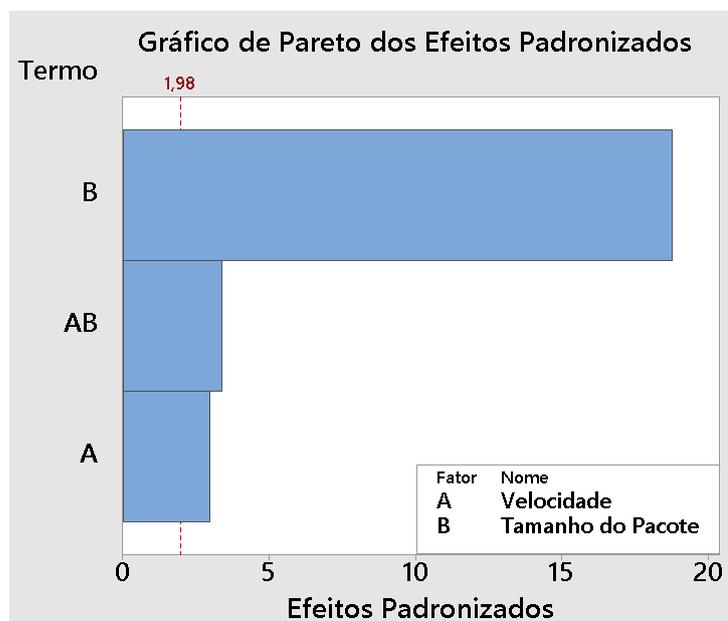


Figura 15: Pareto de efeitos principais para a latência

O gráfico Pareto mostra as padronizações dos efeitos dos fatores. O eixo vertical representa os fatores; o eixo horizontal representa o nível de significância ¹. O referencial para a linha de significância estatística depende do nível de significância (denotado como α ou alfa). Alfa é assumido conforme o nível de confiabilidade dado pela variabilidade dos dados da amostra (RYAN; JOINER, 2001).

O valor da significância é 1,98, portanto, tudo que for maior que este valor possui uma influência representativa na latência. Ainda na Figura 15, nota-se que o termo B assumiu valores muito acima de significância. Isso corrobora que o tamanho do pacote exerce um

¹ É a probabilidade de cometermos um erro do tipo I conhecida como nível de significância do teste, é denotada por α é escolhida a priori pelo pesquisador. O nível de significância geralmente é $\alpha = 0,05$ (5%) é muito bem aceito pela comunidade científica. O valor pode variar de pesquisa para pesquisa.

grande impacto influência bastante elevada na latência. Observa-se que o termo A está elevado quando também é relacionado com os outros termos envolvidos no gráfico de Pareto (A correlacionado a B, AB). O termo A (velocidade) alcançou o efeito de padronização de aproximadamente 2,0. Entretanto, o tamanho dos pacotes, ainda é o fator mais representativo. Isso indica que transmissão de tamanhos menores de pacotes são mais para o padrão IEEE 802.15.4 em Redes Veiculares.

5.0.2 Throughput na Arquitetura V2I

O throughput para rede *ethernet* ou sem fio é entendido como a transferência efetiva de dados em uma rede de um ponto a outro ou a quantidade de dados que um sistema tem para processar uma determinada quantidade de informações. As unidades para essa métrica são dadas em medidas Kbps, Mbps e Gbps. A Figura 16 representa os resultados das médias para o throughput através do efeito dos fatores.

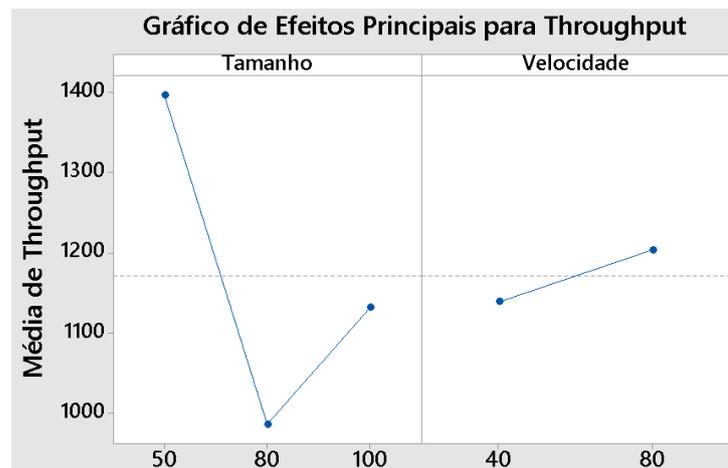


Figura 16: Efeito principais para a throughput

- **Velocidades:** Observamos que houve uma pequena instabilidade na taxa transmissão de uma velocidade baixa (40 km/h) para uma alta (80 km/h). Notamos que *throughput* teve um pequeno aumento de aproximadamente de 1130 Bps (1,13 Kbps) para 1200 Bps (1,20 Kbps) , que foi provocado por um possível atraso da própria aplicação que envia e recebe os dados.
- **Tamanho do Pacote:** O efeito do pacotes para *throughput* notou-se um comportamento inverso ao gráfico de efeito para latência. Esse comportamento pode ser explicado pela influência da latência direto na transferência dos dados. Pois quanto maior é a latência menos espaço de tempo terá para o envio de dados, logo a taxa declina. O aumento do tamanho do pacote tem impacto direto na taxa de transferência. O gráfico demonstra um decréscimo do pacotes de 50 bytes para os de 80 bytes de 1400 Bps (1.40 Kbps) em uma queda constate indo até aproximadamente

9900 Bps (0.99 Kbps). Para pacotes de 80 bytes a 100 bytes ocorreu uma certa instabilidade com um aumento da taxa com um acréscimo de 210 Bps (0.21 Kbps).

O comportamento da taxa de transferência é influenciado diretamente pela latência média ou por sua variação conhecida como *jitter*. Desse modo concluímos para essa que o fator mais impacto *nothroughput* é o tamanho dos pacotes. Fato que pode ser explicado pelo aumento da latência para os para cada tamanho de pacote como explicado na seção 4.4.1.

A Figura 17 mostra as padronizações dos efeitos para o *throughput*. O valor da significância é 2,028, ou seja, tudo que for maior que ele possui uma influência significativa. O eixo vertical representa os fatores, enquanto que o eixo horizontal representa o nível de significância.

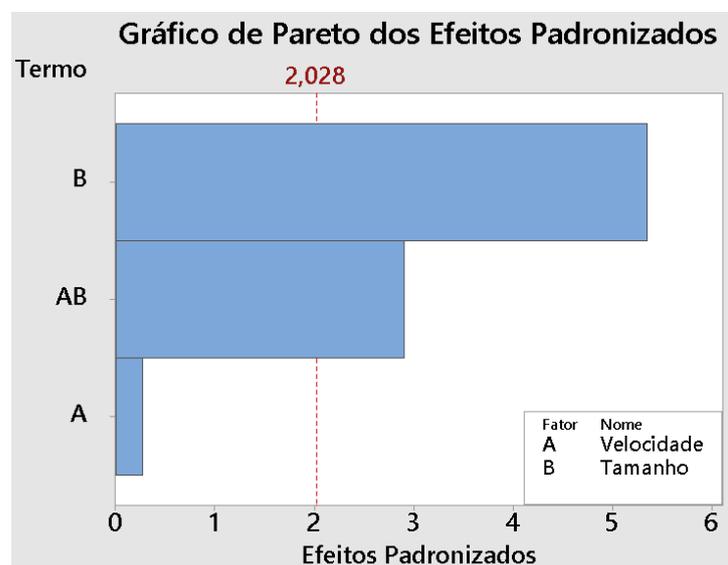


Figura 17: Pareto de efeitos principais para a throughput

A Figura 17 mostra que o termo B (tamanho dos pacotes) passou do nível de significância, reafirmando que o principal fator de influência sobre throughput é o tamanho do pacote. Nota-se que está elevada quando relacionado com os outros termos envolvidos no gráfico de Pareto (A correlacionado a B, AB).

O termo A (velocidades) permaneceu abaixo do nível de significância, ou seja, as velocidades submetidas dos experimentos não influenciaram significativamente a taxa de transferência. Esta característica denota que o padrão mesmo submetido a velocidades altas mantém a transferência de dados contínuo em um meio com envio de dados consecutivos em redes veiculares com ZigBee.

O comportamento do *throughput* para os experimentos indica que o padrão de comportou de modo satisfatório para um transferência de dados em um determinado espaço de tempo. Temos que considerar que as medidas foram tomadas pela análise dos pacotes enviados com sucesso e que em todos os experimentos foi dado um espaço de tempo de 3

segundos a cada rajada de 6 pacotes transmitido (essa técnica é especificada pela maioria das RFCs ², o tempo de atraso e tamanho da rajada fica a critério do experimento).

Não existe um concesso de *throughput* para redes veiculares, ou seja, dependendo da aplicação, um valor diferente é adequado. Para aplicações de envio de mídia, por exemplo, as taxas observadas nos testes seriam adequadas à envios de áudios curtos ou comunicação VOIP. Em aplicações de vídeo, em que são necessárias taxas elevadas para atender a qualidade do serviço, o protocolo não se encaixaria nesse serviço. As instabilidades observadas para envios de pacotes distintos podem provocar uma degradação maior, somando isso as latências, o padrão teria que passar por um estudo mais profundo utilizando mais nós emissores e mais níveis de pacotes de diferentes tamanhos.

5.0.3 Taxa de Entrega na Arquitetura V2I

A taxa de entrega é uma métrica simples de ser analisada e medida em qualquer serviço de rede. ela pode ser compreendida como os pacotes chegam com sucesso ao destino final. A seguir serão apresentado na Figura 18 a taxa de entrega para 40 km/ e na Figura 19 a taxa de entrega para 80 km/h.

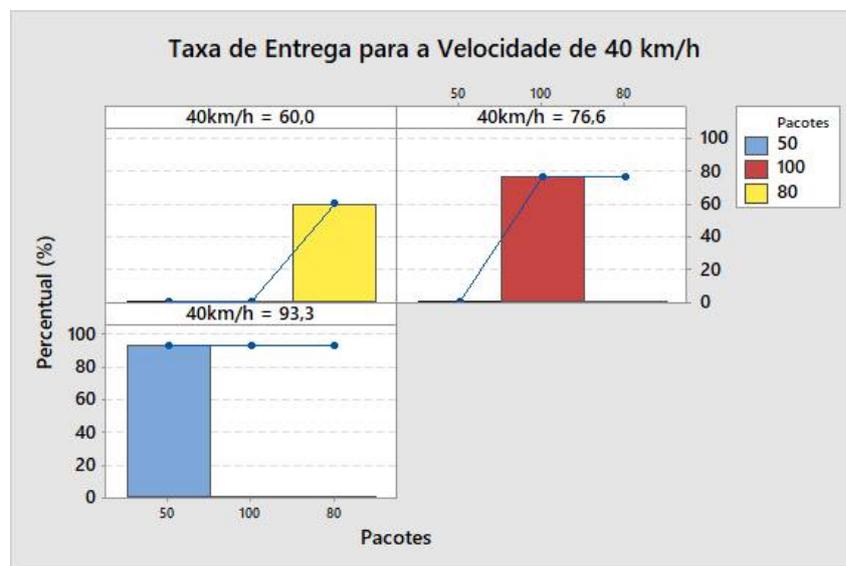


Figura 18: Taxa de entrega para 40 km/h

- **50 bytes à 40 km/h:** Taxa satisfatória com 93,3% atendendo aos requisitos para aplicações de comunicação.
- **80 bytes à 40 km/h:** A taxa obteve uma queda porém ainda aceitável com 60% em um contexto de entregar satisfatórias.

² Acrônimo de Request for Comments (ou "pedido para comentários" em português), as RFCs são documentos técnicos desenvolvidos e mantidos pelo IETF (Internet Engineering Task Force), instituição que especifica os padrões que serão implementados e utilizados em toda a internet (SANTANA, 2006).

- **100 bytes à 40 km/h:** Mostrou uma entrega de 76,6%, indicando que padrão tem uma instabilidade quando os pacotes ficam entre os tamanhos de 80 bytes até 100 bytes.

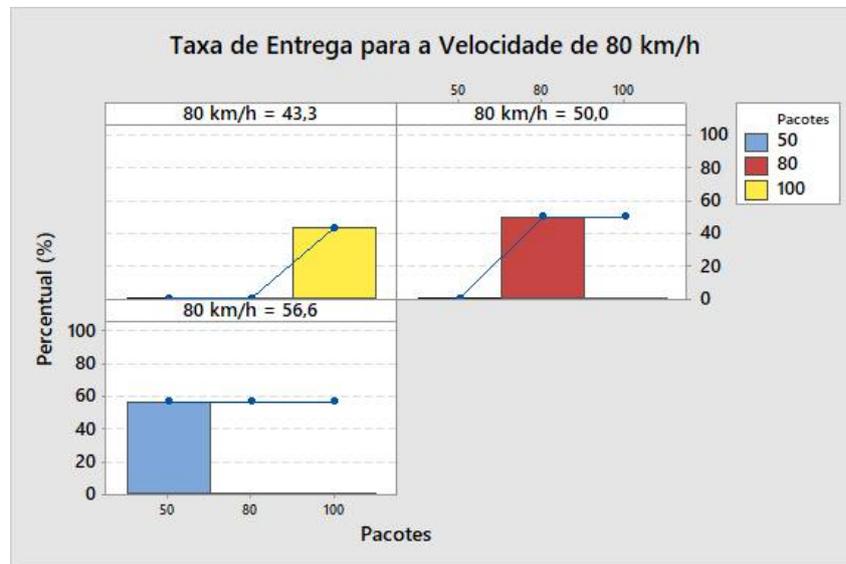


Figura 19: Taxa de entrega para 80 km/h

- **50 bytes à 80 km/h:** Taxa de entrega de 56,6% , indicando que que as taxas são influenciadas pela velocidade.
- **80 bytes à 80 km/h:** A taxa continuou a cair chegando a 43%, reafirmando que a taxa depende da movimentação dos nós.
- **100 bytes à 80 km/h:** Nota-se a mesma instabilidade quando os pacotes ficam entre 80 bytes e 100 bytes, aumento-se a taxa que por fim totalizou 50% de entrega.

A taxa de entrega mostraram-se satisfatórias para pacotes de 50 bytes, 80 bytes e 100 bytes em velocidades de 40 km/h. Para velocidades baixas o padrão manteve um transferência segura. Porém para velocidades elevadas de 80 km/h houve uma queda da taxa, já para o intervalo dos pacotes de 80 a 100 bytes, houve um certa instabilidade. Isso mostra que dentro dos padrões de envios de pacotes pequeno os módulos suprem a necessidades das aplicações. O padrão IEEE 802.15.4 se comportou dentro do QoS (Quality of Service) predito dos fabricantes. O comportamento da queda para altas velocidades pode ser explicado pelo comportamento da latência e *throughput* abordado anteriormente, pois ambas causam influencia direta na taxa de entrega pois estão relacionadas a transferência pelo tempo de chegada da informação.

6 Conclusão

Neste trabalho realizamos experimentos reais visando analisar o comportamento do padrão IEEE 802.15.4 através dos módulos ZigBee na comunicação veicular. Em tal análise, observamos o impacto da variação de fatores (tamanho da mensagem, velocidade do veículo) nas métricas latência, *throughput* e taxa de entrega, além de outros fatores, como: *broadcast*, enlace rápido e distâncias mínimas e máximas para a conexão. As métricas observadas serviram para avaliar se o padrão poderá servir como alternativa ao padrão IEEE 802.11p especificado pela WAVE. A fim de conduzir a proposta, realizamos a implementação de um protótipo de baixo custo que suprisse uma conexão *ad hoc* entre componentes de uma rede veicular.

Conforme discutimos ao longo do trabalho, a latência pode ser entendida como a soma dos atrasos impostos pela aplicações ou equipamentos utilizados na comunicação. Nos testes realizados, a latência registrou uma variação média de 300 ms a 700 ms de atraso, o que pode indicar a inviabilidade do padrão para aplicações veiculares emergenciais, visto que o requisito mínimo para tais aplicações é de 100 ms, uma característica atendida pelo padrão IEEE 802.11p em trabalho na literatura. No entanto, ainda existe um conjunto de aplicações, onde a latência obtida é considerada aceitável como, por exemplo, serviços voltados à conexão de dados com outras redes. Assim, o padrão IEEE 802.15.4 pode ser ajustado na busca o envio de informações na redes de telefonia celular, internet e outras rede afins.

A métrica *throughput* não se prende apenas a camada física, ela está vinculada a quantidade de dados processados em um determinado espaço de tempo por um sistema. Os experimentos apontam que a variação no tamanho do pacote tem impacto direto no comportamento do *throughput*. Para pacotes de 50 bytes de tamanho, o *throughput* foi de 1400 Bps (1.40 Kbps), para 80 bytes, o *throughput* caiu para 900 Bps (0.99 Kbps) e, por fim, para pacotes com 100 bytes ocorreu um aumento da taxa para 1130 Bps (1,13 Kbps). Apesar da variação, o padrão mostrou uma taxa de transferência significativa, considerando que os pacotes foram transmitidos em um determinado espaço com atraso de 3 segundos (métodos indicados pela a maioria das RFCs).

As taxas de entrega observadas foram satisfatórias para pacotes de 50 bytes, 80 bytes e 100 bytes sendo, para o primeiro tamanho, uma taxa de 93,3% de entrega de pacotes transmitidos com sucesso à velocidades de 40 km/h. Observamos que, para velocidades do veículo baixas, o padrão IEEE 802.15.4 manteve uma taxa de entrega satisfatória. Porém, para velocidades elevadas (80 km/h), houve um decaimento para 56,5% da taxa de entrega considerando o tamanho do pacote de 50 bytes. O decaimento da taxa também foi observado para os pacotes de 80 bytes e 100 bytes. Mostrando que envio de pacotes pequenos o padrão de comportou de forma satisfatório para tamanhos pequenos de pacotes.

Conclui-se que o tamanho do pacote é o fator de maior impacto na latência de rede, comportamento explicado pelo próprio funcionamento do padrão IEEE 802.15.4, considerando o envio de pacotes pequenos padronizados. Para a métrica *throughput* não houve um impacto significativo, pois o mesmo atendeu aos requisitos de aplicações utilizadas em meio veicular destinadas a sistemas não emergenciais. O padrão se comportou de forma estável com o aumento gradual dos tamanhos dos quadros. O padrão IEEE 802.15.4 se mostrou satisfatório atendendo aos requisitos como conexão rápida em *ad-hoc*, tempo de conexão, *broadcast* permanente e alcance de enlace mantendo a comunicação viável. O diante do exposto, concluímos que sistemas de trânsito possuem inúmeras aplicações e o padrão IEEE 802.15.4 pode atender àquelas que não necessitam de grande urgência e risco como, por exemplo, aplicações de *market* para o trânsito e entretenimento, e busca de mídias. Para aplicações de envio de mídia, por exemplo, as taxa obtidas nos testes seriam adequadas para envios de áudios curtos ou comunicação de voz.

Temos que considerar as limitações existentes no trabalho em relação aos cenários dos experimentos e tecnologias utilizadas no protótipo. O padrão ZigBee é destinado à envios de quadros curtos e baixa latência. Tal padrão foi criado para automatização de residências, controle da agricultura e indústria em geral. Tendo em vista isso, o padrão foi submetido à um meio para o qual não foi projetado e, mesmo assim, se comportou de maneira satisfatória. Em relação ao hardware usado para controlar os módulos ZigBee, há limitações relacionadas ao processamento e *buffer* das placas microcontroladoras Arduino. O módulo *bluetooth* são limitados à um armazenamento máximo e transferência média de 9600 bps, logo o mesmo pode influenciar o funcionamento do nó emissor. A fim de evitar esse enviesamento, contabilizamos apenas pacotes colhidos com sucesso, analisando parcialmente o sistema e também como se comportou ao todo.

Outra limitação está relacionado aos ambientes testados, além da arquitetura V2I, os experimentos poderiam ser extrapolados para a arquitetura V2V. Em suma, o protótipo de baixo custo se comportou de forma viável no contexto veicular, o que leva a investigação de novas formas de implementar os sistemas OBUs e RSUs. Considerando o impacto da variação do tamanho do pacote na degradação na rede aliado às latências, é necessário um estudo mais profundo com um maior número de nós emissores e maior granularidade nos níveis dos fatores.

6.1 Contribuições

A principal contribuição deste trabalho reside na metodologia abordada nos experimentos: (i) uso de métodos embasados em envios de quadros seguidos, técnica geralmente aplicada pelas RFCs em outros tipos de rede; (ii) uso do DoE permitiu uma avaliação mais profunda das peculiares e características do protótipo desenvolvido. Como contribuição secundária: A metodologia presente pode otimizar a investigação do comportamento

da rede do padrão IEEE 802.14.5 em âmbito veicular apontando uma possível técnica otimizada no desenvolvimento de testes em VANETs.

6.2 Trabalhos Futuros

Nós buscamos utilizar a metodologia de avaliação aplicada neste trabalho visando extrapolar os experimentos para cenários com obstáculos nas arquiteturas V2I e V2V. Ainda, pretendemos aumentar a granularidade dos fatores analisados, utilizando uma maior gama de tamanhos de pacotes a fim de investigar com maior precisão os padrões de instabilidade da rede.

Através da revisão da literatura especializada em redes veiculares, identificamos uma carência de trabalhos que realizem experimentos em campo, visto o aumento no custo e complexidade do projeto, o que implica em riscos. Portanto, com a extrapolação dos experimentos, podemos criar um *dataset* voltado para o contexto de VANETs e disponibilizá-lo em um repositório internacional para livre utilização prática por parte de pesquisadores e indústria. De modo que eles possam realizar testes de suas abordagens através dos nossos dados, antes de implantar suas soluções no ambiente real.

7 Publicações

As publicações diretamente ou indiretamente relacionadas a este trabalho são elencadas a seguir:

- **Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 para Redes Veiculares com Testes Embasados na RFC 2544 - ENUMPCOP-Encontro Unificado de Computação;**
- **Avaliação Comportamental em DoE do Protocolo PRoPHET em Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos - ENUMPCOP-Encontro Unificado de Computação;**
- **Uma Introdução ao Go: A Linguagem Performática do Google - ENUMPCOP-Encontro Unificado de Computação.**

Referências

- ALLIANCE, Z. Zigbee ip and 920ip| the zigbee alliance. *Noudettu osoitteesta ZigBee Alliance: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/networkspecifications/zigbeeip>*, 2016. Citado 6 vezes nas páginas 9, 22, 23, 24, 25 e 36.
- ALVES, R. d. S. et al. Redes veiculares: Principios, aplicaçoes e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2009. Citado 5 vezes nas páginas 9, 15, 18, 19 e 22.
- BARCELOS, V. P. et al. Sistema de monitoramento de veiculos usando dispositivos no padrao ieee 802.11 p. *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores ee Sistemas Distribuídos, SBRC*, p. 20, 2014. Citado na página 15.
- BHARGAV, K. K.; SINGHAL, R. Zigbee based vanets for accident rescue missions in 3g wcdma networks. In: IEEE. *Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS), 2013 IEEE*. [S.l.], 2013. p. 310–313. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- CAMPOLO, C. et al. Smartcar: An integrated smartphone-based platform to support traffic management applications. In: IEEE. *Vehicular Traffic Management for Smart Cities (VTM), 2012 First International Workshop on*. [S.l.], 2012. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- CHIEH, G. C.; ISA, D. Low cost approach to real-time vehicle to vehicle communication using parallel cpu and gpu processing. *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 3, n. 12, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.
- COSTA, L. A. G. Análise da utilização de agentes de software em redes veiculares híbridas utilizando zigbee. UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 18, 22, 23 e 26.
- DEVELOPERS, A. Android debug bridge. *<http://developer.android.com/tools/help/adb.html>*. Acesso em, v. 13, p. 312–49, 2014. Citado na página 26.
- GALVÁN, W. F. A. et al. *Estudo do impacto dos modelos de propagação no desempenho de protocolos ad hoc em um ambiente VANET urbano*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Citado na página 20.
- GAO, Y. et al. Performance evaluation of mobile wimax with dynamic overhead. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*. [S.l.], 2008. p. 1–5. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 20.
- GAUR, A. S. et al. Eco friendlyenergy efficient smart wireless automatic traffic light controllerbased on hybrid usage of solar panel, embedded systems, vehicle sensor, vanet, zigbee and gsm. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- GHAZY, A.; OZKUL, T. Design and simulation of an artificially intelligent vanet for solving traffic congestion. In: IEEE. *Mechatronics and its Applications, 2009. ISMA '09. 6th International Symposium on*. [S.l.], 2009. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 23.

- JUNIOR, J. P. da R. et al. Controle e acionamento sem fio de motores elétricos trifásicos: Parte 1. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 7, n. 3, 2016. Citado na página 15.
- KARYEMSETTY, N.; SAMATHA, B.; RAO, K. H. Design and deployment of vehicle tracking system in vanets using xbee pro: Prototype model. In: IEEE. *Communication Networks (ICCN), 2015 International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 97–100. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. Redes de computadores e a internet. *São Paulo: Person*, p. 28, 2006. Citado na página 15.
- MENG, Z. et al. Guaranteed v2v qos services implementation and field measurements in hybrid wave\lte environments. In: IEEE. *TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference*. [S.l.], 2015. p. 1–6. Citado na página 15.
- MONTEIRO, D. dos S.; BEZERRA, D. S. Sistema de monitoramento e diagnóstico de veículos com base na plataforma arduino. *Revista Cogitatem*, v. 1, p. 1–19, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- PALMEIRA, P. C.; SANTOS, M. P. dos. Survey em redes veiculares usando o mixim sobre o omnet++. *Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas*, v. 1, n. 2, p. 47–56, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 15, 18 e 19.
- PAPADIMITRATOS, P. et al. Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 47, n. 11, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 32.
- RYAN, B. F.; JOINER, B. L. *Minitab handbook*. [S.l.]: Duxbury Press, 2001. Citado na página 38.
- SANT’ANA, A. R. Sistema de detecção de colisão entre veículos utilizando gps e zigbee. UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 9, 20, 22, 25, 26 e 27.
- SANTANA, H. Qualidade de serviço (qos) em redes ip princípios básicos, parâmetros e mecanismos. *Cursos de Telecom e Telemática, Universidade Santa Cecília-Unisanta, Brasil*, 2006. Citado na página 41.
- SERRADO, R. P. et al. Proposta de roteamento para redes veiculares tolerantes a atrasos. 2014. Citado 3 vezes nas páginas 15, 18 e 20.
- SHREE, K. L.; PENUBAKU, L.; NANDIHAL, G. A novel approach of using security enabled zigbee in vehicular communication. In: IEEE. *Computational Intelligence and Computing Research (ICCCIC), 2016 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 1–5. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- SOARES, R.; GALENO, S.; SOARES, A. Simulação de redes veiculares. 2016. Citado na página 21.
- SOARES, V. N. et al. Protocolos de encaminhamento para redes veiculares com ligações intermitentes. In: *CRC 2012: 12ª Conferência sobre Redes de Computadores*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 77–84. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

SOUZA, J. J. I. de; NASCIMENTO, L. B. P. do; FILHO, P. R. dos S. Arduino e python: Do it yourself. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 27.

TOSE, T. et al. Redes de sensores sem fio zigbee aplicada em uma estação de tratamento de esgoto. 2012. Citado na página 23.

WANG, S.; HUANG, A.; ZHANG, T. Performance evaluation of iee 802.15. 4 for v2v communication in vanet. In: IEEE. *Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013 Fifth International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 1603–1606. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 31.

WANGHAM, M. S. et al. Segurança em redes veiculares: Inovações e direções futuras. 2014. Citado 5 vezes nas páginas 9, 19, 21, 33 e 34.

Apêndices

APÊNDICE A – Código Python para o Script de Logs automatizados da RSU

```
1 #coding: UTF8
2 import sys
3 import serial
4 import os
5 from datetime import datetime
6
7 PORTA_SERIAL = "COM5"
8 BAUD_RATE = 9600
9 now = datetime.now()
10 # Retrieve the CSRF token first
11 def get_string():
12     conexao = serial.Serial(PORTA_SERIAL, BAUD_RATE)
13     while True:
14         now = datetime.now()
15         time = str(now)
16         message = conexao.readline()
17         print(message)
18         arq = open('./log.txt', 'r')
19         conteudo = arq.readlines()
20         conteudo.append(time+ "|==|" +message)
21         arq = open('./log.txt', 'w')
22         arq.writelines(conteudo)
23         arq.close()
24
25 get_string().
```

APÊNDICE B – Código do Arduino (C++/C) do Nó Móvel

```
1
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 SoftwareSerial bluetooth(10,11);
4
5 String comando;
6 String received;
7
8 void setup() {
9     // put your setup code here, to run once:
10    Serial.begin(9600);
11    bluetooth.begin(9600);
12 }
13
14 void loop() {
15     // put your main code here, to run repeatedly:
16     received = "";
17     comando = "";
18     if(bluetooth.available()){
19         while(bluetooth.available()){
20             char caractere = bluetooth.read();
21             comando += caractere;
22         }
23         Serial.println(comando);
24     }
25     if(Serial.available()){
26         while(Serial.available()){
27             char mesagem = Serial.read();
28             received += mesagem;
29         }
30         bluetooth.println(received);
31     }
32 }
```

APÊNDICE C – Código Java da Aplicação Mibile da OBU

Código em Java para Android e projeto completo no link do Github: <https://github.com/LeoSilva100/Trabalho-ADS>



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
(X) Monografia
() Artigo

Eu, Leonardo Augusto Gomes da Silva,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação
Avaliação do Padrão IEEE 802.15 em Redes Veiculares

de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 06 de fevereiro de 2018.

Leonardo Augusto Gomes da Silva
Assinatura

Assinatura