

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU**  
**DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**LUÍS HENRIQUE PUHL DE SOUZA**

**HABILITANDO UM PRÉDIO A LOCALIZAR CONTEXTUALMENTE  
DISPOSITIVOS UTILIZANDO REDES SEM FIO**

**BAURU**  
**2016**

LUÍS HENRIQUE PUHL DE SOUZA

**HABILITANDO UM PRÉDIO A LOCALIZAR CONTEXTUALMENTE  
DISPOSITIVOS UTILIZANDO REDES SEM FIO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação apresentado ao Departamento de Computação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Martins Morigodo

**Luís Henrique Puhl de Souza**

Habilitando um Prédio a Localizar Contextualmente Dispositivos utilizando Redes Sem Fio/ Luís Henrique Puhl de Souza. – Bauru, 2016-  
84 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) –  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Faculdade de Ciências - Campus Bauru  
Departamento de Computação , 2016.

1. Localização. 2. Raspberry Pi. 3. Internet das Coisas. 4. Contexto I. Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". III. Faculdade de Ciências. IV. Habilitando um Prédio a Localizar Contextualmente Dispositivos utilizando Redes Sem Fio

LUÍS HENRIQUE PUHL DE SOUZA

**HABILITANDO UM PRÉDIO A LOCALIZAR CONTEXTUALMENTE  
DISPOSITIVOS UTILIZANDO REDES SEM FIO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação apresentado ao Departamento de Computação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Bauru.

Aprovado em 13/02/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado  
Orientador  
Faculdade de Ciências  
Universidade Estadual Paulista - Bauru

Profa. Dra. Simone das Graças Domingues Prado  
Faculdade de Ciências  
Universidade Estadual Paulista - Bauru

Profa. Dra. Roberta Spolon  
Faculdade de Ciências  
Universidade Estadual Paulista - Bauru

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Bernardete Maria Puhl, e minha família pelo amor, apoio e incentivo que me acompanham desde sempre.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Morgado, por todo o tempo e trajetória no LTIA<sup>1</sup>, pela confiança, apoio e incentivo.

A Carol Junqueira, pelo apoio, incentivo, paciência, companhia na correção e melhorias na construção desse documento.

A todos os colegas do laboratório e de universidade, que sempre estiveram dispostos a orientar e aprender em grupo.

Aos colegas V. Figueiredo, M. Cordeiro, K. Kimiko, H. Sumitomo, G. Oliveira, A. Peixinho, F. Avelar, E. Carreira, D.S. Santos, F. Beline, F. Lopes, M. Batista entre outros que ajudaram em minha formação técnica.

Aos amigos D. Alexandre, F. Braga, R. Devellis, G. Galdino, entre outros que ajudaram em minha formação pessoal.

A M. Barbosa pela oportunidade.

A todos os professores, pois com muito esforço diário passaram não somente as informações técnicas e práticas de cada disciplina, mas lições que servirão para toda vida.

---

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada

# RESUMO

IoT é o foco de empresas e entusiastas devido ao seu incrível crescimento com milhares de novos dispositivos todos os dias. Tudo isso construído sobre os baixos custos de processamento tanto em pequenos dispositivos quanto em grandes nuvens e da capacidade comunicacional que é cada vez mais exigida e presente em coisas do dia-a-dia. Através da exploração de plataformas emergentes (como o ESP8266 e o Raspberry Pi) e da construção de protótipos, este trabalho teve como objetivo construir um sensor que permita que um prédio localize contextualmente qualquer dispositivo que se comunique utilizando Wi-Fi. Para alcançar esse objetivo, utilizou-se diversas ferramentas tecnológicas, incluindo Raspberry Pi 3, TShark, Node.js e MQTT. Estas ferramentas possibilitaram testes onde confirmou-se que não é possível associar uma distância geográfica à potência de sinal recebida (RSS) no caso de comunicações Wi-Fi, porém, com o mesmo sensor, é possível associar um dispositivo ao contexto de um sensor como uma sala dentro de um prédio.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas. Raspberry Pi. Localização Contextual. MQTT. Node.js. TShark. Wi-Fi.

# ABSTRACT

IoT is at the focus of companies and enthusiasts due to its incredible growth with thousands of new devices every day. All built on top of the low processing costs (in both small hardware and large clouds) and the communicational capacity that is increasingly required by businesses and consumers alike and present in everyday things. Through the exploration of emerging platforms (such as ESP8266 and Raspberry Pi) and the construction of prototypes, this work aimed to construct a sensor that allows a building to contextually locate any device that communicates using Wi-Fi. To achieve this goal, several technological tools were used, including Raspberry Pi 3, TShark, Node.js and MQTT. These tools enabled tests where it was confirmed that it is not possible to associate a geographic distance to received signal strength (RSS) in the case of Wi-Fi communications, but with the same sensor we conclude that it is possible to associate a device with the context of that sensor such as at a room inside a building.

**Keywords:** Internet of Things. Raspberry Pi. Contextual location. MQTT. Node.js. TShark. Wi-Fi

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo das camadas . . . . .	19
Figura 2 – Módulo ESP-01 . . . . .	29
Figura 3 – Módulo LoLin com ESP-12e . . . . .	29
Figura 4 – Módulo ESP-12e . . . . .	30
Figura 5 – Módulo d1 mini com ESP-12f . . . . .	30
Figura 6 – Módulo ESP-12e com placa adaptadora . . . . .	30
Figura 7 – ESP-12f com regulador tensão e serial . . . . .	32
Figura 8 – Sequência de ferramentas para implantação . . . . .	33
Figura 9 – Adaptador Serial-USB ch340g . . . . .	34
Figura 10 – Adaptador Serial-USB Cp2102 . . . . .	34
Figura 11 – Código em C compilado e implantado em um ESP8266 . . . . .	35
Figura 12 – Raspberry Pi 3 . . . . .	37
Figura 13 – Antena cerâmica de Wi-Fi e Bluetooth do Raspberry Pi 3 . . . . .	40
Figura 14 – Adaptador Wi-Fi USB D-Link do laboratório . . . . .	40
Figura 15 – Adaptador Wi-Fi USB Ralink Edup A . . . . .	40
Figura 16 – Adaptador Wi-Fi USB Ralink Edup B . . . . .	40
Figura 17 – Interface do airodump-ng . . . . .	41
Figura 18 – Arquitetura geral da aplicação demonstrativa . . . . .	45
Figura 19 – MQTT Dashboard: Envio de mensagens . . . . .	53
Figura 20 – MQTT Dashboard: Lista de inscrições . . . . .	53
Figura 21 – MQTT Dashboard: Lista de mensagens no tópico . . . . .	54
Figura 22 – MQTT Dashboard: Mensagem de relatório completo do sensor . . . . .	54
Figura 23 – MQTT.fx: Estatísticas do <i>Broker</i> . . . . .	55
Figura 24 – mqtt-spy: Listagem de dispositivos . . . . .	56
Figura 25 – Web APP . . . . .	57
Figura 26 – Ambiente de teste de ruído . . . . .	60
Figura 27 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fb sensor 1 . . . . .	61
Figura 28 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fb sensor 2 . . . . .	62
Figura 29 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fe sensor 1 . . . . .	62
Figura 30 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fe sensor 2 . . . . .	63
Figura 31 – Ambiente de teste . . . . .	66
Figura 32 – Sumário de pacotes por dispositivo - Teste 1 . . . . .	67
Figura 33 – Sumário de pacotes por dispositivo - Teste 2 . . . . .	68
Figura 34 – dBm Motorola G4+ - Teste 1 . . . . .	69
Figura 35 – dBm Motorola G4+ - Teste 2 . . . . .	69

# LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 4.1 – Ativação do modo monitor . . . . .	39
Código-fonte 4.2 – “iwconfig” com modo monitor . . . . .	39
Código-fonte 4.3 – TShark e opções . . . . .	42
Código-fonte 4.4 – Adição do usuário pi ao grupo wireshark . . . . .	42
Código-fonte 5.1 – TShark e opções executado pelo Node.js . . . . .	46
Código-fonte 5.2 – Uso do fast-csv . . . . .	47
Código-fonte 5.3 – Adição do pacote ao histórico do dispositivo . . . . .	48
Código-fonte 5.4 – Extração das estatísticas do dispositivo . . . . .	48
Código-fonte 5.5 – Cliente MQTT.js . . . . .	49
Código-fonte 5.6 – Instalação e configuração do Mosquitto . . . . .	52
Código-fonte 6.1 – TShark e redirecionamento da saída para arquivo assíncrono . . . . .	58

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição e custos de módulos ESP8266 . . . . .	31
Tabela 2 – Descrição e custos de acessórios para ESP8266 . . . . .	31
Tabela 3 – Ferramentas para desenvolvimento com ESP8266 . . . . .	33
Tabela 4 – Descrição e custos com Raspberry Pi 3 . . . . .	38
Tabela 5 – Comparação das plataformas ESP8266 e RPI3 . . . . .	43
Tabela 6 – Comparação de custos para o sensor da aplicação proposta em função da plataforma . . . . .	43
Tabela 7 – Custos para o <i>gateway</i> da aplicação proposta . . . . .	44
Tabela 8 – dBm Pontos de acesso - Acumulado 8 horas . . . . .	64
Tabela 9 – Distância entre os sensores e os Pontos de acesso . . . . .	65
Tabela 10 – Análise dos pacotes do <i>smartphone</i> - 10 minutos . . . . .	68

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Ponto de Acesso Wi-Fi
AT	<i>ATtention</i>
API	<i>Application Programming Interface</i> , conjunto de definições para comunicação entre componentes de software
CSV	<i>comma separated values</i> - valores separados por vírgula
dBm	Unidade de medida para telecomunicações que expressa potência absoluta
DIY	<i>Do it by yourself</i> - Faça você mesmo
FSPL	<i>Free-space path loss</i> - perca no caminho em espaço aberto
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> - Sistemas de navegação por satélite
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	<i>Internet of Things</i> - Internet das Coisas
IPS	<i>Indoor Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Interno
LBS	<i>Location-Based Services</i> - Serviços baseados em localização
LTIA	Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada
MAC	<i>Media Access Control</i> - protocolo que coordena endereços de máquina a nível da camada de enlace de dados
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
MU	<i>Mobile User</i> - Usuário Móvel
NFC	<i>Near Field Communication</i> - Comunicação Por Campo de Proximidade
PS	<i>Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento
QoS	<i>Quality of Service</i> - Qualidade de Serviço
RF	Radiofrequênciā
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i> - Identificação por radiofrequênciā
RP	<i>Reference Point</i> - Ponto de Referência

RPI3	Raspberry Pi 3 model B
RSS	<i>Received Signal Strength</i> - Potência de Sinal Recebido
SSH	<i>Secure Shell</i> - Conexão segura entre terminais <i>bash</i>
ToA	<i>Protocol Time of Arrival</i>
Wi-Fi	Marca registrada da Wi-Fi Alliance. Rede local sem fios baseados no padrão IEEE 802.11

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema . . . . .</b>	<b>15</b>
1.1.1	Sobre Sistemas de Posicionamento . . . . .	15
<b>1.2</b>	<b>Motivação . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>20</b>
1.3.1	Objetivo Geral . . . . .	20
1.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Internet das coisas (IoT) . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Localização contextual de dispositivos . . . . .</b>	<b>21</b>
2.2.1	Localização contextual . . . . .	22
2.2.2	Contexto de um dispositivo em um prédio . . . . .	23
<b>2.3</b>	<b>Localização baseada em redes sem fio . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Trabalhos correlatos . . . . .</b>	<b>24</b>
2.4.1	Na comunidade empresarial . . . . .	24
2.4.2	Na comunidade acadêmica . . . . .	25
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>PLATAFORMAS . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>ESP8266 . . . . .</b>	<b>29</b>
4.1.1	Disponibilidade no mercado . . . . .	30
4.1.2	Desenvolvimento e Implantação . . . . .	32
4.1.3	Testes e resultados - ESP8266 . . . . .	34
<b>4.2</b>	<b>Raspberry Pi . . . . .</b>	<b>36</b>
4.2.1	Disponibilidade no mercado . . . . .	36
4.2.2	Desenvolvimento e implantação . . . . .	38
4.2.3	Testes e resultados - Raspberry Pi . . . . .	39
<b>4.3</b>	<b>Escolha e conclusão . . . . .</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DEMONSTRATIVA . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>Aplicação Sensor . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Aplicação Distribuidora - Gateway . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>5.3</b>	<b>Aplicação Web . . . . .</b>	<b>57</b>

<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>58</b>
6.1	Método de teste . . . . .	58
6.2	Avaliação de ruído e consistência . . . . .	60
6.3	Teste de localização com smartphone . . . . .	66
6.4	Corroboração . . . . .	69
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>70</b>
7.1	Resultados para comunidade e trabalhos futuros . . . . .	71
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE A – COMPRAS MERCADO LIVRE . . . . .</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE B – EMAIL ANDROID WIFI DISTANCE CALCULATOR . . . . .</b>	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Nos recentes anos de 2014 a 2016, a Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) vem tomado o foco das atenções de empresas e entusiastas de Tecnologia da Informação (DZONE, 2015) e, como é esperado que uma quantia total de 6,4 bilhões de dispositivos conectados exista até o final de 2016 (GARTNER, 2015) e entre 26 bilhões (GARTNER, 2014) e 50 bilhões até 2020 com até 250 novas coisas conectando-se por segundo (Cisco Blog, 2013), as empresas líderes do segmento já incluem IoT como uma de suas áreas de atuação (IBM, 2016; ARM, 2016; MICROSOFT, 2016; INTEL, 2016; ORACLE, 2016; GOOGLE, 2016; AWS..., 2016).

Todo este movimento no mercado é justificado pelo baixo custo dos pequenos dispositivos computacionais (FOUNDATION, 2015; ESP8266.NET, 2016) e grandes serviços na nuvem (KAUFMANN; DOLAN, 2015; AMAZON, 2016). Este baixo custo possibilita a computação ubíqua descrita por Weiser (1999) que nesta obra é entendida como “*computação onipresente diluída no dia-a-dia*”. Também nesta obra, esta onipresença diluída no plano de fundo é a base e a consequência para o conceito e área de IoT, sendo esta a realizadora da computação ubíqua.

Uma vez contextualizado o mercado e a oportunidade de implementação da computação ubíqua, percebe-se a necessidade de dar aos elementos cotidianos (coisas) a capacidade info-computacional, tornando-os sensores e atuadores conectados, unicamente identificáveis e acessíveis através da rede mundial de computadores (LEMOS, 2013; KRA-NENBURG, 2012). Para tanto, este trabalho propõe a construção de um sensor que, através da rede, identifica e localiza contextualmente os elementos cotidianos.

## 1.1 Problema

Tamanha quantidade de dispositivos conectados pouco acrescenta na vida diária se humanos ou coisas não puderem simplesmente se encontrar. Tanto em ambiente real quanto virtual é essencial o contato e conhecimento entre as partes envolvidas para que uma interação complexa seja executada. Portanto, para que uma aplicação IoT funcione corretamente, o conhecimento do contexto em que todos os interessados, sejam coisas ou pessoas, estão inseridos é indispensável. Para a maioria das aplicações, a informação contextual de maior relevância é a localização.

Em situações em que a localização contextual é essencial para o bom funcionamento de uma aplicação IoT, destaca-se a necessidade da coleta desta informação através de sensores ativos sempre que a aplicação requisite a ciência deste contexto em suas tomadas de decisão. E, também, para que outros (sistemas, pessoas e coisas) saibam a localização de qualquer dispositivo ao qual têm interesse de interagir, distribuindo efetivamente essa informação coletada sobre o contexto com todos os que se encontram envolvidos no mesmo contexto.

Um exemplo desta necessidade de localização de dispositivos dentro de um prédio seria um profissional saber onde está o dispositivo em seu local de trabalho, seja ele um vendedor e seu *tablet* para demonstrar um produto fora de estoque em uma loja ou um médico e seu equipamento portátil.

### 1.1.1 Sobre Sistemas de Posicionamento

Sistemas de posicionamento (PS - *Positioning System*) são geralmente constituídos de um Ponto Origem Global escolhido ( $O$ ) e um conjunto não vazio de Pontos de Referência (RP - *Reference Point*) cuja localização global em relação ao  $O$  é conhecida com uma certa precisão quando o sistema é construído - precisão de construção. Então, para o usuário, um sistema de posicionamento oferece como resultado uma precisão de visualização menor que a sua precisão de construção. Um PS tem interesse em determinar a posição de um ponto móvel (MU - *Mobile User*). Essa localização é feita encontrando um conjunto de distâncias associadas a cada um dos RPs em um sub-conjunto com dimensão variável de acordo com o método utilizado. Feito isso, é possível utilizar modelos matemáticos para, a partir das distâncias, encontrar uma posição do MU em relação aos RPs e uma nova transformação é aplicada para encontrar a posição relativa ao  $O$ .

Uma das maneiras de classificar PSs é entre as classes de Auto Posicionamento e Posicionamento Remoto. Os de Auto Posicionamento contém no MU todo aparato necessário para medir a distância dos RPs e calcular a posição em relação a  $O$ . Já os classificados como de Posicionamento Remoto tem o mínimo necessário na MU e todo o trabalho de cálculo de distância e posição global é feito nos RPs ou em uma unidade coordenadora

destes.

Para PSs eletrônicos baseados em radio-frequência (RF - *Radio Frequency*), geralmente, utilizam-se dois componentes básicos, Transmissores e Receptores, os quais assume-se que ao menos um destes está no RP e ao menos um outro no MU. Para calcular a distância entre MU e RP, utiliza-se as propriedades da comunicação por RF como tempo de chegada (TOA - *Time Of Arrival*), diferencial de tempo de chegada (TDOA - *Time Difference Of Arrival*) e ângulo de chegada de sinal (AOA - *Angle Of Arrival*).

Para maior precisão, é comum a utilização de múltiplas RPs geralmente com o número mínimo igual ao número de dimensões espaciais que deseja-se calcular. Nota que para sistemas distribuídos a sincronização de relógios é um problema intrínseco, então é fundamental que o tempo seja incluído como dimensão.

Os sistemas classificados como “Sistema de Navegação Global por Satélite” (GNSS - *Global Navigation Satellite System*), como o tradicional estadunidense Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*), utilizam a técnica em que o dispositivo móvel contém o receptor e os transmissores são fixos em satélites na órbita terrestre (DJUK-NIC; RICHTON, 2001). Devido a posição e número de satélites, o GPS e seus correlatos estão sempre presentes do ponto de vista de um observador da superfície terrestre, sendo para este tipo de usuário um sistema ubíquo.

Entretanto, a força do sinal GNSS não é suficiente para penetrar a maioria dos prédios, uma vez que estes dependem de visão direta (LOS - *Line-Of-Sight*) entre os satélites e o receptor. A reflexão do sinal muitas vezes permite a leitura em ambientes fechados, porém o cálculo da posição não será confiável (CHEN; KOTZ, 2000). Logo, apesar da ubiquidade dos GNSSs em ambientes abertos, são necessárias soluções diferentes para obter um Sistema de Posicionamento para Ambientes Fechados (IPS - *Indoor Positioning System*), sendo a ubiquidade deste essencial para conquistar o mesmo nível de confiança trazido pelos GNSSs.

Para implementar este IPS, propõem-se o uso de tecnologias já implantadas em dispositivos móveis e essenciais para o funcionamento dos mesmos, especialmente as de camadas de comunicação, que são ubíquas no ambiente dos dispositivos móveis, como Wi-Fi (padrão IEEE 802.11) e Bluetooth (padrão Bluetooth SIG), para que os objetos que deseja-se obter a localização contextual não necessitem de modificações.

Outros protocolos de comunicação sem fio ubíquos existem (em especial, os celulares em todas as gerações 2G, 3G, 4G), porém não oferecem a mesma flexibilidade por trabalharem em uma faixa de radio-frequência licenciada e por questões de propriedade da rede que serão abordadas na seção de Localização Contextual desta obra.

De forma semelhante, existem protocolos mais flexíveis (nas faixas não licenciadas como NFC, infra-vermelho, ZigBee ou SIGFOX), porém estes não estão presentes na maioria

dos aparelhos utilizados, tanto global quanto localmente, removendo a característica da forma de comunicação ubíqua que é foco deste trabalho.

Devido às restrições anteriores, justifica-se o foco deste trabalho em tecnologias de comunicação Wi-Fi e Bluetooth. Ambas as tecnologias tem interesse para esta obra, pois, a nível global, elas possuem mesma importância e presença no mercado atual, permitem flexibilidade por possuírem protocolos conhecidos por todos em frequências livres de licenciamento e dentro da área de cobertura que são de nosso interesse e o usuário final já ser o proprietário da rede local criada. Porém, trabalhar com as duas tecnologias simultaneamente é um problema complexo por si só, então, a escolha de uma ou outra deve ser feita. Para o presente trabalho, escolheu-se a tecnologia Wi-Fi, visto que está sempre ligado em todos os dispositivos, conectando-os à Internet, enquanto o Bluetooth tende a ser mantido desligado. Logo, por considerar como fator decisivo a observação do ambiente teste do protótipo desenvolvido, o Wi-Fi apresenta-se como opção de maior interesse.

## 1.2 Motivação

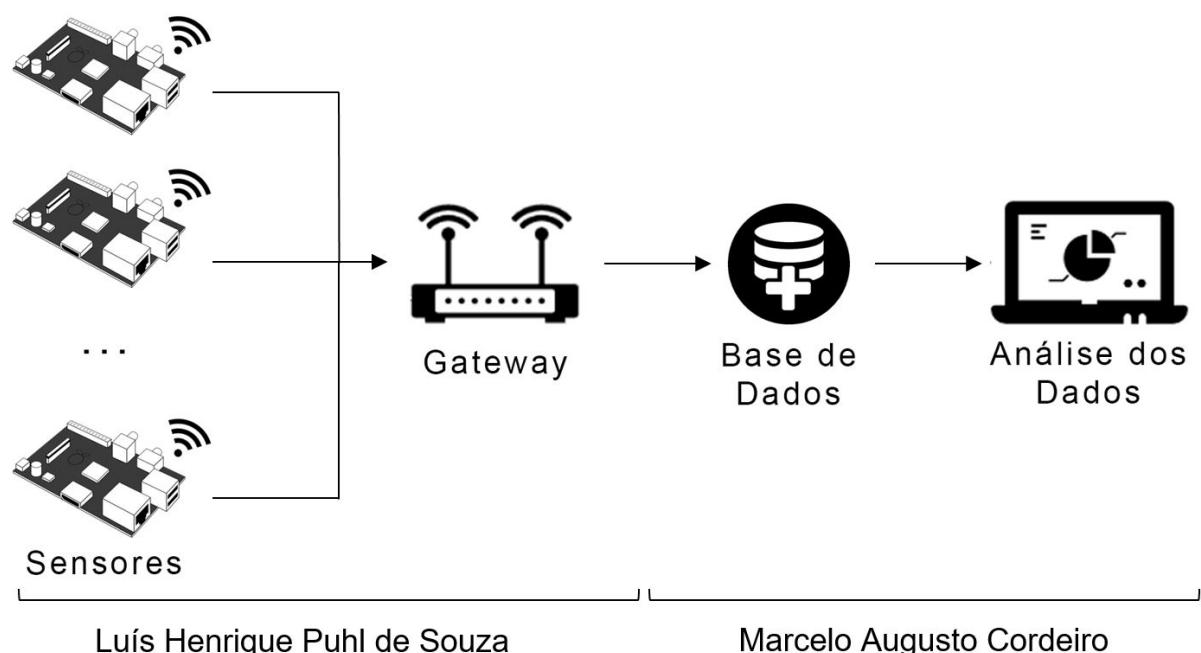
A proposta deste trabalho é criar um ambiente contextual, onde a localização contextual oriunda do posicionamento remoto de cada dispositivo móvel é administrada e divulgada pelo prédio conectado ao invés da auto-localização do aparelho, pois:

- a) Uma vez encontrada a localização, é mais fácil propagar esta informação do ambiente para o aparelho em comparação ao autoposicionamento, pois a negociação entre o ambiente e o aparelho é nula quando o primeiro contém a informação - o ambiente sempre disponibilizará uma informação coletada para o gerador desta informação;
- b) Pode-se lidar com grande heterogeneidade de dispositivos, uma vez que cada um deles não precisa se adaptar para cada mudança de ambiente;
- c) Este tipo de informação já é contida nos históricos de cada Ponto de Acesso Wi-Fi (AP), porém:
  - Geralmente sem uso - poucas são as aplicações que usam a localização obtida pelo AP;
  - Com granularidade insuficiente para uso em aplicações contextualizadas;
  - geralmente não disponibilizada pelos APs.
- d) Uma vez instalado um PS deste gênero, a quantia de dispositivos que ele pode localizar fica limitada apenas pela rede física anteriormente instalada;
- e) Economia de hardware quando menos é exigido de cada dispositivo móvel.

Nota-se também que mesmo com a quantidade prevista de 5 dispositivos IoT por pessoa em média, estes seriam beneficiados sempre que utilizados no ambiente conectado proposto.

A Figura 1 apresenta a arquitetura simplificada de uma aplicação IoT, e no detalhe inferior a relação deste projeto com o do aluno Marcelo Augusto Cordeiro, também do Bacharelado de Ciências da Computação, que é também membro do ambiente de testes LTIA (Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada) da Unesp de Bauru e do mesmo edital para obter o título de bacharel.

Figura 1 – Modelo das camadas



Fonte: Cordeiro (2017)

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Considerando características locais, propõe-se a construção de uma aplicação para localizar contextualmente dispositivos dentro de um prédio piloto e avaliar sua precisão.

Além da aplicação, é objetivo definir o custo do projeto piloto, incluindo esforço de pesquisa assim como definir um custo para replicação deste localizador contextual em outros prédios utilizando como fonte de ferramentas e recursos o mercado local.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Estabelecer o estado da arte sobre a desenvolvimento de aplicações IoT;
- b) Identificar desafios locais para o desenvolvimento;
- c) Identificar provedores de serviços, dispositivos e ferramentas para o desenvolvimento;
- d) Construir sensores de identificação e localização (distância) de dispositivos cuja comunicação seja baseada em Wi-Fi;
- e) Posicionar estes sensores;
- f) Construir um dispositivo agregador de informações dos sensores (*gateway*) e sua interface web (MQTT - *MQ Telemetry Transport*);
- g) Estimar o custo total do projeto piloto incluindo esforço de pesquisa;
- h) Estimar o custo de replicação da aplicação em outros prédios utilizando fontes do mercado local.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para conceituar, fundamentar e dar suporte teórico ao presente trabalho apresentam-se neste capítulo os tópicos e definições dos segmentos: IoT, localização contextual de dispositivos e localização baseada em redes sem fio.

### 2.1 Internet das coisas (IoT)

Uma das primeiras aplicações e definições de IoT foi feita simultaneamente por Kevin Ashton em 1999 para a P&G (*Procter & Gamble*) (ASHTON, 2009) e pelo laboratório Auto-ID Labs no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT - *Massachusetts Institute of Technology*) utilizando identificação por radio-frequência (RFID - *radio-frequency identification*) (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; FRIEDEMANN; FLOERKEMEIR, 2011). Desde então, a IoT cresceu ultrapassando o escopo da tecnologia RFID, porém sempre com as premissas de “uma infraestrutura global para a Sociedade da Informação, habilitando serviços avançados através da interconexão de coisas (físicas e virtuais) baseadas em tecnologias, existentes e evolutivas, de informação e comunicação” descrita por Wortmann e Flüchter (2015 apud International Telecommunication Union, 2012, p. 1, grifo e tradução nossa).

Hoje em dia, quase qualquer tecnologia de comunicação acessível a computadores pode ser utilizada como meio de comunicação entre dispositivos IoT. Esta gama de tecnologias possibilita uma variedade equivalente de coisas conectadas. Se a coisa pode usar de uma tecnologia de conexão, considerando suas restrições de volume, custo e utilidade, muito provavelmente vai fazê-lo gerando ao menos uma identidade virtual representando seu objeto físico e seus atributos. Esta identidade virtual e atributos virtuais serão expostos para todos indivíduos, humanos ou coisas, que lhe forem convenientes de qualquer lugar do universo virtual, fazendo efetivamente parte da Internet.

### 2.2 Localização contextual de dispositivos

Em ciência da computação, os termos "*Contexto*" e "*Consciência de Contexto*" expressam uma ideia recente estudada nos campos de inteligência artificial e ciência cognitiva desde 1991. O tema "Contexto" ainda é considerado atual e promissor a ponto de mudar o cenário de negócios nos próximos 10 anos, mas sem definição simples. Tamanha é a falta de uma definição geral que realmente funcione para casos reais que existe uma proposta de definir o termo utilizando uma nova metodologia de pesquisa holística através

de mineração e agrupamento de texto advindo de publicações científicas (PASCALAU; NALEPA; KLUZA, 2013).

Mesmo sem uma definição permanente em vista, utilizou-se o que é considerado estado da arte para o termo "*Contexto*" que foi introduzido por Dey e Abowd (1999) e reforçado por Dey (2000):

Contexto é qualquer informação que pode ser utilizada para caracterizar a situação de uma entidade. Uma entidade é uma pessoa, lugar ou objeto que é considerado relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação, incluindo o próprio usuário e a aplicação.

Dey e Abowd (1999, p. 3) Tradução Nossa.

### 2.2.1 Localização contextual

Das informações contextuais que uma aplicação de cliente móvel pode obter, a localização é uma das mais importantes. Ajudar pessoas a navegar por mapas, encontrar objetos e pessoas com os quais tem interesse de interagir é sem dúvida uma boa meta a ser alcançada com a coleta da localização do cliente (BELLAVISTA; KÜPPER; HELAL, 2008).

Na categoria de Serviços Baseados em Localização (LBS - *Location-Based Services*) existem duas gerações. A primeira orientada a conteúdo que falhou, pois a informação de localização era armazenada pela rede (que geralmente era administrada por uma empresa de telecomunicações), podendo até ser vendida pelo provedor a terceiros, causando a sensação de *Spam* (conteúdo não solicitado) no usuário final ao receber conteúdo desta provedora. Já na segunda geração, a posse da informação foi movida para o cliente móvel, deixando a cargo do usuário escolher se ela seria compartilhada e com quem. Esta mudança trouxe maior engajamento do usuário, resultando numa maior aceitação dessa geração (BELLAVISTA; KÜPPER; HELAL, 2008).

Ao contrário das técnicas atuais, neste trabalho os humanos ou tomadores de decisão não estarão em posse do cliente móvel, e sim em posse do prédio. Portanto, a mesma informação, sem degradação em sua importância, passará a ser coletada e armazenada pelo provedor da rede como nos LBSs de primeira geração. Esta decisão garante o foco no usuário uma vez que este mudou, antes ele detinha um cliente móvel, agora ele detém múltiplos. Isso torna a detenção do todo (coisas dentro do prédio) mais precioso do que o das partes (os clientes móveis) além da mudança da propriedade da rede para o usuário final, na comparação celular *versus* Wi-Fi.

Uma vez encontrada a localização de um dispositivo, metadados sobre o prédio são mesclados formando um conjunto rico contextualmente do ponto de vista da aplicação IoT Prédio como fornecedora principal dos dados para a Internet e, portanto, seus usuários detentores. Essa riqueza é garantida com metadados sobre o dispositivo (identi-

ficação, nome, histórico, características) e sobre o prédio (ex.: mapa, estrutura de salas, humanos responsáveis e lista de equipamentos) que trazem possibilidades de extração de informação importantes para os detentores deste prédio e seu conteúdo. Esta capacidade do prédio deve-se pelo papel de coordenador de informações e controlador de meta-informações semelhante ao Coordenador em uma aplicação na arquitetura Modelo-Apresentação-Adaptador-Controlador-Coordenador (MPACC - *Model-PresentationAdapter-Controller-Coordinator*) proposto por Román e Campbell (2001).

### 2.2.2 Contexto de um dispositivo em um prédio

Para metadados agregados à informação de posição pelo prédio defini-se que, para uma aplicação IoT, o modelo de divulgação tem de conter além da posição do dispositivo informação sobre este (nome, histórico), informação da estrutura do prédio, ligação entre a estrutura do prédio e a localização do dispositivo e informação sobre o estado do prédio.

Este modelo visa prover fácil mineração e reutilização de informações por terceiros que é medida pela disponibilidade e relacionamento das informações providas. Essa métrica também será utilizada para avaliar o projeto.

Este foco em reusabilidade vem da definição de Web Semântica (*Semantic Web*) e de uma de suas realizadoras, a Ligação de Dados (*Linked Data*), que sugerem o uso de um formato padrão além de ser acessível e gerenciável pelas ferramentas de exploração. Desta forma a Web de Dados (*Web of Data*) é construída opondo uma simples coleção de dados (BIZER; HEATH; BERNERS-LEE, 2009).

## 2.3 Localização baseada em redes sem fio

Um sistema de posicionamento pode ser baseado em técnicas *n-lateração* de distâncias adquiridas com a medição de características eletromagnéticas (RSS) e dos protocolos (ToA) que já foram explorados anteriormente (ABUSUBAIH; RATHKE; WOLISZ, 2007; BAHILLO et al., 2009; FELDMANN et al., 2003).

Portanto, os sensores seguem as especificações de Wi-Fi IEEE 802.11 (CROW et al., 1997) e técnicas definidas para *Bluetooth Low Energy* (BLE) (HOSSAIN; SOH, 2007) devido a semelhança da área de cobertura (até 100 metros, geralmente utilizado até 20 metros) e frequência (no caso de 2.4GHz).

Para construir estes sensores uma plataforma de hardware adequada é necessária, para esta escolheu-se o Raspberry Pi (VUJOVIC et al., 2014; VUJOVIĆ; MAKSIMOVIĆ, 2015) que já foi provado funcional no caso de Localização através Wi-Fi por Ferreira (2016) especialmente a sua versão 3 que adiciona a capacidade de sensor Wi-Fi e Bluetooth em sua placa principal sem necessidade de adaptadores externos destacando ainda mais sua

escolha (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2016). Em adição, na construção dos sensores foi testada a plataforma ESP8266 bem como outras alternativas que demonstraram afinidade com essas características.

## 2.4 Trabalhos correlatos

Nesta seção, são apresentados alguns projetos semelhantes em objetivo ao daqui proposto e que motivaram a construção do sensor resultante deste trabalho.

### 2.4.1 Na comunidade empresarial

A Zebra é um empresa estadunidense que fabrica e vende tecnologia de marcação, rastreamento e impressão por computador. Dentre os seus produtos, estão: computadores móveis, RFID, software, impressoras, tablets, leitores de códigos de barras, quiosques interativos, entre outros. Já na área de serviços, a empresa oferece planejamento e execução de projetos para identificação e rastreamento computadorizado.

A Zebra realizou um estudo (Global Shopper Study) que indicou que os varejistas apostaram em recursos online que podem aumentar o envolvimento e fidelidade do consumidor, além, claro, do volume de vendas. Segundo o mesmo estudo, 51% dos compradores tem um forte interesse em serviços baseados em localização e Wi-Fi em lojas para cupons *mobile*, mapas de compras e receber assistência. Além disso, 64% dos compradores dizem que estão dispostos a comprar mais itens se receberem um serviço melhor e mais atenção dos vendedores, enquanto mais da metade prefere que os varejistas usem a tecnologia para criar experiência de compra mais eficiente.

A empresa possui o projeto MPact que é um IPS que unifica Wi-Fi e Bluetooth. Ele fornece a localização do consumidor em três níveis: presença, zona e posição. Com estas informações é possível saber sobre o indivíduo: quem é, onde está, quanto tempo fica em certas áreas e quais produtos está comprando. Esta tecnologia pode ser implementada independente do ambiente, através do Wi-Fi, ou do microposicionamento através do Bluetooth. Com a união dessas duas plataformas é possível saber o tempo exato e posição exata de onde alguém está.

Em 2016, a empresa implantou no Shopping Cidade Jardim, em São Paulo, uma rede Wi-Fi de alta velocidade, com a tecnologia MPact que proporciona aos seus clientes acesso gratuito a Internet, juntamente com uma experiência de compra mais personalizada.

Este tipo de serviço fornece aos operadores e varejistas um melhor entendimento sobre o comportamento dos consumidores, pois eles podem saber que parte do corredor ou de uma loja o cliente está, quanto tempo permanece na frente de uma loja e quais produtos mais vendem. Oferecer este tipo de serviço é uma maneira de ganhar e manter

consumidores, crescer no número de satisfações e ajudar a monitorar os pontos de venda (Zebra Technologies, 2016).

### 2.4.2 Na comunidade acadêmica

Outras tentativas bem sucedidas de localizar dispositivos móveis através da rede Wi-Fi são o caso de Vasisht, Kumar e Katabi (2016) e de Lanzisera, Zats e Pister (2011).

No primeiro exemplo, um adaptador Wi-Fi Intel 5300 com três antenas calcula o tempo de voo entre uma antena e outra além de utilizar técnicas de mitigação de multi-caminho, mitigação de identificação de pacote entre outras características importantes do protocolo Wi-Fi, como a frequência e sincronização de clientes para alcançar até 10 centímetros de precisão. Neste caso, as três antenas atuam como três sensores independentes justa posicionados para executar trilateração. Esta aplicação é implementada em uma placa instalada em um computador moderno através do barramento PCI Express com sistema operacional Ubuntu. Ela possui habilidade de injetar pacotes na rede o que difere muito das arquiteturas embarcadas que normalmente são encontradas no ambiente de IoT.

O segundo exemplo de aplicação bem sucedida se utiliza de modificações no hardware de um ponto de acesso do padrão IEEE 802.15.4 e alcança precisões de 1 a 3 metros. Este protocolo é mais encontrado em comunicações de longa distância ou sensíveis a uso de energia que são frequentes em aplicações embarcadas.

Outra tentativa é encontrada na tese de mestrado de Ferreira (2016) na qual ele constrói um protótipo geolocalizador de dispositivos através de RSS de Wi-Fi. Muito semelhante a aplicação aqui implementada. Mais detalhes são discutidos na seção 7.1 (Resultados para comunidade e trabalhos futuros).

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Abordagens para medir distâncias através de redes sem fio Wi-Fi (BAHILLO et al., 2009) e Bluetooth já existem e propor novas maneiras não é o foco deste trabalho. Utilizando essas técnicas, constitui-se uma rede de nós sensores colaborativos fixos no ambiente onde deseja-se obter a localização dos dispositivos. As informações de distância são compartilhadas entre os nós para maior precisão da informação.

Para a implementação, utilizou-se os software de maior destaque recentemente nos ramos de comunicação de baixa energia (MQTT), serviços Web para geolocalização (Google Maps) e publicação (Node.js), além de software para medição da distância sem interferir na comunicação (*Sniffing*) e das plataformas de hardware disponíveis e recomendadas para IoT com capacidade Wi-Fi (Raspberry Pi 3 e ESP8266).

Mesmo com a grande quantidade de dispositivos já conectados são poucos os documentos descrevendo boas práticas para concepção, construção e manutenção de aplicações IoT, especialmente sobre os cuidados tomados quanto a segurança e análise de custos para a implementação e manutenção. Além disso, a falta de referências neste sentido é agravada quando considera-se a implementação no interior do estado de São Paulo. Nesta região, poucas são as organizações atualizadas neste tema, levando a uma falta enorme de conteúdo escrito na linguagem local além de serviços e produtos disponíveis para construção de uma plataforma completa e competitiva na região.

Devido a falta de conteúdo e instrução, utiliza-se prototipagem ágil neste projeto, uma vez que esta metodologia de desenvolvimento é recomendada para projetos cujas especificações e definições não são claras, demandando muitas modificações das mesmas durante a etapa de execução. Esse método entra em contraste com metodologias clássicas, como a cascata, que apesar de previsíveis, não reagem bem a ambientes de extrema incerteza.

Mais especificamente, utiliza-se uma variante da metodologia Scrum (JAMES, 2016) que foi adaptada para o projeto. Nela, foram executadas iterações de uma semana em que a cada iteração, uma nova versão melhorada do produto completo (hardware, software, documentação e resultados) foi feita.

Dentro de cada iteração, as camadas da aplicação IoT foram escolhidas, implementadas, justificadas e avaliadas.

A cada iteração, cumpriu-se parte ou todo de cada objetivo proposto no trabalho, levando o projeto gradualmente para um estágio de completude. Cada iteração teve como foco os objetivos a seguir, sendo seus resultados utilizados para tomar e justificar decisões

durante a execução do projeto bem como servir de posterior documentação. Os objetivos de cada iteração são:

- a) Escolha de provedores de serviços, dispositivos e ferramentas para o desenvolvimento;
- b) Construir, avaliar, testar e manter os sensores;
- c) Construir o dispositivo agregador e sua API;
- d) Estimar o custo total do projeto piloto;
- e) Estimar o custo de replicação;
- f) Identificar os desafios para o desenvolvimento.

Desta forma, a liberdade necessária foi garantida para o projeto ser executado com sucesso, mesmo no ambiente de incerteza no qual o mercado local de IoT encontra-se, cumprindo as premissas de funcionamento, manutenção e segurança que são de grande importância para os interessados na área.

## 4 PLATAFORMAS

Para a localização com os resíduos de comunicação Wi-Fi são necessários plataformas que possam capturar estes resíduos e processar qualquer informação capturada. Esta plataforma de sensor pode ser construída com qualquer plataforma computacional capaz de ser programada com comunicação Wi-Fi, porém o hardware de Wi-Fi e seu software controlador deve permitir o Modo Promíscuo.

Este Modo Promíscuo (*promiscuous mode*) é definido pela capacidade de uma Placa Adaptadora de Rede Wi-Fi (*Network Interface Card - NIC*) receber e interpretar todos os pacotes que trafegam em uma rede ou em todas as redes que estão em seu alcance, independentemente do destinatário do pacote. Em seu funcionamento normal, uma NIC descarta todos os pacotes que não são destinados a ela o mais cedo possível, evitando reprocessamento de dados indesejáveis, por este motivo não são todas as NICs que permitem o Modo Promíscuo. Essa funcionalidade elimina a necessidade de hardware ou software em cada um dos dispositivos rastreados.

Neste sentido, elegeu-se duas plataformas de notável importância no mercado atual e notável facilidade de acesso para qualquer interessado na área. As plataformas testadas foram o microcomputador Raspberry Pi e o microcontrolador ESP8266. Ambos foram escolhidos pelo domínio do segmento de Prototipagem e Faça Você Mesmo (*Do It Yourself - DIY*) dentro do campo de IoT. Outro líder de segmento, o Arduino foi prontamente descartado por não conter nativamente a habilidade de conectar-se à Internet sendo constantemente combinado com um dos escolhidos para ganhar esta habilidade, demonstrando claramente menor afinidade a este projeto em comparação aos seus igualmente famosos concorrentes.

Após escolhidas as plataformas de interesse, alguns exemplares de cada uma delas foram adquiridos para implementar a aplicação proposta. Neste sentido, serão apresentadas cada uma dessas plataformas quanto as suas especificações técnicas, os produtos utilizados em conjunto para que elas pudessem funcionar e serem programadas e os motivos pela adoção ou não delas.

## 4.1 ESP8266

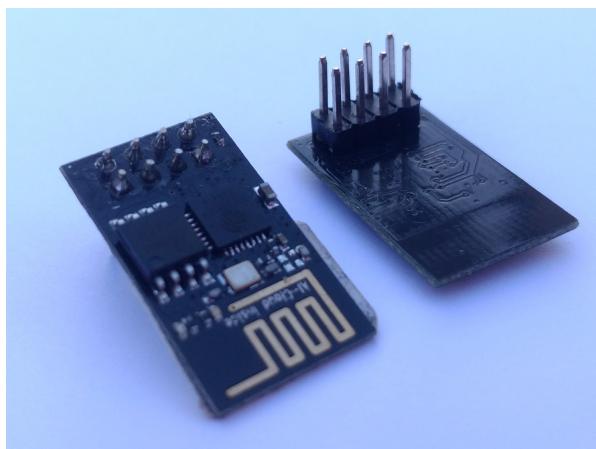
O ESP8266 é um SOC (*System On a Chip* - Sistema em um chip), ou seja, é um chip com todos os componentes lógicos eletrônicos necessários e partes para um dado sistema em único circuito integrado. Este chip possui:

- a) Wi-Fi embutido de 2,4 GHz (802.11 b/g/n);
- b) 16 GPIOs (*general-purpose input/output*) incluindo interfaces I2U, SPI, UART, entrada ADC, saída PWM;
- c) Arquitetura RISC de 32 bits;
- d) CPU que opera em 80 MHz, com possibilidade de operar em 160 MHz;
- e) 64 KB de ROM para *boot*;
- f) 64 KB de RAM para instruções;
- g) 96 KB de RAM para dados;
- h) Memória Flash SPI de 512 KB a 4 MB (dependente de módulo externo);
- i) Núcleo baseado no IP Diamond Standard LX3 da Tensilica.

Para o mercado de prototipagem, fabricantes constroem placas de diferentes configurações com este chip como elemento central, os chamados módulos. Estes módulos usam o ESP8266 com diferenças perceptíveis, por exemplo, quantidade de pinos, dimensões físicas, alguns podem até operar de modo *standalone* (sem outro hardware de suporte como reguladores de tensão e conversores serial-USB) e, especialmente, a Memória Flash SPI.

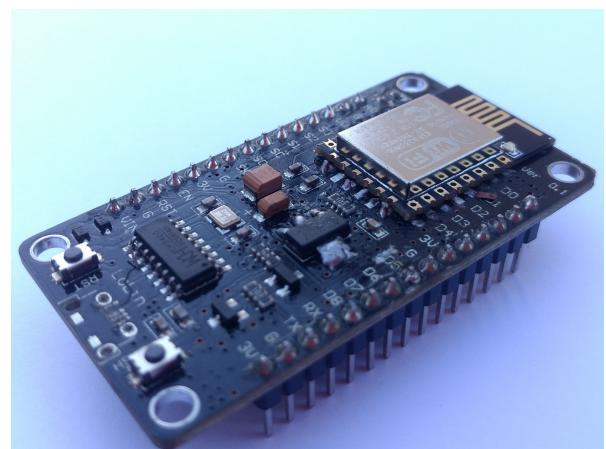
Neste trabalho, foram usados os módulos: ESP-01 (Figura 2), LoLin (Figura 3), D1 mini (Figura 5), e ESP-12e (Figura 4) com placa adaptadora de pinos (Figura 6).

Figura 2 – Módulo ESP-01



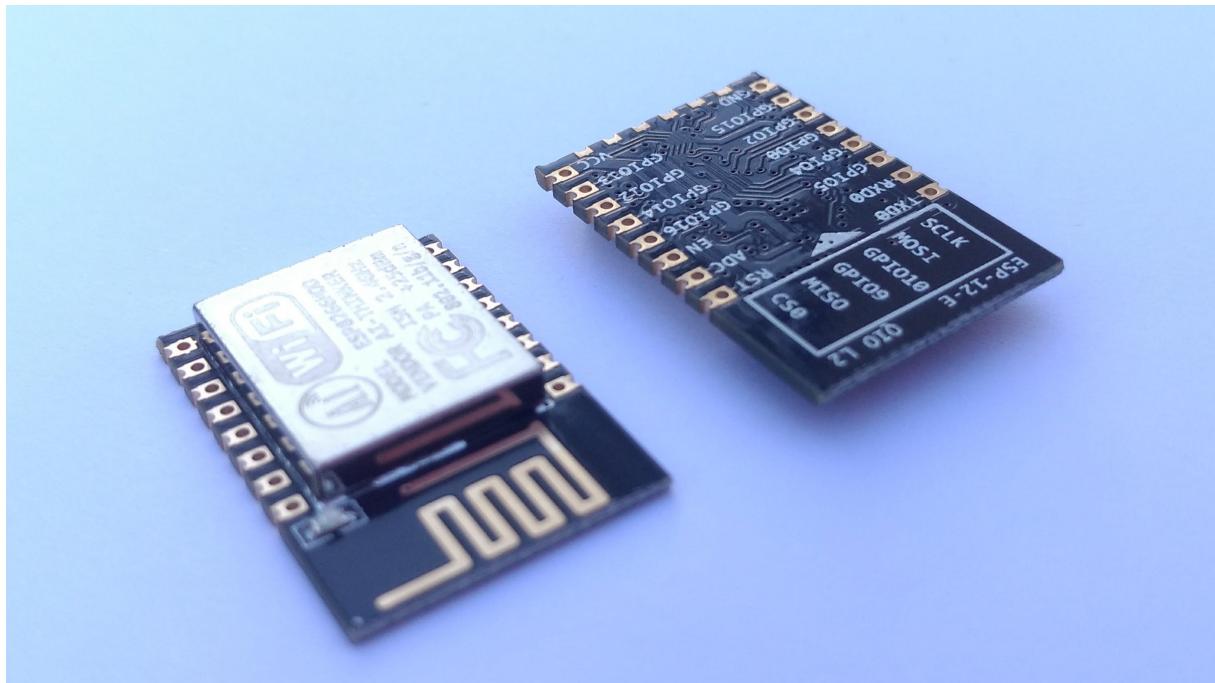
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 3 – Módulo LoLin com ESP-12e



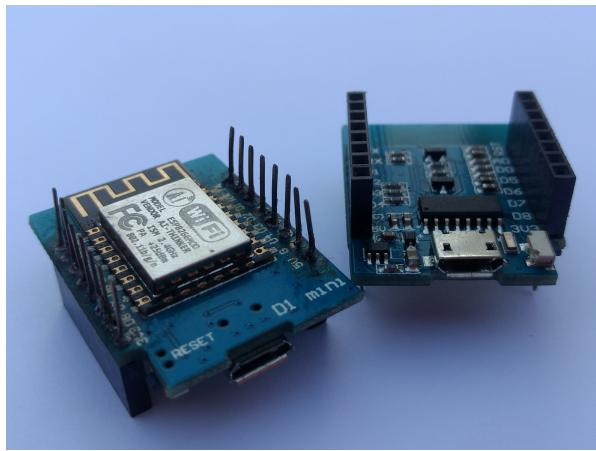
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 4 – Módulo ESP-12e



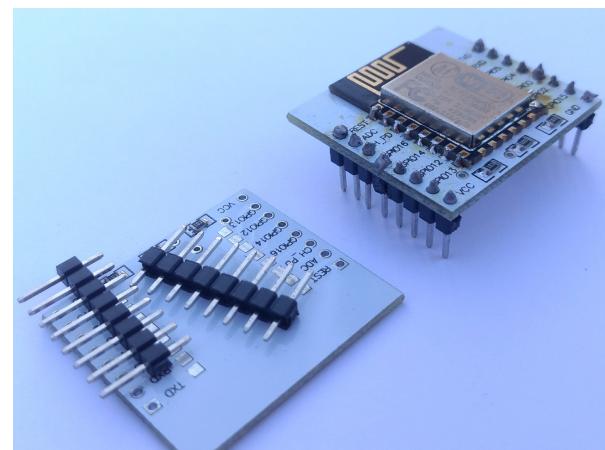
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 5 – Módulo d1 mini com ESP-12f



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 6 – Módulo ESP-12e com placa adaptadora



Fonte: Produzido pelo autor

#### 4.1.1 Disponibilidade no mercado

As diferentes especificações implicam em diferentes produtos e mercado para eles, isto resulta em diferentes custos em diferentes regiões. Para os módulos utilizados na exploração deste trabalho verifique a Tabela 1.

O ESP8266 foi escolhido como primeira tentativa devido ao seu baixo custo e ao tamanho reduzido. No exterior, ele pode ser encontrado de USD\$ 1,76 a 2,2 (alibaba.com, 2017), e no Brasil por aproximadamente BRL R\$ 15,00 (mercadolivre.com.br, 2017a).

Tabela 1 – Descrição e custos de módulos ESP8266

Módulo	Pinos de GPIO e conectores	Memória	Custo
ESP-01	8 pinos macho, incompatível com <i>breadboard</i> (GND, 3v3, TX, RX, CH_PD, RST, GPIO 0, GPIO 2)	1 MB	R\$ 16,80
ESP-12f	22 pontos para montagem em superfície, nenhum pino	4 MB	R\$ 14,90
D1 mini (ESP-12f)	16 + microUSB	4 MB	R\$ 12,56 <sup>1</sup>
LoLin (ESP-12f)	30 + microUSB	4 MB	R\$ 35,87

Fonte: Produzido pelo autor.

Nota 1: D1 mini (ESP-12f) foi adquirido do mercado chinês.

Devido ao seu tamanho, ele é de fácil integração com demais dispositivos, bastando o uso de uma comunicação serial. Já sobre a comunidade, há inúmeros projetos DIY que ensinam a como construir e manipular projetos que envolvem diferentes módulos. Além disso, a empresa idealizadora e fabricante do chip, Espressif, disponibiliza no GitHub projetos com documentação e código aberto.

Para desenvolver na plataforma, os módulos ESP8266 foram utilizados de formas diferentes dependendo das capacidades de cada um deles (os acessórios podem ser vistos na Tabela 2). Quando o módulo possuía regulador de tensão embarcado, utilizava-se o próprio conectado a uma porta USB. Quando o módulo não possuía tal, utilizava-se um circuito com fonte externa (pilhas ou USB) e um regulador de tensão conectados aos pinos 3v3 e GND.

Tabela 2 – Descrição e custos de acessórios para ESP8266

Acessórios	Descrição	Custo
Esp8266 Placa Para Soldar Esp-07, Esp-08, Esp-12, Esp-12e	Placa com 16 pinos conectados aos pontos de superfície do ESP-12f	R\$ 3,45
Conversor Usb Serial Ch340 Rs232 - 3,3V 5v <sup>1</sup>	Fornece uma conexão serial-USB entre o ESP8266 e o computador de desenvolvimento	R\$ 6,87
Adaptador Usb Serial Ttl Conversor Cp2102 <sup>2</sup>	Fornece uma conexão serial-USB entre o ESP8266 e o computador de desenvolvimento	R\$ 20,00
Ams1117 3,3v (3.3v) - Lm1117	Regula a tensão de uma USB ou pilhas para 3.3V 1A usado nos módulos	R\$ 1,50
Fonte Usb 5v 2a Celular Gps Android Ipod	Fonte de alimentação com padrão USB de 5V utilizada com D1 mini	R\$ 9,90

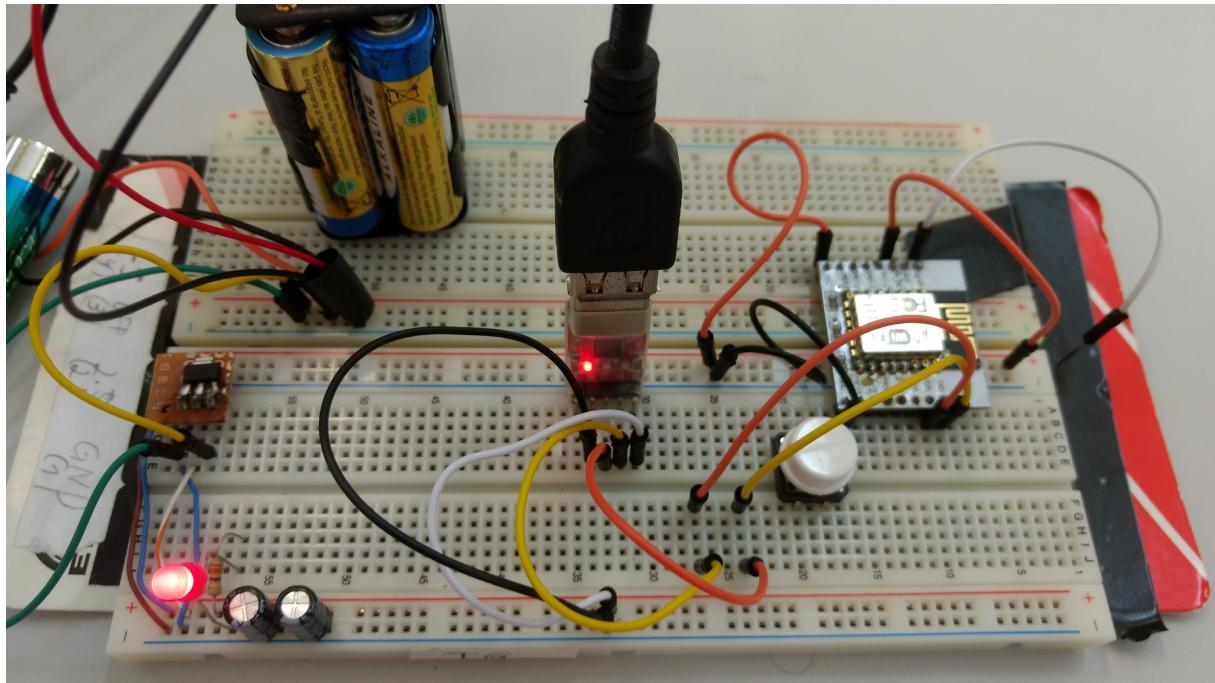
Nota 1: Compatível apenas com Windows 7 em setembro 2016.

Nota 2: Compatível com Windows 10 e com o computador de desenvolvimento.

Fonte: Produzido pelo autor.

Dependendo da complexidade do circuito para ligar e ter acesso à serial do módulo, foi necessário o uso de uma placa *breadboard*, como na Figura 7. Para este trabalho foi utilizado o regular AMS1117 3v3 e dois capacitores de  $100\mu F$ .

Figura 7 – ESP-12f com regulador tensão e serial

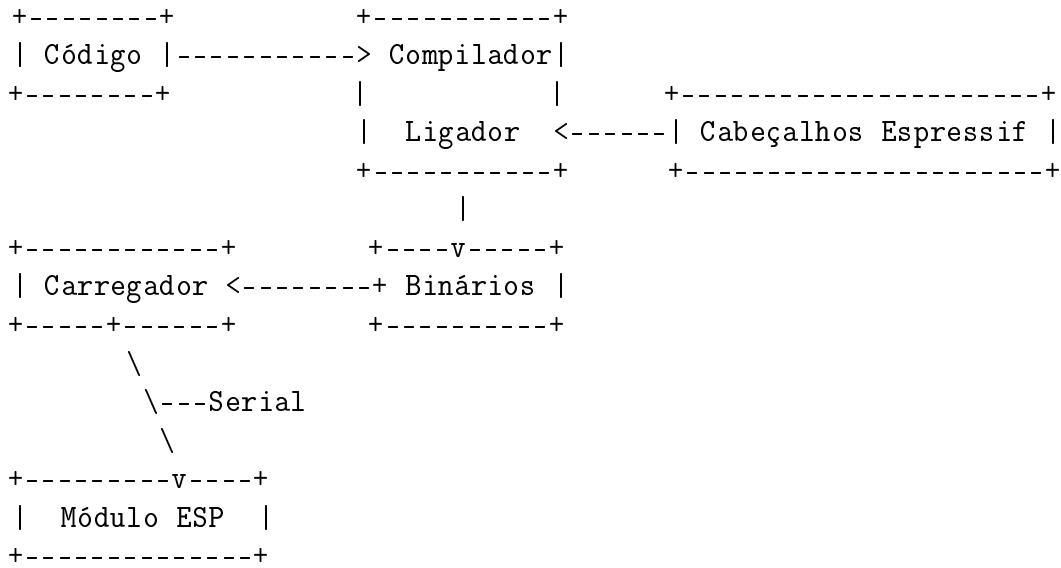


Fonte: Elaborada pelo autor

#### 4.1.2 Desenvolvimento e Implantação

Todo código produzido em uma linguagem de programação é compilado por uma ferramenta e, então, carrega-se os arquivos binários para o ESP8266 através da serial, para que a execução do código seja iniciada. Na Figura 8 é apresentado um modelo de desenvolvimento e implantação desde o código até chegar no módulo ESP8266 e, na Tabela 3, são apresentadas as ferramentas utilizadas como compiladores e carregadores.

Figura 8 – Sequência de ferramentas para implantação



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 – Ferramentas para desenvolvimento com ESP8266

Ferramenta	Editor	Compilador e Ligador	Carregador
Arduino IDE	Sim	arduino C	Sim, mas não carrega binários pré compilados
ESPlorer	Sim	NodeMCU Lua, MicroPython, AT e RN2483	Não, conta com firmware específico
esptool.py	Não	Não	Somente binários pré compilados
ESP8266 Flash Downloader	Não	Não	Somente binários pré compilados
NodeMCU Firmware Programmer	Não	Não	Somente binários pré compilados

Fonte: Produzido pelo autor.

Todo código produzido é carregado para o módulo ESP8266 através de seu barramento serial. Alguns modelos, como o LoLin e D1 mini, já apresentam conversor serial para micro-USB. Para os que não possuem tal interface é necessário utilizar um conversor serial-USB externo, a Figura 7 demonstra esse método. As GPIOs do ESP-12f são acessadas somente através de placas de circuito impresso, então uma foi adquirida para a programação do mesmo.

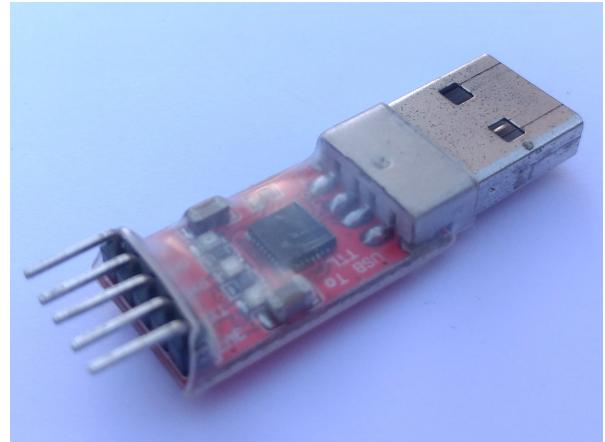
Dos conversores serial-USB adquiridos, o modelo CH340G (Figura 9) não funcionou por não ter driver compatível com o Windows 10, em contraste com o modelo CP2102 (Figura 10) que funcionou no mesmo sistema operacional.

Figura 9 – Adaptador Serial-USB ch340g



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 10 – Adaptador Serial-USB Cp2102



Fonte: Produzido pelo autor

#### 4.1.3 Testes e resultados - ESP8266

O primeiro objetivo durante a programação dos módulos ESP8266 foi cumprir a premissa estabelecida no início deste capítulo de acessar o Modo Promíscuo da interface Wi-Fi. Neste caso, procurou-se pelo ponto da API de hardware do ESP8266 onde os pacotes destinados a outros dispositivos são descartados, desativar este filtro, capturar e avaliar o pacote para localizar o seu emissor.

A princípio, com o firmware AT, que é o padrão do módulo ESP-01, e com o emulador de serial da Arduino IDE ou a aplicação Cool Term, é possível configurar e utilizar o módulo por completo apenas com instruções AT enviadas através da conexão serial. A primeira investigação sobre a API do protocolo AT indicou Room-15 (2015) como uma fonte sucinta da documentação oficial fornecida por Espressif Systems (2014) do firmware AT e não revelou nenhuma capacidade de ativar o Modo Promíscuo.

Também utilizou-se a linguagem C que foi compilada na Arduino IDE com a extensão *esp8266 by ESP8266 Community* e enviada ao ESP8266, como pode ser visto na Figura 11. Essa extensão inclui os cabeçalhos de funções para que o compilador padrão da Arduino IDE gere código executável pelo ESP8266. Mesmo nesta API, nenhuma capacidade de ativar o Modo Promíscuo foi encontrada.

Uma nova tentativa para a programação dos módulos escolhidos foi feita através de *toolchains* (conjunto de ferramentas para desenvolvimento de software) da empresa Espressif e de um usuário do Github, muito utilizado para projetos de ESP8266, Sokolovsky (2017). Ambas as *toolchains* são SDKs de código aberto. Os *scripts* foram feitos na linguagem C, compilados nessas SDKs e transferidos para os módulos ESP8266. Neste caso, a configuração delas mostrou-se um desafio, pois requisitavam uma versão específica do *Ubuntu Linux* que o computador pessoal utilizado para o desenvolvimento não suporta. Também foi testada a utilização de máquinas virtuais mas, novamente, a máquina do desenvolvedor

Figura 11 – Código em C compilado e implantado em um ESP8266

```

CheckFlashConfig running
Flash real id: 001440E0
Flash real size: 1048576

Flash ide size: 1048576
Flash ide speed: 4000000
Flash ide mode: DIO
Flash Chip configuration ok.

CheckFlashConfig running
Flash real id: 001440E0
Flash real size: 1048576

Flash ide size: 1048576
Flash ide speed: 4000000
Flash ide mode: DIO
Flash Chip configuration ok.

CheckFlashConfig running
Flash real id: 001440E0
Flash real size: 1048576

Flash ide size: 1048576
Flash ide speed: 4000000
Flash ide mode: DIO
Flash Chip configuration ok.

Done uploading
Build options changed, rebuilding all
C:\Users\luizg\AppData\Local\Arduino15\packages\esp8266\hardware\esp8266\2.3.0\cores\esp8266\Schedule.cpp:17:13: warning: 'void init_lists()' defined but not used [-Wunused-function]
    static void init_lists()
    ^
Sketch uses 225,905 bytes (4%) of program storage space. Maximum is 499,696 bytes.
Global variables use 32,500 bytes (3%) of dynamic memory, leaving 49,420 bytes for local variables. Maximum is 81,920 bytes.
Uploading 230946 bytes from C:\Users\luizg\AppData\Local\Temp\build8a8d1e059820d47038110d24b8d768.tmp\CheckFlashConfig.ino.bin to flash at 0x00000000
.....[ 35% ].....[ 71% ].....[ 100% ]

```

Esquerda: Comandos AT no emulador de serial da *Arduino IDE*.

Direita: Editor da *Arduino IDE* com código C.

Abaixo em preto: Processo de *upload* do firmware escrito em C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

não possui virtualização, impossibilitando esta opção.

Em conclusão, apesar do baixo custo e da documentação da comunidade aberta, o ESP8266 não foi adotado como sensor, pois não foi possível colocá-lo em modo promíscuo, essencial para detectar pacotes entre dispositivo e os pontos de acesso, inviabilizando completamente o uso desta plataforma mesmo sendo a mais adequada e promissora no ponto de vista da construção de um produto final por seu extremo baixo custo.

## 4.2 Raspberry Pi

Após constatado que o ESP8266 não oferece modo promíscuo, como visto na subseção 4.1.3, foi testado e desenvolvido software para transformar o Raspberry Pi em uma plataforma para hospedar o sensor. Sua principal diferença é o sistema operacional linux (inexistente no ESP8266) que favorece esta plataforma, porém seu alto custo a desfavorece. Em média, no exterior, o RPI3 é vendido por USD \$ 35,00 (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2016) e, no Brasil, entre R\$ 270 em Março de 2016 e R\$ 190 em Janeiro de 2017 (mercadolivre.com.br, 2017b).

As vantagens de ter um computador moderno completo sobreponem seu custo em muitas vezes, dentre as quais destaca-se o poder computacional e a interface "amigável" com usuário devido ao sistema operacional oferecendo maior nível de abstração (bastando apenas alguns comandos para acessá-los e realizar tarefas complexas). Além deste recurso a nível de sistema, a comunidade e o número de projetos DIY é muito maior que a do ESP8266, devido a sua simplicidade em conectar-se a um monitor e construir protótipos e aplicações.

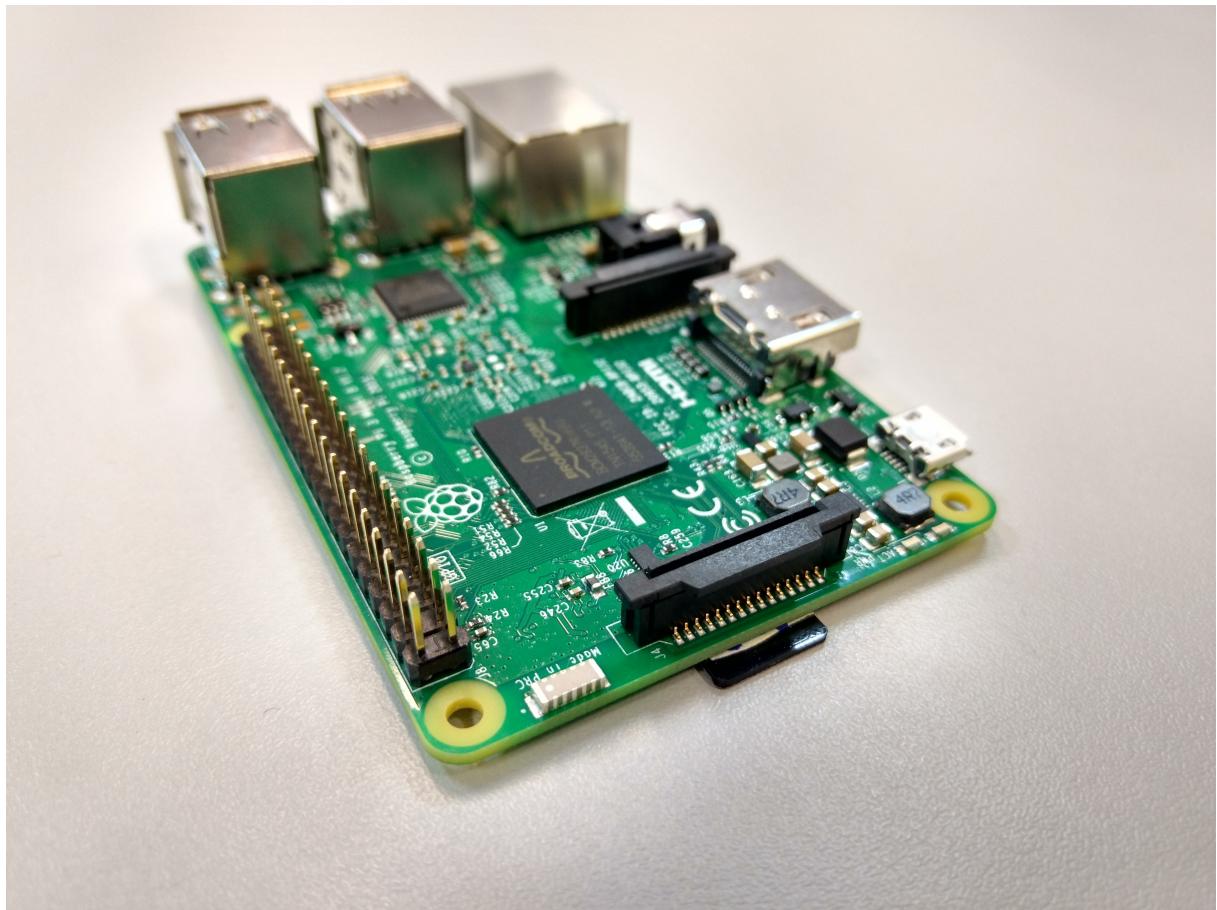
O RPI3 é um computador *single-board* (única placa) que tem o tamanho próximo ao de um cartão de crédito. Como visto na Figura 12, foi desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation para promover o ensino da computação nas escolas. Este computador possui:

- a) 1 GB RAM;
- b) Processador Gráfico VideoCore IV 3D;
- c) ARM CPU de 1.2 GHz quad-core 64-bit;
- d) 4 portas USB;
- e) 40 pinos GPIOs;
- f) Porta HDMI;
- g) Porta Megabit Ethernet;
- h) Saída de áudio e vídeo 3.5 mm;
- i) Interface para câmera (CSI) e monitor (DSI);
- j) Leitor para cartão micro SD;
- k) *Wi-Fi LAN* embutida 802.11n;
- l) *Bluetooth 4.1* e *Bluetooth Low Energy (BLE)*.

### 4.2.1 Disponibilidade no mercado

Para abordar a disponibilidade no mercado deve-se também contar os periféricos que são necessários para desenvolver na plataforma RPI3 da mesma maneira que foi feito com o ESP8266.

Figura 12 – Raspberry Pi 3



Fonte: Elaborada pelo autor

O RPI3 é ligado por uma fonte de 2A, 5V e 10W através de uma entrada micro USB. Para ligá-lo, foi adquirido uma fonte USB tipo A para iPad, pois além de poder desconectar o cabo da fonte, facilitando a manutenção, fornece a quantidade exata de corrente que o computador precisa. A primeira aquisição foi de um carregador de *smartphone* que não forneceu os amperes necessários.

Em comparação com a plataforma anterior, esta tem uma exigência energética maior, muito disto é devido a Wi-Fi integrado que é um destaque. A antena de cerâmica do adaptador integrado pode ser vista no primeiro plano da Figura 12. Contudo, o adaptador não possui modo promíscuo e fez-se necessário o uso de adaptadores Wi-Fi USB. As recomendações da comunidade quanto a escolha do adaptador USB (também conhecido como *dongle Wi-Fi*) são o Edimax EW-7811Un que não é tão comum no Brasil e o EDUP EP-N85xx que tem muitos genéricos no mercado nacional.

Como camada de software, o RPI3 comporta diversos sistemas operacionais que são carregados de seu cartão microSD. Alguns exemplos de sistemas compatíveis são

Archlinux, OpenELECE, Raspbian, Risc OS, Pidora, Kali Linux, Windows 10 IoT, entre outros. Para este trabalho, foi utilizado o Raspbian Jessie.

Portanto, para funcionamento e desenvolvimento de aplicações com RPI3 são necessários componentes extra que são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição e custos com Raspberry Pi 3

Produto	Descrição e utilização	Custo
Novo Raspberry Pi 3 (pi3) Quadcore 1.2ghz (10x+rapido) 1gb	Computador hospedeiro do sensor	R\$ 269,99
Fonte Carregador Original Usb Apple Iphone 3 4 4s Ipad 1 2	Fonte com conector USB tipo A que supriu o consumo elétrico do RPI3	R\$ 13,99
Cabo USB com conectores <i>A</i> e <i>Micro-B</i>	Para conectar a fonte ao RPI3	R\$ 2,00 <sup>1</sup>
Cartão Micro Sdhc 16gb Ultra Sd Sandisk Classe 10 30mb/s	Armazena o SO e outros arquivos, a classe indica a velocidade do cartão que implica na velocidade do SO	R\$ 21,99
Mini Adaptador Wireless Wifi Edup Usb 150mbps Raspberry Pi	Adaptador externo Wi-Fi que permite modo promíscuo	R\$ 16,88

Fonte: Produzido pelo autor.

Nota 1: Os cabos USB foram reutilizados de outras aplicações.

#### 4.2.2 Desenvolvimento e implantação

Para desenvolver com o RPI3 é necessário instalar um sistema operacional em seu cartão SD, esse processo é simplificado com o uso do *bootloader noobs* que pode ser encontrado no site oficial do Raspberry para download <sup>1</sup>. Após feito o download, os arquivos são extraídos do arquivo comprimido e colocados na pasta raiz do cartão SD. Os próximos passos são conectar o cartão SD, a fonte, monitor, teclado e mouse no RPI3 e ligar a fonte na tomada para que imediatamente o computador ligue. Na tela inicial deve-se escolher uma rede com ou sem fio. Após conectado, é possível escolher o sistema operacional que será baixado e instalado no próprio cartão SD.

O sistema operacional escolhido para a construção da plataforma de sensor foi o Raspbian Jessie que é a distribuição Linux recomendada para o RPI. Nela, já estão instaladas e configuradas muitas ferramentas utilizadas para o desenvolvimento e a implementação de projetos, como git, SSH e Node.js que foram utilizados para a construção da aplicação como será discutido no próximo capítulo.

Para tornar o sistema completamente funcional para o desenvolvimento, é necessário somente executar os passos de segurança e dar acesso remoto ao sistema. Na interface

<sup>1</sup> <<https://www.raspberrypi.org/downloads/noobs/>>

gráfica de configuração do Raspbian, deve ser alterado a senha do usuário “pi” e ativado o serviço SSH que permite acesso remoto através de um terminal. Os últimos três passos são a atualização da lista de pacotes, a atualização dos pacotes instalados e uma reinicialização do sistema para garantir o bom funcionamento e segurança do mesmo.

Feito isto, qualquer desenvolvimento e implantação pode ser realizado com riscos e falhas minimizados. Este processo é fundamental para a segurança da aplicação, usuários e construtores, pois, como foi revelado após os ataques de 21 de Outubro de 2016, dispositivos IoT atualmente não oferecem estes níveis mínimos de segurança (software atualizado e senhas seguras), tornando-se um terreno fértil para a construção de *botnets* como foi o caso do *malware Mirai* utilizado para infectar milhões de dispositivos e causar o maior ataque *DDoS* até o momento com 1,2 terabits por segundo (WOOLF, 2016) (PERLROTH, 2016).

#### 4.2.3 Testes e resultados - Raspberry Pi

De maneira análoga à feita com o ESP8266, analisou-se a capacidade do Raspberry Pi de operar com sua Wi-Fi em modo promíscuo, porém, devido a diferença de camada de software envolvida, diferentes ferramentas foram utilizadas.

Neste caso, utilizou-se as ferramentas *airodump-ng*<sup>2</sup> e TShark além das ferramentas de Wi-Fi padrões do sistema operacional Raspbian. Para verificar o modo promíscuo no ambiente Raspbian, utiliza-se os comandos “ifconfig”, “iwconfig” e “iw”, que são padrão do sistema operacional Debian, como demonstrado a seguir.

Código-fonte 4.1 – Ativação do modo monitor

```
1 pi@sensor-01:~ $ sudo ifconfig wlan0 down
2 pi@sensor-01:~ $ sudo iwconfig wlan0 mode monitor
3 pi@sensor-01:~ $ sudo ifconfig wlan0 up
```

O resultado pode ser observado com o comando a seguir.

Código-fonte 4.2 – “iwconfig” com modo monitor

```
1 pi@sensor-01:~ $ sudo iwconfig wlan0
2 wlan0 IEEE 802.11bgn Mode:Monitor Frequency:2.412 GHz Tx-Power=20 dBm
3      Retry short limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
4      Power Management: off
```

Quando este processo foi realizado utilizando somente o adaptador de Wi-Fi integrado no RPI3, cuja antena de cerâmica está em destaque na Figura 13, o resultado foi negativo, portanto outros adaptadores foram necessários.

No ambiente do laboratório (LTIA), encontrou-se adaptadores Wi-Fi USB D-link (Figura 14), porém executando o mesmo teste neles não foi possível ativar o modo promíscuo. Um terceiro adaptador emprestado foi o modelo Ralink Edup A (Figura 15) que

<sup>2</sup> <<https://www.aircrack-ng.org/doku.php?id=pt-br:airodump-ng>>

teve resultado positivo. Para a construção dos dois sensores foi necessária a aquisição e subsequente teste de mais um modelo de adaptador, Ralink Edup B (Figura 16), que está listado na Tabela 4, porém a sua aparência externa difere do anterior, mesmo que a aquisição foi do mesmo anúncio.

Figura 13 – Antena cerâmica de Wi-Fi e Bluetooth do Raspberry Pi 3



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 14 – Adaptador Wi-Fi USB D-Link do laboratório



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 15 – Adaptador Wi-Fi USB Ralink Edup A



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 16 – Adaptador Wi-Fi USB Ralink Edup B



Fonte: Produzido pelo autor

Para capturar e avaliar pacotes uma ferramenta é necessária. Na área de segurança da informação pode-se encontrar o airodump-ng que é utilizado para avaliar e explorar vulnerabilidades de segurança em redes Wi-Fi. Outra área que forneceu uma ferramenta adequada foi a área de qualidade de serviço em redes de computadores (QoS) onde o software Wireshark é bem popular, uma interface alternativa do mesmo feita para uso em terminal é chamada TShark.

Para testar a viabilidade do sensor, utilizou-se o *airodump-ng* que é uma ferramenta de terminal interativa, como vista na Figura 17, onde é demonstrado a capacidade de capturar pacotes do tipo *Beacon* (tabela com “BSSID”, “PWR” e “Beacons” no destaque A da Figura 17) que anunciam a presença de AP e o nome da rede que ele está servindo. Além disso, é possível observar também os pacotes entre os dispositivos “Stations” associados a um AP (tabela com “BSSID”, “STATION” e “PWR” no destaque B da Figura 17). Em ambos

os casos, é mostrado um valor de RSS (“PWR”) associado a cada transmissor, portanto, demonstrando a viabilidade do sensor com a informação de potência de sinal.

Figura 17 – Interface do airodump-ng

```

pi@ltia-pi-01: ~
CH 13 ][ Elapsed: 12 s ][ 2017-01-22 04:04
          BSSID      PWR  Beacons   #Data, #/s   CH   MB    ENC   CIPHER AUTH ESSID
          58:66:BA:9A:94:03 -32       8        0 0 1 54e. WPA2 CCMP   MGT   eduroam
          58:66:BA:9A:94:02 -32       8        0 1 54e. WPA2 CCMP   MGT   wfu
          58:66:BA:9A:94:01 -32       8        0 0 1 54e. WPA  TKIP   PSK   wfuVisitante
          06:27:22:B3:E5:FB -42      16       51 0 1 54e. WPA2 CCMP   PSK   LTIA PSK
          32:CD:A7:CB:85:93 -48       11        0 0 1 54e. WPA2 CCMP   PSK   DIRECT-KJM2070 series
          06:27:22:B3:E5:FE -67      13       0 0 1 54e. WPA2 CCMP   PSK   LTIA PSK
          58:66:BA:9A:89:21 -67       6        0 0 11 54e. WPA  TKIP   PSK   wfuVisitante
          58:66:BA:9A:89:23 -68       5        0 0 11 54e. WPA2 CCMP   MGT   eduroam
          58:66:BA:9A:89:22 -68       6        0 0 11 54e. WPA2 CCMP   MGT   wfu
          5E:CF:7F:D3:54:C2 -73       9        0 0 1 48  OPEN
          32:CD:A7:C9:F8:72 -76       9        0 0 11 54e. WPA2 CCMP   PSK   DIRECT-avm2070 series
          58:66:BA:9A:8F:C3 -78       5        0 0 6 54e. WPA2 CCMP   MGT   eduroam
          58:66:BA:9A:8F:C1 -79       5        0 0 6 54e. WPA  TKIP   PSK   wfuVisitante
          00:1B:11:4A:7C:93 -82       8        0 0 6 54. WPA2 CCMP   PSK   nanolab
          BSSID      STATION      PWR  Rate   Lost   Frames   Probe
          (not associated) 58:66:BA:9A:94:00 -34     0 -11      0       1
          06:27:22:B3:E5:FB B8:27:EB:9F:6A:80 -14     0 -11e     0      11

```

Destaque A: Pacotes do tipo Beacon e suas redes.

Destaque B: Pacotes entre estações e APs.

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a avaliação de viabilidade, fez-se necessário o uso de uma aplicação mais flexível do que o airodump-ng onde fosse possível escolher campos e gerar relatórios mais flexíveis. Para essa tarefa o software TShark mostrou-se ideal.

Nele, pode-se escolher, através de argumentos na execução por terminal, a interface com a opção “-i wlan0”, o modo monitor com opção “-l”, a opção “-T fields” que altera o funcionamento normal dele para que com as opções “-e field.field\_child” seja permitido escolher os campos mostrados e juntamente com as opções “-E separator=, -E quote=d” o formato do relatório gerado torna-se CSV (*comma separated values* - valores separados por vírgula).

Desta maneira, todos os pacotes capturados são processados pelo TShark e escritos na saída padrão do terminal (*stdout*), dando a possibilidade de usar a ferramenta de criação de arquivo, acrescentar em arquivo e redirecionar para outro processo do terminal Linux (respectivamente ‘>’, ‘>>’ e ‘|’). Esta capacidade, ausente no airodump-ng, é essencial para este trabalho.

Para este trabalho, o comando mais utilizado e visto no Código-fonte 4.3 e mostra os endereços MAC de origem e transmissão (“wlan.sa”, “wlan.ta”), os mesmos endereços, porém com nome de fabricante como prefixo (“wlan.sa\_resolved”, “wlan.ta\_resolved”), a potência de sinal (“radiotap.dbm\_antsignal”) e o nome da rede anunciada se o pacote for um *Beacon*, da mesma maneira que o airodump-ng mostra.

#### Código-fonte 4.3 – TShark e opções

```
1 pi@sensor-01:~ $ tshark -l -i wlan0 -T fields -E header=y -E quote=d \
2 -e wlan.sa -e wlan.sa_resolved -e wlan.ta -e wlan.ta_resolved \
3 -e radiotap.dbm_antsignal -e wlan_mgt.ssid
```

Por último, a configuração padrão do TShark não recomenda a execução em modo supervisor (“root”) por motivo de segurança. Para executá-lo, o usuário precisa ser do grupo “wireshark”. Para adicionar o usuário “pi” ao grupo “wireshark”, utiliza-se o comando do Código-fonte 4.4.

#### Código-fonte 4.4 – Adição do usuário pi ao grupo wireshark

```
1 pi@sensor-01:~ $ sudo usermod -a -G wireshark pi
```

Este modo de operação permite executar a aplicação final sem necessidade de elevação de privilégios (*root*), tornando-a mais segura, pois mesmo que aplicação seja subvertida o sistema operacional não poderá ser comprometido.

## 4.3 Escolha e conclusão

Em comparação com o ESP8266, o RPI3 compensou seu custo elevado devido a facilidade de programação, acesso aos seus recursos e acesso a recursos externos uma vez que foi possível chegar ao modo promíscuo facilmente através de recursos nativos do sistema operacional. Para uma comparação das plataformas veja a Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação das plataformas ESP8266 e RPI3

Aspecto	Raspberry Pi 3 model B	ESP-12f
GPIO	27 GPIOs (0 a 26) digitais	17 GPIOs digitais e analógicos
Número de pinos	40 pinos	22 pinos
Processamento	<i>ARMv8 64-bit quad-core 1.2 GHz</i> e <i>VideoCore IV 3D GPU</i>	<i>Tensilica L106 32-bit (MCU)</i> com 80 ou 160 MHz e instruções <i>16-bit RSIC</i>
Memória RAM	1 GB	RAM < 50 kB
Memória longo termo	cartão SD (usualmente 8 ou 16 GB)	<i>SPI flash</i> de 4 MB
Tamanho físico	85x56mm	24x13mm
Rede embutida	Megabit Ethernet, 802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Expansão	USB, DSI, CSI e GPIO	Somente GPIO
Sistema operacional	Qualquer linux/windowns/risc compilado em ARMv8	Não possui
Custo	de R\$ 190,00 a R\$ 270,00	de R\$ 12,56 a R\$ 35,87

Fonte: Produzido pelo autor.

O RPI3 foi adotado como plataforma para o sensor de detecção de dispositivos, pois o modo promíscuo (*monitor mode*) conseguiu ser acessado através de adaptador USB Wi-Fi. Apesar do esforço para ativação do modo promíscuo na plataforma ESP8266, o uso desta reduziria significativamente o custo de cada sensor. Para comparação do custo da aplicação aqui proposta, veja a Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação de custos para o sensor da aplicação proposta em função da plataforma

Sensor				
Plataforma	Raspberry Pi		ESP8266	
Item	Descrição	Custo em R\$	Descrição	Custo em R\$
Plataforma	RPI3	269,99	D1 mini (ESP-12f)	12,56
Fonte de alimentação	Fonte Usb iPad	13,99	Fonte Usb Celular com cabo	7,85
	Cabo Usb A-micro	2,00		
Adaptador Wi-Fi	Edup Usb	16,88		
Memória	SD c10 16GB	21,99		
Total por Sensor		324,85		20,41

Fonte: Produzido pelo autor.

É importante notar a proporção de custo entre as duas plataformas onde o RPI3 custa aproximadamente 15 vezes mais por sensor do que a plataforma ESP8266. Isto justifica o esforço realizado durante o desenvolvimento deste trabalho para explorar e, com esperança, ativar o modo promíscuo no pequeno dispositivo que infelizmente não rendeu frutos.

Para a construção do Gateway IoT, as exigências de hardware são capacidades mínimas de processamento, armazenamento e comunicação, e a exigência de software é um sistema operacional que suporte um MQTT Broker. Portanto, para o *gateway*, a plataforma ESP8266 claramente não é adequada, então um RPI3 representa o custo mínimo. O custo do *gateway* é discriminado na Tabela 7.

Tabela 7 – Custos para o *gateway* da aplicação proposta

Gateway		
Item	Descrição	Custo em R\$
Plataforma	RPI3	269,99
	Fonte Usb iPad	13,99
	Cabo Usb A-micro	2,00
Memória	SD c10 16GB	21,99
Total por Gateway		307,97

Fonte: Produzido pelo autor.

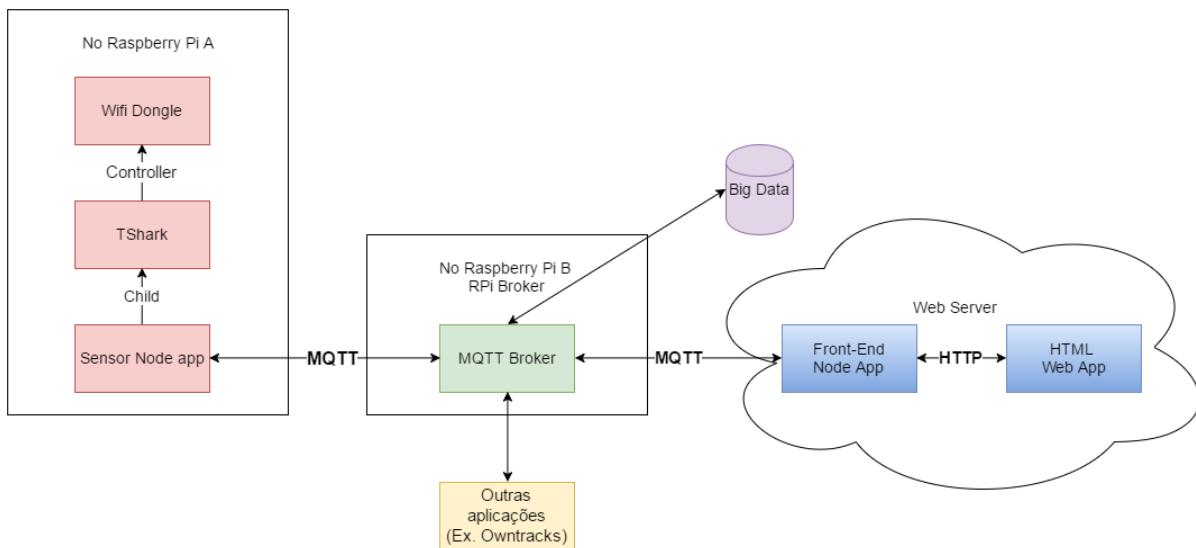
# 5 APLICAÇÃO DEMONSTRATIVA

Para a construção do software aplicativo, foi utilizado uma arquitetura em três camadas: sensor, distribuidor de acesso (*IoT gateway*) e apresentação (Web). Nesta divisão, os sensores capturam as informações dos dispositivos e repassam para a camada seguinte, no *gateway* todas as partes se encontram para fornecer e solicitar informações e, por último, a camada de apresentação coleta o que é enviado dos sensores e gera uma página Web para visualização dos dados capturados.

Esta divisão está de acordo com o padrão encontrado em outras aplicações IoT onde a última camada usualmente varia entre apresentação e mineração de dados (*Data Mining*). A arquitetura geral da aplicação demonstrativa e algumas sugestões de integração são apresentadas na Figura 18.

A camada de sensor utilizou as tecnologias Node.js, TShark parte do Wireshark e MQTT.js. A camada *gateway* foi composta basicamente pelo *MQTT Broker* Mosquitto. Por fim a camada de apresentação utilizou as tecnologias Node.js, MQTT.js, HTML, CSS, Javascript, Bootstrap e Google Maps API.

Figura 18 – Arquitetura geral da aplicação demonstrativa



Fonte: Elaborada pelo autor

## 5.1 Aplicação Sensor

A aplicação sensor tem como requisitos funcionais capturar, avaliar e classificar pacotes de Wi-Fi, inferir estatísticas de dispositivos e fornecer estas informações para os interessados através do *gateway*.

Para fazer a captura dos pacotes na aplicação final, diferente do que foi demonstrado na subseção 4.2.3, em especial o airodump-ng e sua interface demonstrada na Figura 17, foi utilizado o programa TShark cujo modo de operação serve melhor para a construção dos *streams* que serão abordados em breve.

TShark é uma versão orientada ao terminal do Wireshark projetada para capturar e exibir pacotes quando uma interface de usuário interativa não é necessária ou disponível. Ele suporta as mesmas opções como wireshark.

Wireshark.org (2014) Tradução Nossa.

Como foi estabelecido no capítulo anterior, TShark utiliza a saída padrão do terminal (*stdout*) como sua saída principal, esta característica foi explorada com a aplicação Node.js. Mais especificamente, com o módulo “child\_process”, que provê uma API que permite a criação e controle de processos filhos do processo Node.js.

Node.js é uma estrutura em tempo de execução construída sobre o motor de execução JavaScript V8 do Chrome. Node.js utiliza um modelo orientado a evento, de entrada e saída não bloqueante que o faz leve e eficiente. O ecossistema de pacotes do Node.js, npm, é o maior ecossistema de bibliotecas de código livre no mundo.

Nodejs.org (2016b) Tradução Nossa.

Como também foi estabelecido anteriormente, o TShark é executado com o comando e argumentos como mostrado no Código-fonte 5.1, a diferença em relação aos testes e na escolha da plataforma é a forma de execução, na maneira mostrada, o processo é criado utilizando o módulo “child\_process” (NODEJS.ORG, 2016a) e os argumentos são passados como um vetor (*Array*).

Código-fonte 5.1 – TShark e opções executado pelo Node.js

```
1 const spawn = require('child_process').spawn;
2 const tsharkProcessoFilho = spawn(
3   'tshark', [
4     '-l',
5     '-i', childInterface,
6     '-T', 'fields',
7     '-E', 'separator=,',
8     '-E', 'quote=d',
9     '-e', 'wlan.sa',
10    '-e', 'wlan.sa_resolved',
```

```

11     '-e', 'wlan.ta',
12     '-e', 'wlan.ta_resolved',
13     '-e', 'radiotap.dbm_antsignal',
14     '-e', 'wlan_mgt.ssid',
15     '-Y', 'wlan.sa'
16 ]);

```

Para utilizar o resultado gerado pelo TShark, utilizou-se outro método do módulo “`child_process`” juntamente com a estrutura de *Stream* (NODEJS.ORG, 2016c) que provê o método `pipe(destination[, options])` que permite, de maneira análoga ao operador “|” no terminal também chamado de *pipe*, redirecionar a saída de um processo ou *stream* de leitura para outro processo ou *stream* de escrita.

Com isso, ainda falta um *stream* de escrita que receba a saída do TShark que foi definida no formato CSV. Para isso, uma biblioteca extra, “`fast-csv`”, deve ser instalada. Com ela, pode-se criar o *stream* necessário e configurá-lo para interpretar os resultados (C2FO.COM, 2016) como é mostrado no Código-fonte 5.2.

Na linha 18 do Código-fonte 5.2, pode-se observar a operação de redirecionamento (*pipe*) de *stream* da saída padrão do processo filho (*stdout*) para o *stream* de escrita descrito e configurado com o “`fast-csv`”.

#### Código-fonte 5.2 – Uso do fast-csv

```

1 const csv = require("fast-csv");
2 let csvStream = csv()
3   .on("data", function(data){
4     let packet = new Packet(
5       data[0], // sender address
6       data[1], // sender address resolved
7       data[2], // transmitter address
8       data[3], // transmitter address resolved
9       data[4], // potencia de sinal (rss)
10      data[5] // nome da rede no pacote Beacon
11    );
12    processarPacote(packet);
13  })
14  .on("end", function(){
15    console.log("done with tshark");
16  });
17 tsharkProcessoFilho.stdout.setEncoding('utf8');
18 tsharkProcessoFilho.stdout.pipe(csvStream);

```

Para as inferências e estatísticas, foi criado um objeto para armazenamento indexado pelo endereço MAC e a classe mostrada no Código-fonte 5.3 onde as informações sobre cada dispositivo são agregadas. Desta forma, cada novo pacote pode ser acrescentado ao histórico de cada dispositivo.

### Código-fonte 5.3 – Adição do pacote ao histórico do dispositivo

```

1 let devices = {}; // lista indexada de dispositivos
2 class Device {
3   [...]
4   appendPacket(packet){
5     let curTime = ( new Date() ).toISOString();
6     this.rssHistory.push(packet.radiotap.dbm_antsignal);
7     this.ssidHistory[packet.wlan_mgt.ssid] = curTime;
8     this.taHistory[packet.wlan.ta] = {
9       ta      : packet.wlan.ta,
10      ta_resolved : packet.wlan.ta_resolved,
11    };
12  }
13 }
14 function processarPacote(packet) {
15   let sa = packet.wlan.sa;
16   if (! devices[sa]){
17     devices[sa] = new Device(sa, packet.wlan.sa_resolved);
18   }
19   devices[sa].appendPacket(packet);
20 }
```

A partir da lista declarada na linha 1 do Código-fonte 5.3, é possível calcular a média e o desvio padrão de potência de sinal para cada dispositivo descoberto como demonstrado no Código-fonte 5.4 entre as linhas 3 e 17.

### Código-fonte 5.4 – Extração das estatísticas do dispositivo

```

1 class Device {
2   [...]
3   get rssStatistics(){
4     let sum = 0, avg = 0, variance = 0, stdDeviation = 0;
5     if (this.rssHistory.length > 0){
6       for (let rss of this.rssHistory){
7         sum += rss;
8       }
9       avg = sum / this.rssHistory.length;
10      sum = 0;
11      for (let rss of this.rssHistory){
12        sum += Math.pow(( rss - avg ), 2);
13      }
14      variance = sum / (this.rssHistory.length - 1);
15      stdDeviation = Math.sqrt(variance);
16    }
17    return {
18      size      : this.rssHistory.length,
19      avg       : avg,
20      stdDeviation : stdDeviation,
```

```

21      };
22    }
23  }

```

Por fim, é necessário comunicar aos interessados nessas inferências, o que é feito através do módulo MQTT.js (GITHUB.COM/MQTTJS, 2016).

Neste caso o Código-fonte 5.5 mostra que, quando a aplicação é iniciada ela conecta-se ao *MQTT Broker* segundo a configuração das linhas 1 à 6.

Quando a conexão é estabelecida nas linhas 7 à 10 do Código-fonte 5.5, ela solicita ao *MQTT Broker* a inscrição para receber as publicações do tópico “devices” na linha 8 e o processo filho TShark é iniciado na linha 9. Com isso os resultados são capturados e guardados como discutido anteriormente nos Código-fonte 5.3 e Código-fonte 5.4.

Quando uma mensagem no tópico “devices” é recebida na linha 11, três reações podem acontecer: a lista de dispositivos deve ser fornecida como mostrado nas linhas 14 à 18, o relatório do sensor deve ser fornecido segundo as linhas 20 à 24 ou um relatório sobre um dispositivo específico deve ser fornecido como na lógica entre as linhas 26 e 31. Para todos os casos, uma resposta adequada é imediatamente processada e enviada para o tópico “devices/report”.

#### Código-fonte 5.5 – Cliente MQTT.js

```

1 const mqtt = require('mqtt');
2 const mqttBrok = 'mqtt://${config.mqttHost}:${config.mqttPort}';
3 let clientMqtt = mqtt.connect(mqttBrok, {
4   username : config.mqttUser,
5   password : config.mqttPwd,
6 });
7 clientMqtt.on('connect', function () {
8   clientMqtt.subscribe('devices');
9   startTshark();
10 });
11 clientMqtt.on('message', function (topic, message) {
12   if (topic.toString() == 'devices') {
13     switch (message.toString()) {
14       case 'list':
15         clientMqtt.publish(
16           'devices/report',
17           JSON.stringify( tshark.getDevices() )
18         );
19         break;
20       case 'report':
21         clientMqtt.publish(
22           'devices/report',
23           JSON.stringify( tshark.getReport() )
24         );

```

```
25      break;
26  default:
27      let mac = message.toString();
28      clientMqtt.publish(
29          'devices/report',
30          JSON.stringify( tshark.getDeviceReport(mac) )
31      );
32      break;
33  }
34 }
35});
```

Em conclusão, a aplicação sensor instancia o processo de aquisição de dados TShark assincronamente e captura, classifica e armazena todos os pacotes que ficam acessíveis através de requisições ao tópico MQTT “devices”. Isso cobre os requisitos funcionais desta aplicação.

Os requisitos não-funcionais desta aplicação estão ligados com o ambiente de implantação que é um RPI3 remoto, sem outro dispositivo de entrada e saída exceto a comunicação MQTT, portanto, sem nenhum aspecto permitindo a monitoração por um humano que garanta que o aplicativo continue funcionando.

Este ambiente se assemelha muito a aplicações em nuvem, onde não há acesso físico ao computador onde a aplicação é executada. Neste ambiente, procura-se garantir que a aplicação seja executada constantemente e atualizada automaticamente sempre que uma nova versão é construída e testada. Estas garantias podem ser alcançadas com ferramentas de integração contínua (*Continuous Integration - CI*). No caso do Github, a escolha de hospedagem de código deste projeto, diversas opções deste tipo de ferramenta podem ser encontradas<sup>1</sup>.

No entanto, para esta aplicação, construiu-se uma solução extremamente simplificada destas ferramentas utilizando a arquitetura existente do programa *git* para garantir que novas versões fossem instaladas assim que possível. A implementação consiste da adição, nas primeiras instruções do aplicativo, uma rotina que executa sincronamente um programa externo através do terminal (diferente da execução do TShark que é assíncrona). Este programa é o *git* com a opção *pull* que, quando executado em um diretório que é repositório, solicita ao servidor configurado, como *origin*, a atualização do código do *branch* atual. Se a mensagem encontrada na saída padrão (*stdout*) resultante deste comando for diferente de “*Already up-to-date.*”, o programa finaliza imediatamente, pois uma nova versão foi baixada e uma reinicialização da aplicação é necessária. Em resumo, uma vez instalada a aplicação utilizando a ferramenta *git*, ela será atualizada com o mesmo processo com que foi instalada.

<sup>1</sup> *Integrations with Deployment:<https://github.com/integrations/feature/deployment>*

O outro requisito é que a aplicação seja executada constantemente. Para isso, pode-se utilizar uma aplicação também escrita em Node.js e disponível no gerenciador de pacotes “npm”: “forever-service”. Ela registra um novo serviço no sistema operacional linux para que a infra-estrutura de gerenciamento de serviços existente seja aproveitada (por exemplo: início automático após o início do sistema operacional). Além disso, a sua dependência “forever” garante que a aplicação seja reinicializada sempre que finaliza por falha ou outra causa, executando a aplicação constantemente (Zappy Inc, 2016).

## 5.2 Aplicação Distribuidora - Gateway

Para a construção do *Gateway* foi feita a instalação e a configuração do MQTT Broker Mosquitto em um dos RPI3.

Eclipse Mosquitto™ é um distribuidor de mensagens de código aberto (EPL/EDL licenciado) que implementa o protocolo MQTT versões 3.1 e 3.1.1. O MQTT fornece um método leve de transmitir mensagens usando um modelo de publicação/inscrição. Isso o torna adequado para mensagens "Internet das Coisas", como com sensores de baixa potência ou dispositivos móveis, como telefones, computadores embutidos ou microcontroladores como o Arduino.

Mosquitto.org (2016) Tradução Nossa.

A instalação é realizada com o gerenciador de pacotes *apt-get* padrão do raspbian como mostrado na primeira linha do Código-fonte 5.6.

Nas linhas 2 e 3, adiciona-se ao arquivo padrão de configuração padrão do *Mosquitto* a linha ‘‘password\_file /etc/mosquitto/passwd’’ que indica o arquivo de senhas a ser utilizado para autenticação. Na linha 4, é adicionado o usuário “user” ao arquivo, a senha é solicitada nas linhas 5 e 6.

Código-fonte 5.6 – Instalação e configuração do Mosquitto

```
1 pi@broker:~ $ sudo apt-get install mosquitto
2 pi@broker:~ $ sudo sh -c 'echo "password_file /etc/mosquitto/passwd"
3   >> /etc/mosquitto/mosquitto.conf'
4 pi@broker:~ $ sudo mosquitto_passwd -c /etc/mosquitto/passwd user
5 Password:
6 Reenter password:
7 pi@broker:~ $
```

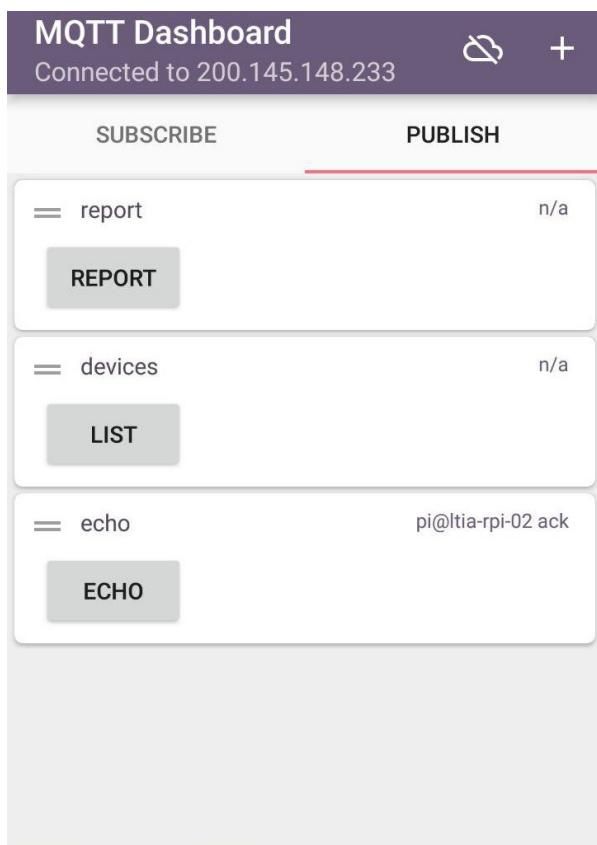
Feito isso, o acesso ao *Broker* está limitado aos usuários e senhas configurados neste processo. As demais configurações permaneceram sem alterações.

Na configuração do sensor, deve ser adicionado o endereço (nome ou IP), a porta 1883 e o par usuário e senha para que o sensor acesse o *Gateway* com sucesso.

Para verificar o funcionamento do conjunto sensor e distribuidor (*Gateway*), utiliza-se um cliente *MQTT*, como o aplicativo para a plataforma Android “MQTT Dashboard” (Nghia TH, 2016) ou os aplicativos para as plataformas Java “mqtt-spy” (Eclipse Foundation, 2016) e Windows “MQTT.fx” (DETERS, 2017).

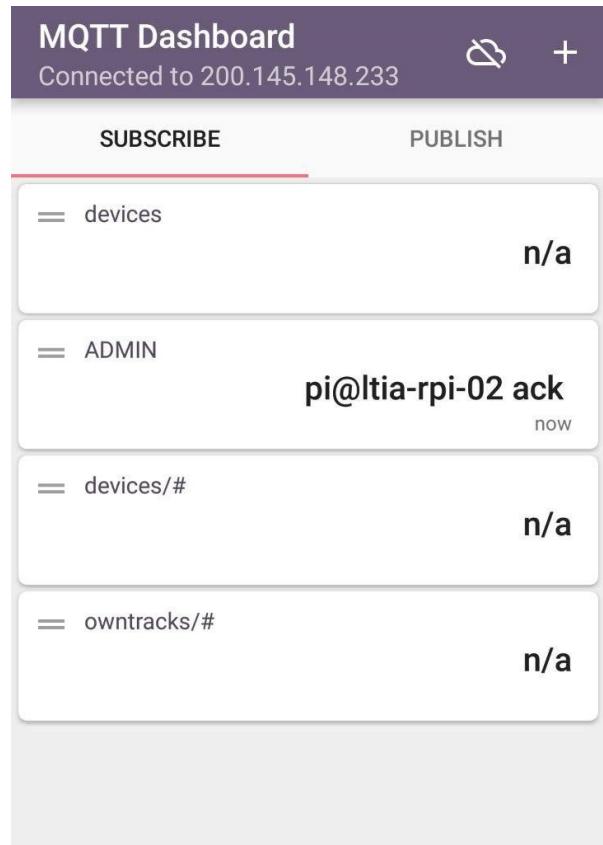
Nas figuras 19, 20 e 21, o aplicativo “MQTT Dashboard” é utilizado para verificar quais sensores estão online com a mensagem “echo” publicada no tópico “ADMIN”. Na Figura 19, os botões enviam mensagens com simplicidade. Na Figura 20, é visível a lista de tópicos e a última mensagem recebida em cada um deles. Na Figura 21, fica evidente a resposta de confirmação (ack) de cada um dos sensores.

Figura 19 – MQTT Dashboard: Envio de mensagens



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 20 – MQTT Dashboard: Lista de inscrições



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 21 – MQTT Dashboard: Lista de mensagens no tópico

The screenshot shows a MQTT Dashboard interface. At the top, it says "ADMIN" and "Connected to 200.145.148.233". Below this, there is a list of messages:

- 22:57:22 pi@ltia-rpi-02 ack
- 22:57:22 pi@ltia-pi-01 ack
- 22:57:21 echo
- 22:57:20 pi@ltia-pi-01 ack
- 22:57:20 pi@ltia-rpi-02 ack
- 22:57:20 echo

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 22 – MQTT Dashboard: Mensagem de relatório completo do sensor

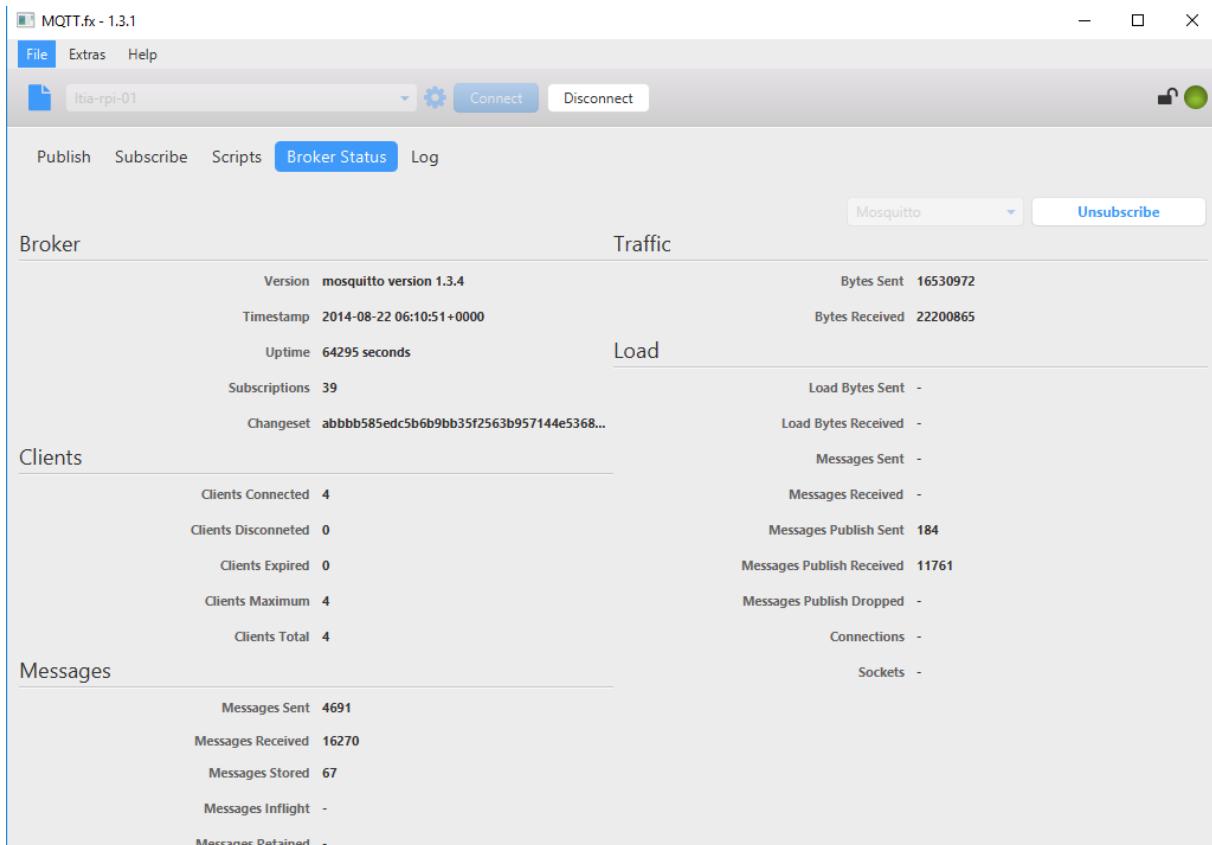
The screenshot shows a MQTT Dashboard interface. At the top, it says "devices/#" and "Connected to 200.145.148.233". Below this, there is a single message:

```
02:01:29 {"host": "pi@ltia-rpi-02", "uptime": 20396.862, "sensor": "00:e0:2b:00:00:01", "mac": "00:e0:2b:00:00:01", "macResolved": "Extreme-EEP", "rssHistory": [57, 57, 55, 55, 59, 59, 57, 63, 59, 57, 59, 75, 59, 57, 59, 57, 61, 65, 57, 59, 59, 61, 59, 57, 71, 57, 59, 57, 59, 57, 59, 71, 57, 57, 59, 57, 57, 71, 57, 59, 57, 55, 59, 59, 75, 59, 55, 59, 53, 53, 59, 75, 53, 59, 55, 59, 73, 53, 71, 55, 73, 53, 77, 59, 75, 53, 53, 59, 55, 59, 75, 53, 57, 71, 77, 77, 53, 79, 55, 73, 71, 65, 59, 55, 73, 63, 53, 59, 75, 53, 59, 75, 53, 59, 55, 59, 73, 53, 71, 55, 73, 53, 77, 59, 75, 53, 53, 59, 55, 59, 75, 53, 57, 71, 77, 59, 59, 73, 57, 75, 55, 59, 75, 55, 71, 53, 53, 77, 59, 59, 73, 57, 75, 55, 59, 75, 55, 71, 61, 71, 59, 71, 67, 55, 75, 59, 75, 75, 55, 71, 61, 71, 59, 71, 67, 55, 75, 59, 75, 75, 55, 71, 61, 65, 59, 55, 59, 75, 53, 75, 61, 5, 57, 1, 53, 73, 55, 75, 55, 77, 59, 73, 59, 73, 61, 75, 57, 55, 75, 59, 61, 75, 59, 59, 55, 55, 7, 55, 59, 55, 59, 55, 75, 61, 61, 55, 71, 71, 71, 73, 59, 73, 75, 73, 73, 55, 55, 77, 75, 53, 77, 73, 59, 7, 3, 55, 61, 61, 55, 61, 53, 59, 73, 59, 77, 55, 75, 59, 75, 75, 59, 57, 55, 55, 55, 59, 55, 71, 55, 75, 59, 7, 55, 75, 55, 77, 55, 73, 59, 55, 59, 53, 53, 75, 75, 55, 75, 75, 59, 73, 75, 59, 73, 55, 75, 55, 7, 55, 53, 59, 55, 75, 59, 73, 59, 55, 61, 77, 77, 59, 53, 55, 75, 59, 55, 59, 55, 71, 65, 7] }
```

Fonte: Produzido pelo autor

A aplicação “MQTT.fx”, em especial a tela mostrada na Figura 23, revela estatísticas do *Broker*, como a versão, tempo *online*, número de clientes, mensagens e utilização de rede.

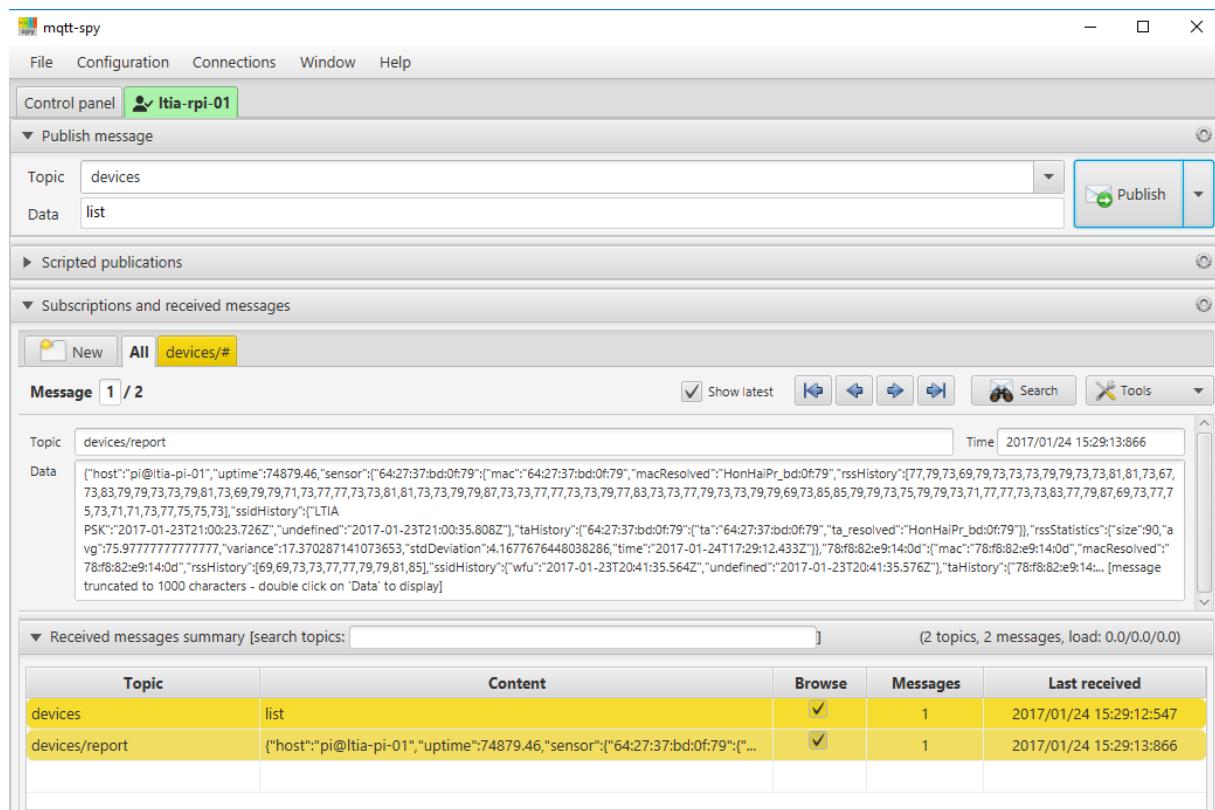
Figura 23 – MQTT.fx: Estatísticas do *Broker*



Fonte: Produzido pelo autor

Para demonstrar a utilização da aplicação “mqtt-spy”, o comando de listagem (mentionado na página 49) é demonstrado na Figura 24.

Figura 24 – mqtt-spy: Listagem de dispositivos



Fonte: Produzido pelo autor

## 5.3 Aplicação Web

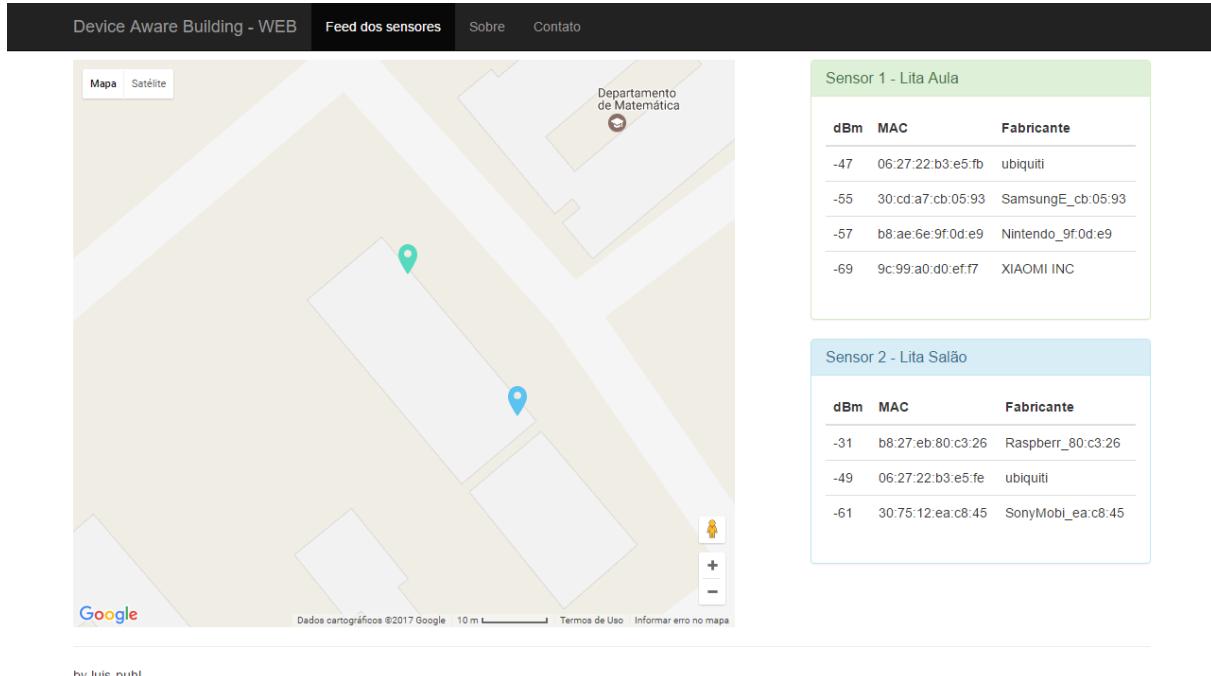
Como já mencionado, para a apresentação das informações de captura de maneira acessível, foi construída uma aplicação Web utilizando as tecnologias Node.js, MQTT.js, HTML, CSS, Javascript, Bootstrap e Google Maps API.

Node.js e a biblioteca de cliente MQTT.js foram utilizados para, da mesma forma exposta no Código-fonte 5.5, conectar uma aplicação escrita em Javascript com o *MQTT Broker*. Esta aplicação recupera as informações sobre os dispositivos descobertos e as classifica por proximidade de cada sensor para compor a lista de dispositivos por sensor vista no lado direito da Figura 25.

Já o HTML, CSS, Javascript e Bootstrap foram utilizados para estruturar, estilizar, inflar e animar as informações. Em especial, o Bootstrap forneceu a estrutura de cabeçalho, rodapé e colunas, além do esquema de cores.

A Google Maps API juntamente com um pouco de CSS e Javascript fornece o mapa visto no lado direito da Figura 25. Nele estão representadas as localizações geográficas de cada sensor representados pelos marcadores nas cores azul e verde.

Figura 25 – Web APP



Fonte: Elaborada pelo autor

# 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são abordados, analisados e discutidos os resultados encontrados durante a exploração do tema e das plataformas e durante a implementação das aplicações, além de verificar a precisão atingida com a aplicação implementada. Todos os testes foram realizados no prédio do laboratório LTIA da Unesp de Bauru, onde os sensores permaneceram monitorando dispositivos.

## 6.1 Método de teste

Como discutido no Capítulo 5, a arquitetura geral da aplicação (Figura 18) mostra que a precisão vista na aplicação Web depende dos resultados encontrados pela aplicação sensor que, por sua vez, depende do par de capacidades combinadas do hardware adaptador Wi-Fi e do software TShark. Portanto, a metodologia de testes empregada neste capítulo é analisar diretamente as capacidades deste último par. Esta decisão também se deve pela facilidade de armazenar e analisar arquivos CSV gerados pelo TShark.

As capturas foram executadas com o comando descrito no Código-fonte 6.1 que é o mesmo utilizado na aplicação sensor.

Código-fonte 6.1 – TShark e redirecionamento da saída para arquivo assíncrono

```

1 pi@sensor-01:~ $ tshark -l -i wlan0 -T fields -E header=y -E quote=d \
2 -e wlan.sa -e wlan.sa_resolved -e wlan.ta -e wlan.ta_resolved \
3 -e radiotap.dbm_antsignal -e wlan_mgt.ssid \
4 >> 2017-01-17--02-48--rpi-02.csv &
5 pi@sensor-01:~ $
```

Neste modo de uso, os resultados são direcionadas para a saída padrão (stdout) do terminal e podem ser capturados por outro programa no formato de valores separados por vírgula (CSV). Os campos escolhidos para captura são “wlan.sa”, “wlan.sa\_resolved”, “wlan.ta”, “wlan.ta\_resolved”, “radiotap.dbm\_antsignal” e “wlan\_mgt.ssid”.

Na linha 4 do Código-fonte 6.1, o “&” representa o início de um processo independente (assíncrono) e, a linha 5, a finalização do terminal. Esta operação foi somente executada durante a captura longa.

A análise de dados foi feita com a função “summary” da ferramenta “Ron’s editor”<sup>1</sup> e a filtragem com a função “Filter” da ferramenta “RecCsvEditor”<sup>2</sup>. Para a construção dos

<sup>1</sup> <<https://www.ronsplace.eu/Products/RonsEditor>>

<sup>2</sup> <<http://recsveditor.sourceforge.net/>>

gráficos, foi utilizada a ferramenta “WPS Spreadsheets”<sup>3</sup>.

---

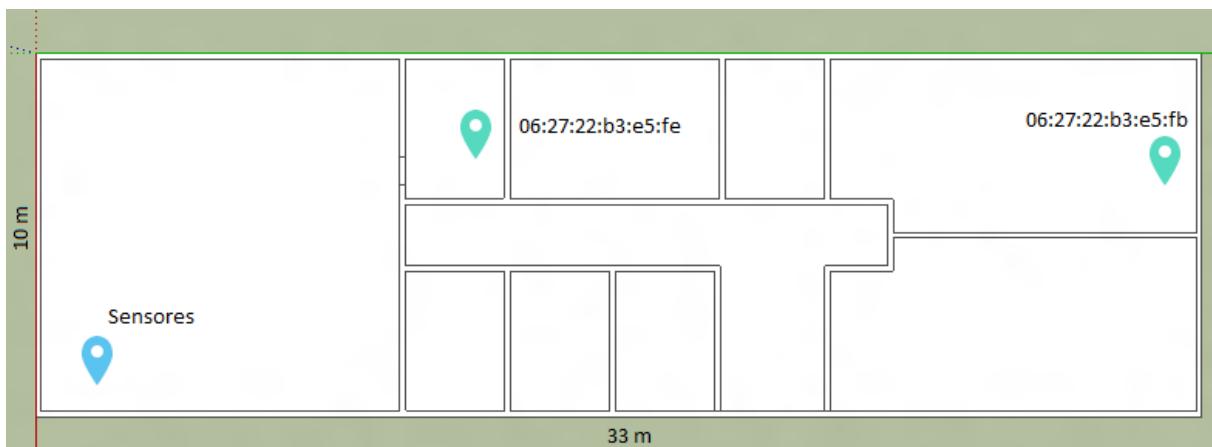
<sup>3</sup> <<https://www.wps.com/office-free>>

## 6.2 Avaliação de ruído e consistência

Para entender o ambiente onde a aplicação foi desenvolvida e testada no âmbito de ruído e pontos de referência Wi-Fi, foi executada uma captura de referência durante a noite quando ninguém estava no prédio protótipo, ou seja, nenhum dispositivo foi movimentado até a manhã seguinte.

Nesta captura, dois sensores foram posicionados a menos de 10 centímetros de distância um do outro sobre uma mesa a um metro do chão indicada no ponto azul da Figura 26. A captura ocorreu das 2:50 da noite até aproximadamente 11:25 da manhã, totalizando aproximadamente 8 horas de captura.

Figura 26 – Ambiente de teste de ruído



Em azul: Sensores da aplicação

Em verde: Pontos de acesso da rede Wi-Fi do laboratório

Fonte: Elaborada pelo autor

As distâncias aproximadas, em linha reta, entre os sensores e o dispositivo 062722b3e5fe (AP na sala de servidores, anexo ao salão) é de 14,6m e entre os sensores e o dispositivo 062722b3e5fb (AP na sala de aula) é de 26,5m.

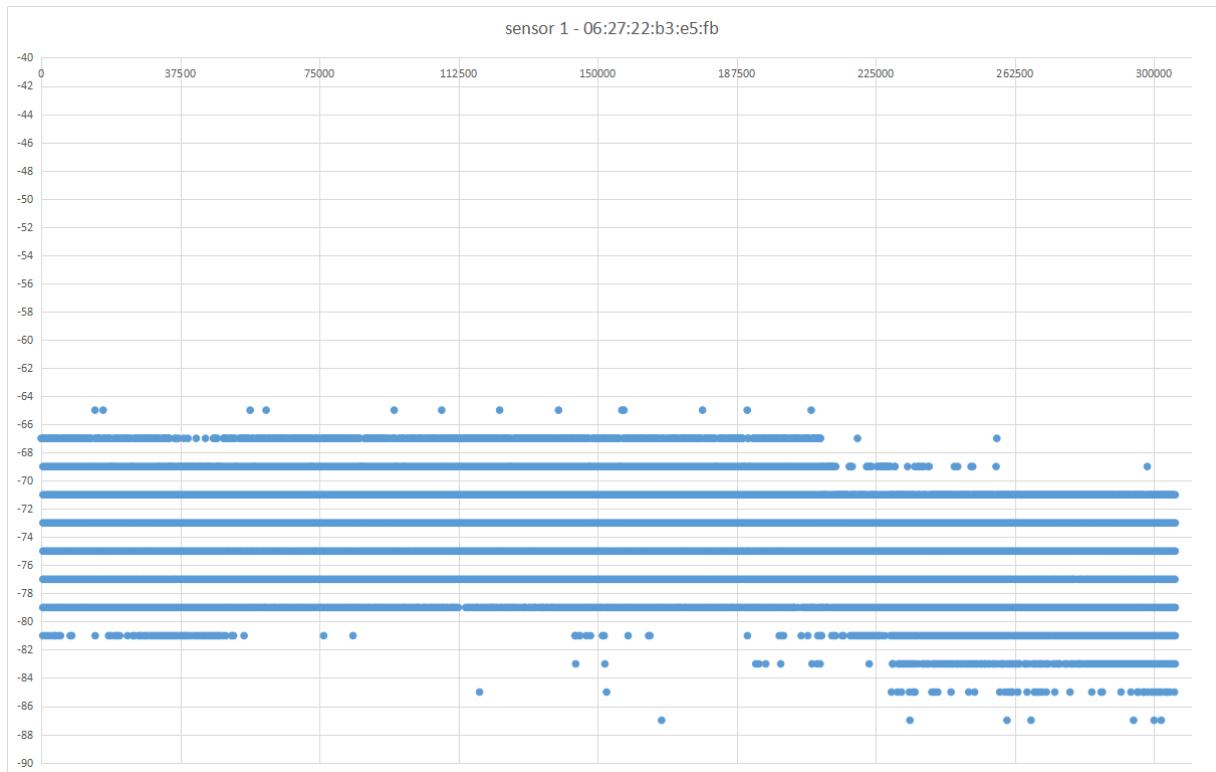
Para o primeiro sensor, a função “summary” da ferramenta Ron’s editor indicou que foram capturados 1.729.624 pacotes num arquivo de 155 MB com 88 transmissores únicos. Para o segundo sensor, a mesma função indicou que foram capturados 1.554.319 pacotes num arquivo de 134 MB com 66 transmissores únicos. Em ambos os sensores, se destacaram dois endereços MAC que são os pontos de acesso para rede Wi-Fi do laboratório.

Os pacotes capturados dos pontos de acesso e os valores de potência de sinal associados a eles são notáveis para entender a precisão de um sistema de localização

desta categoria uma vez que esses APs estão fixos e transmitiram o maior número de pacotes nesta captura.

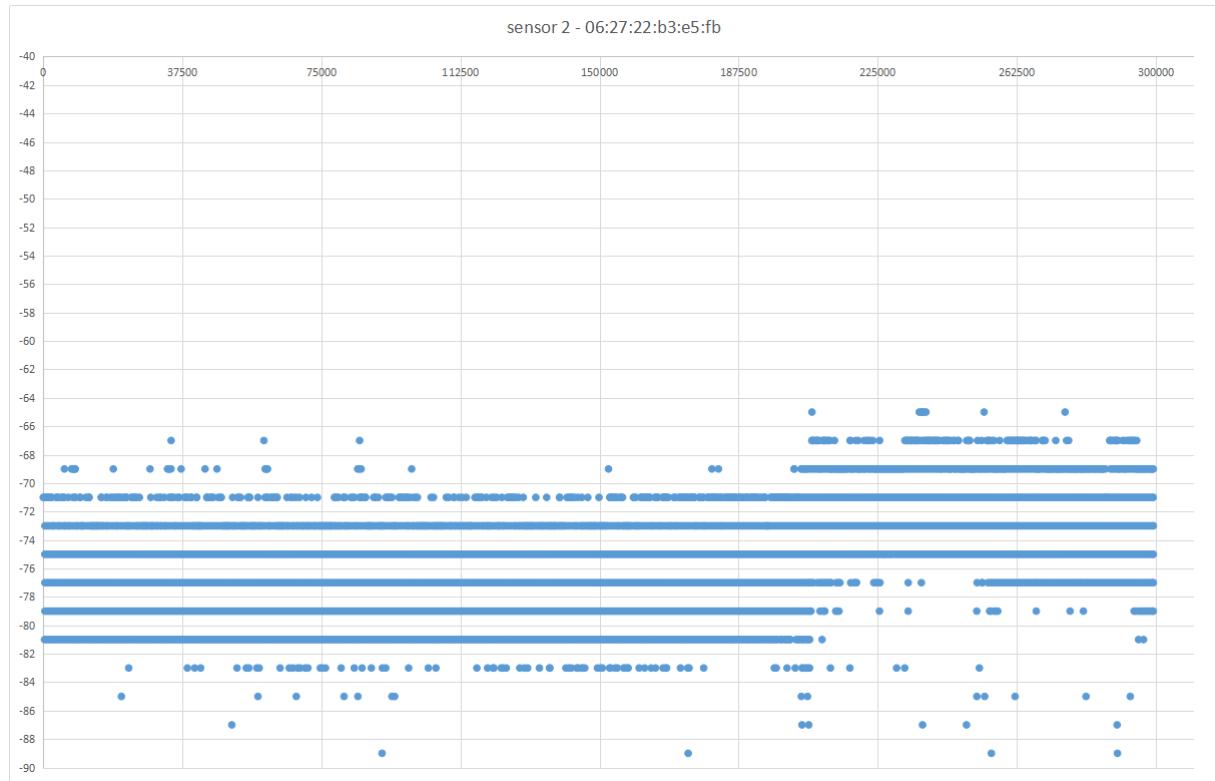
Nas Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30 observa-se a potência de sinal para cada pacote capturado em ordem de chegada. Na Figura 27 e na Figura 28, os pacotes foram capturados, respectivamente, pelos sensores 1 e 2 para o ponto de acesso de MAC 06:27:22:b3:e5:fb. E na Figura 29 e na Figura 30, os pacotes foram capturados, respectivamente, pelos sensores 1 e 2 para o ponto de acesso de MAC 06:27:22:b3:e5:fe.

Figura 27 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fb sensor 1



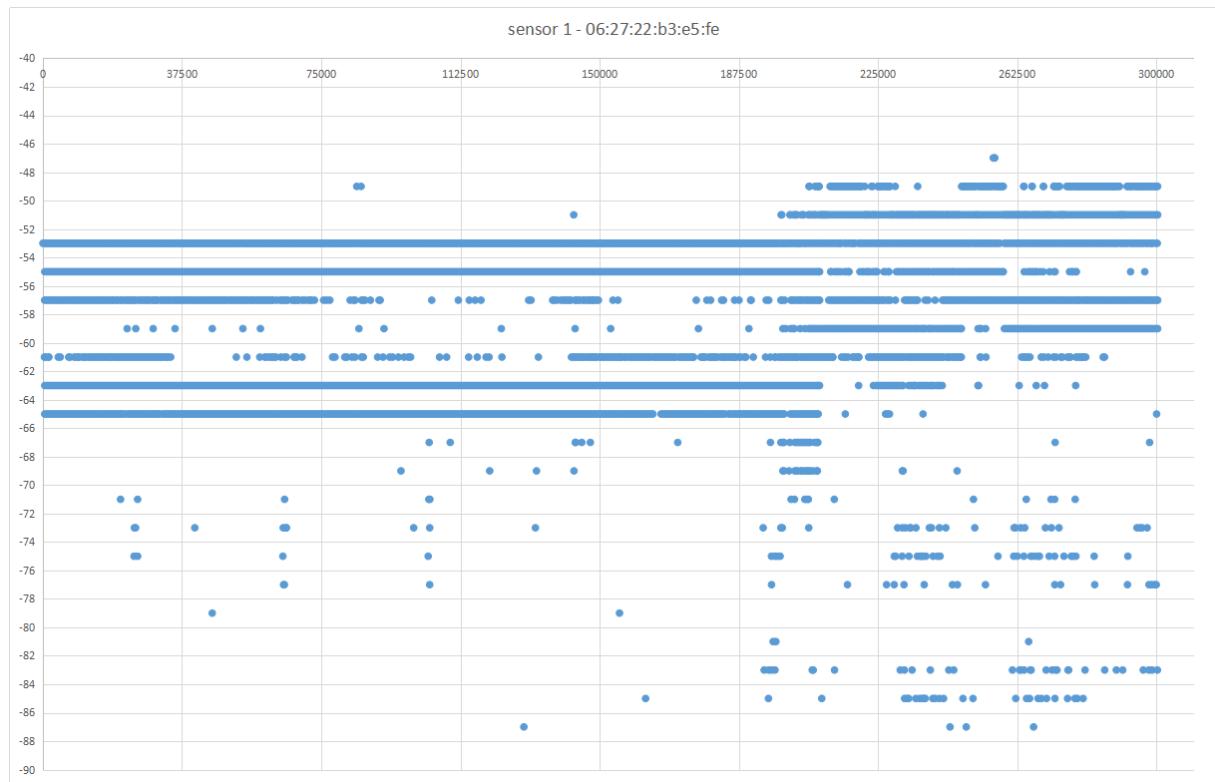
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 28 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fb sensor 2



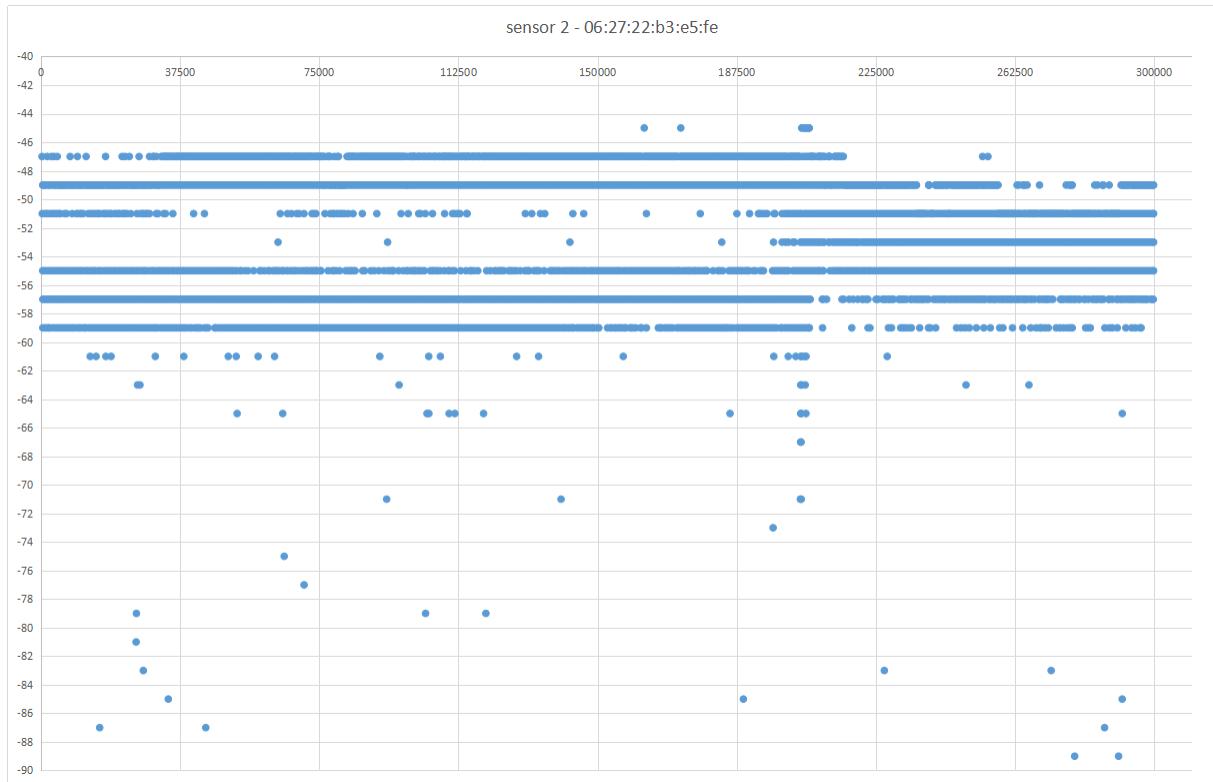
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 29 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fe sensor 1



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 30 – Sinal em dBm por pacote capturado - 062722b3e5fe sensor 2



Fonte: Elaborada pelo autor

Imediatamente, percebe-se que, apesar da distância ser invariável durante todo o teste, a potência de sinal não permaneceu constante. Nota-se também que o valor nunca assume valor par. Estas duas características fazem com que o gráfico seja feito de 7 linhas paralelas ao centro e alguns grupos de pontos ao redor.

Em todas os gráficos anteriores, nota-se uma abrupta mudança no comportamento próximo do pacote 225.000. Estimou-se que esta mudança é devido ao horário (08:00) em que a universidade (incluindo o prédio piloto e seus arredores) inicia o seu funcionamento.

Para ter uma visão geral clara da distribuição das potências de sinal, calculou-se a média e o desvio padrão para cada um dos casos. Além disso, adicionou-se o quanto o desvio padrão representa da média (erro) como visto na Tabela 8.

Tabela 8 – dBm Pontos de acesso - Acumulado 8 horas

AP	06:27:22:b3:e5:fe		06:27:22:b3:e5:fb	
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 1	Sensor 2
Pacotes	300403	299864	305735	299264
Média (dBm)	-57.66137822	-52.57644132	-73.04459417	-76.12900984
$\sigma$ (Desvio Padrão em dBm)	4.746974756	3.712407998	3.05045545	2.889560991
$\sigma$ %	8%	7%	4%	4%

Fonte: Produzido pelo autor.

A equação de FSPL (*Free-space path loss* - perca no caminho em espaço aberto) que é apresentada na Equação 6.1 é usualmente utilizada para determinar a potência do sinal a ser transmitido para que este alcance o seu destinatário. Para obter o valor de potência em *dB* utiliza-se a Equação 6.2.

$$\text{FSPL} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (6.1)$$

Onde, na Equação 6.1,  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal em metros  $d$  é a distância do transmissor em metros.

$$\text{FSPL(dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 27.55 \quad (6.2)$$

Onde, na Equação 6.2,  $f$  é a frequência do sinal em megahertz (*MHz*) e  $d$  é a distância do transmissor em metros.

Na aplicação Android *Wifi Distance Calculator* (confirmado no Apêndice B), desenvolvida por Kuik (2016), e no trabalho de Miller (2013) a FSPL é usada de maneira inversa, ou seja, utiliza-se a potência de sinal para se encontrar a distância, como mostra a Equação 6.3.

$$d = 10^{\frac{1}{20}(p-20 \times \log_{10}(f)+27.55)} \quad (6.3)$$

O  $d$  é a distância em metros,  $p$  é a potência do sinal em *dB* e  $f$  é a frequência do sinal em *MHz*. Como as redes Wi-Fi utilizam canais na região de *2.4GHz* e *5GHz* (IEEE, 2016), pode-se simplificar a equação e chegar nos resultados Equação 6.4 e Equação 6.5 respectivamente.

$$\begin{aligned} d &= 10^{\frac{1}{20}(p-20 \times \log_{10}(2400)+27.55)} \\ &= 10^{\frac{1}{20}(p-40.0542)} \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned}
 d &= 10^{\frac{1}{20}(p - 20 \times \log_{10}(5000) + 27.55)} \\
 &= 10^{\frac{1}{20}(p - 46.4294)}
 \end{aligned} \tag{6.5}$$

Utilizando a Equação 6.4 (para  $2.4GHz$ ), pode-se inferir as distâncias entre os sensores e pontos de acesso a partir da Tabela 8. Na Tabela 9, estão presentes a distância em função da potência  $d(p)$  calculada para a potência média  $\overline{dBm}$  e para o erro.

Tabela 9 – Distância entre os sensores e os Pontos de acesso

AP	06:27:22:b3:e5:fe		06:27:22:b3:e5:fb	
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 1	Sensor 2
$d(\overline{dBm})$ metros	7.639569932	4.254240777	44.89828049	64.03987741
$d(\overline{dBm} + \sigma)$ metros	13.19525078	6.522926214	63.78998224	89.31585118
$d(\overline{dBm} - \sigma)$ metros	4.423032932	2.774608204	31.60144461	45.91688759
Erro acumulado metros $d(\overline{dBm} - \sigma) - d(\overline{dBm} + \sigma)$	8.772217849	3.748318009	32.18853763	43.39896359
Erro acumulado em relação a distância (%)	115%	88%	72%	68%

Fonte: Produzido pelo autor.

A Tabela 9 mostra em sua última linha o erro acumulado em relação a estimativa de distância (calculada a partir do valor de potência médio), revelando um erro de tamanho assombroso. Esse erro descarta qualquer possibilidade de associar a potência de sinal a uma localização geográfica.

A definição do padrão IEEE 802.11 inclui que a potência de sinal utilizada por uma estação para transmissão pode ser variada e, o critério utilizado para a escolha desta potência varia entre fabricantes e não é padronizada.

*A STA may use any criteria, and in particular any path loss and link margin estimates, to dynamically adapt the transmit power for transmissions of an MPDU to another STA. The adaptation methods or criteria are beyond the scope of this standard.*

*IEEE (2016, 10.8.6, p. 1047)*

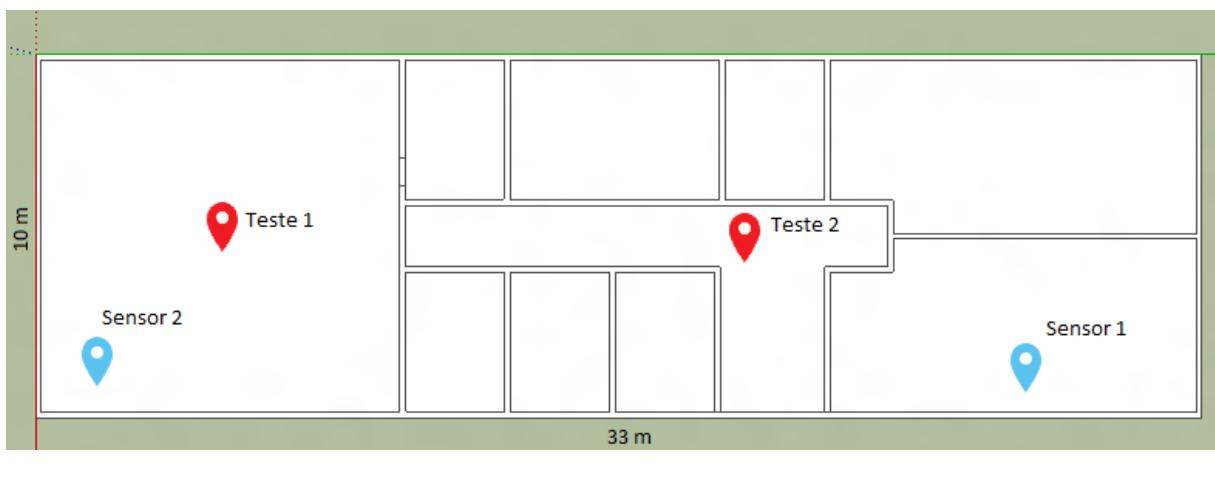
Esta definição afasta ainda mais a possibilidade de associação entre a potência de sinal recebida e a distância calculada através das equações de FSPL.

Em conclusão, esta seção mostra os níveis de erro encontrados utilizando-se somente as equações de FSPL em um ambiente real e justifica o não uso de valores RSS (potência de sinal) para determinar valores de geolocalização neste trabalho.

### 6.3 Teste de localização com smartphone

Para verificar a capacidade dos sensores de localizar contextualmente um dispositivo móvel, um *smartphone* foi utilizado. Este foi posicionado em duas salas diferentes conforme a Figura 31, sendo que em cada uma delas foi executada uma captura de 10 minutos. Para que houvesse tráfego na rede, o dispositivo móvel foi configurado para receber um *stream* de vídeo no aplicativo *Netflix*.

Figura 31 – Ambiente de teste



Em azul: Sensores da aplicação

Em vermelho: Pontos do dispositivo teste

Fonte: Elaborada pelo autor

No teste 1, o dispositivo estava na mesma sala do sensor 2. As distâncias aproximadas, em linha reta, entre o ponto teste 1 e o sensor 1 é de 21,52m e entre o mesmo ponto e o sensor 2 é de 7,00m.

Neste teste (1), foram capturados pelo sensor 1 157.736 pacotes distribuídos entre os dispositivos vistos na Figura 32 detalhe (a), totalizando 9,7 MB. No mesmo teste pelo sensor 2 21.974 pacotes foram capturados distribuídos de acordo com a Figura 32 detalhe (b) totalizando 1,9 MB.

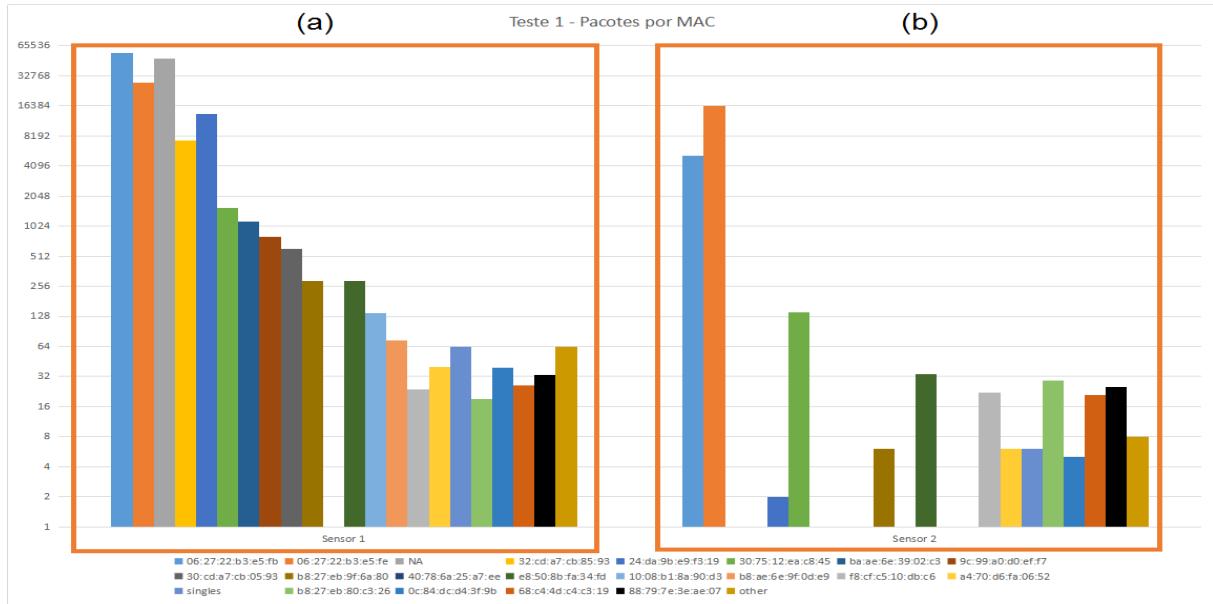
Para o teste 2, o dispositivo móvel estava posicionado no corredor fora da sala do sensor 1 e distante do sensor 2. As distâncias aproximadas, em linha reta, entre o ponto de teste 2 e o sensor 1 é de 9,35m e entre o mesmo ponto e o sensor 2 é de 20,14m.

Neste teste (2), o sensor 1 capturou 103.555 pacotes distribuídos entre os dispositivos conforme a Figura 33 detalhe (a), totalizando 6,4 MB de captura. Já o sensor 2 capturou 22.635 pacotes detalhados na Figura 33 destaque (b) totalizando 2 MB de captura.

Posteriormente, os arquivos de captura foram analisados com a ferramenta *Ron's*

*Editor para que o “summary” fosse construído como é mostrado nas Figura 32 e Figura 32.*

Figura 32 – Sumário de pacotes por dispositivo - Teste 1

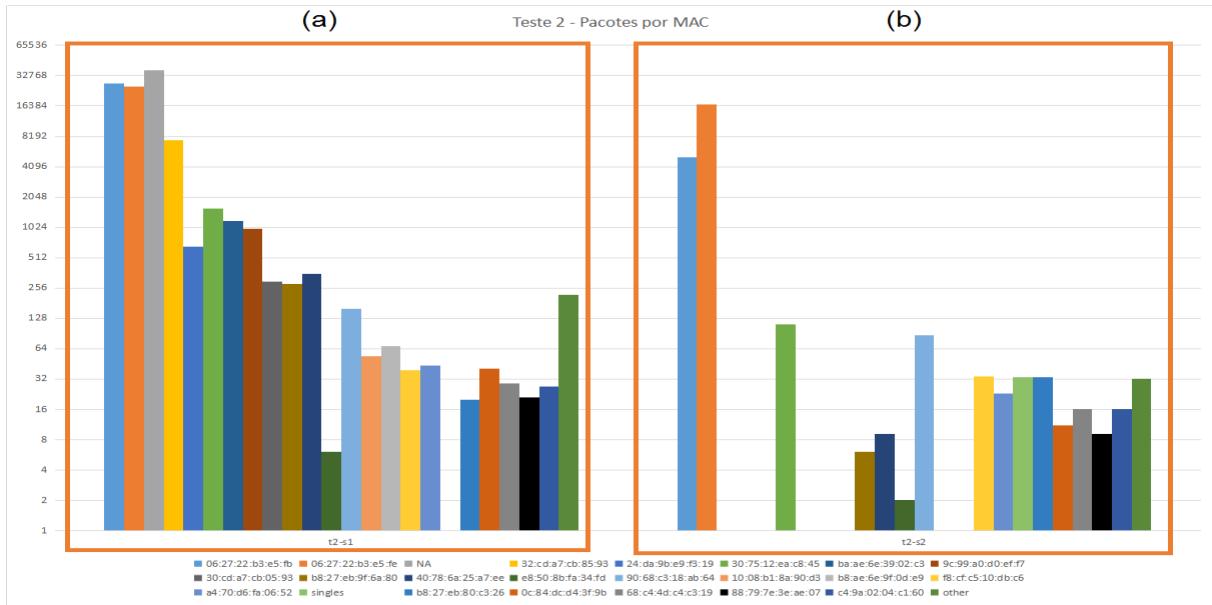


Item (a): Os pacotes recebidos pelo sensor 1.

Item (b): Os pacotes recebidos pelo sensor 2.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 33 – Sumário de pacotes por dispositivo - Teste 2



Item (a): Os pacotes recebidos pelo sensor 1.

Item (b): Os pacotes recebidos pelo sensor 2.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar que o *smartphone* não representa a maioria dos pacotes capturados, evidenciando a constatação do ambiente real e ruidoso em que o teste foi executado.

Entretanto, uma vez filtrado os pacotes onde o endereço MAC do transmissor é o do *smartphone*, pode-se inferir os valores médios de potência de sinal e desvio padrão, chegando nos valores dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise dos pacotes do *smartphone* - 10 minutos

Teste	teste 1		teste 2	
Sensor	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 1	Sensor 2
Pacotes	33	25	21	9
$\overline{dBm}$	-76.6969697	-49.88	-53.95238095	-68.55555556
$\sigma$	2.833778931	2.833137248	4.177034719	3.431876714
$d(\overline{dBm})$	68.36730882	3.118889584	4.984470702	26.77797784
$d(\overline{dBm} - \sigma)$	49.33550049	2.250832294	3.081536468	18.03781557
$d(\overline{dBm} + \sigma)$	94.74088372	4.321722353	8.062519603	39.75315605
Erro acumulado metros	45.40538323	2.070890059	4.980983136	21.71534048
Distância real $M$	21.52	7	9.35	20.14
$d(\overline{dBm}) - M$	46.84730882	3.881110416	4.365529298	6.637977837

Fonte: Produzido pelo autor.

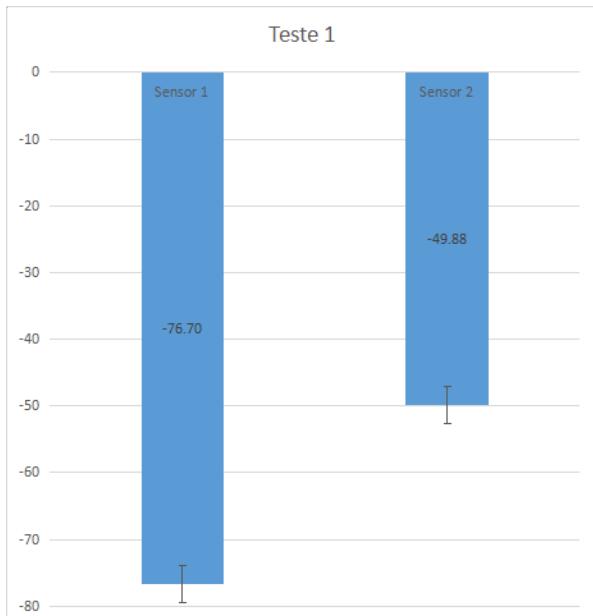
Os mesmos padrões encontrados na seção 6.2 aparecem: desvio padrão grande e

erro acumulado maior ainda. Porém, este trabalho limita-se a determinar o contexto (sala, área, etc.), sendo que esta resposta pode ser vista no contraste das Figura 34 e Figura 35 onde a mudança do contexto é mais clara. Nestas figuras, plota-se em gráficos as médias encontradas na Tabela 10.

No teste 1, na figura Figura 34, a potência de sinal (RSS) do dispositivo é maior em relação ao sensor 2 ( $-49,88$  é maior que  $-76,70$ ). Portanto, pode-se inferir que o dispositivo móvel estava mais inserido no contexto do sensor 2 do que no contexto do sensor 1, o que se confirma no ambiente físico.

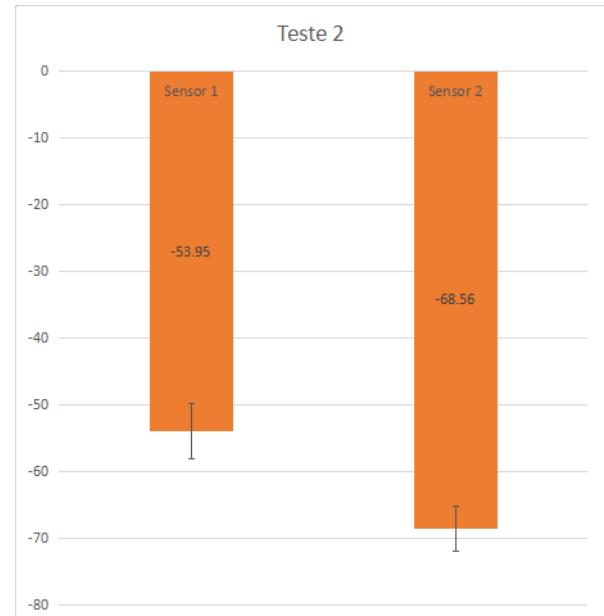
No teste 2, na figura Figura 35, o dispositivo obteve uma potência de sinal maior em relação ao sensor 1 ( $-53,95$  é maior que  $-68,56$ ), ou seja, estava mais inserido no contexto do sensor 1, o que também se confirma no ambiente de teste.

Figura 34 – dBm Motorola G4+ - Teste 1



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 35 – dBm Motorola G4+ - Teste 2



Fonte: Elaborada pelo autor

## 6.4 Corroboração

A partir destes resultados, pode-se concluir que os sensores não possuem precisão quanto à distância geográfica que o dispositivo móvel se encontra de cada sensor, mas há um certa precisão quanto ao contexto. Então, é possível dizer em que contexto o *smartphone* estava inserido. Portanto, a potência não revela-se útil para o posicionamento de geolocalização (coordenadas e distâncias), mas sim para uma localização contextual em que associa-se um dispositivo ao contexto do sensor.

## 7 CONCLUSÃO

Esse projeto teve como objetivo o aprofundamento na área de Internet das Coisas, especialmente nas características de desenvolvimento local e independente que foram encontradas durante a construção da aplicação localizadora de contexto de dispositivos. Esta aplicação foi construída, instalada e testada no prédio piloto fornecendo um ambiente real onde pôde-se avaliar as reais capacidades de um sistema localizador desse gênero.

Confirmou-se que um sistema de geolocalização que utiliza somente FSPL com RSS tem poucas chances de ser preciso. Porém, com as mesmas ferramentas, pôde-se construir uma rede de sensores onde cada nó foi responsável por monitorar um contexto (sala, área ou parte de um prédio) e, neste sentido, os dispositivos puderam ser associados ao contexto e a localização do sensor, efetivamente identificando a localização deles e seus portadores dentro de um modelo lógico do prédio.

Para que a implementação possa ser replicada, o custo associado foi determinado como sendo de R\$ 324,85 por sensor (determinado na Tabela 6 da seção 4.3, página 43) onde é necessário um sensor por contexto além de uma estrutura de rede já existente. Analogamente, o custo total do projeto piloto foi definido como R\$ 995,00 (Valor total das aquisições no MercadoLivre.com como descrito no Apêndice A) para os custos de hardware incluindo os protótipos e 400 horas<sup>1</sup> de desenvolvimento para o software e documentação.

Quanto ao estado da arte do ramo de Internet das Coisas foram identificadas algumas características que necessitam destaque:

- a) Num ambiente onde idealmente todos os objetos e coisas estão conectados, existem poucos padrões globais -para garantir essa conexão, tanto a nível jurídico (direitos e obrigações de fabricantes, desenvolvedores e usuários) quanto técnico (protocolos de comunicação, arquiteturas e recomendações unificados);
- b) Muitos produtos e soluções são muito recentes e carecem amadurecimento, especialmente no mercado residencial e comercial, onde as exigências de segurança, padronização, conformidade legal e disponibilidade são inferiores às encontradas no ramo industrial;
- c) Foi encontrada uma dificuldade durante a aquisição das plataformas, pois sem uma orientação de um profissional da área de sistemas embarcados que compreenda as exatas capacidades de cada plataforma, a comparação e escolha de uma plataforma é uma tarefa muito complexa;

---

<sup>1</sup> Estimado de 200 funcionalidades (*git commit*) implementadas com média de 2 horas de implementação cada

- d) Comparada com a comunidade de desenvolvedores Web, a comunidade de desenvolvedores IoT é muito jovem e não desenvolveu ferramentas para construir, compartilhar e reutilizar projetos de maneira eficiente.

## 7.1 Resultados para comunidade e trabalhos futuros

Durante a exploração do tema, foram encontradas diversas implementações de localizadores baseados em Wi-Fi, mas a implementação aqui executada mais se assemelha com a de Ferreira (2016) onde a mesma plataforma (Raspberry Pi, porém na sua versão 2 modelo B+), tipo de adaptador (Wi-Fi USB) e software (TShark) foram utilizadas. A principal diferença são os objetivos, enquanto a localização que Ferreira (2016) buscou é do tipo geográfica, neste trabalho buscou-se o objetivo mais simples de encontrar o grau de presença do dispositivo no mesmo contexto (sala) do sensor. Outras diferenças são que alguns desafios propostos por Ferreira (2016) foram atacados com certo nível de sucesso, entre eles: mais de um dispositivo sensor, coleta e processamento simultâneos (*online*) e registro do histórico. Outros que não renderam frutos também merecem atenção, como a exploração adicional da plataforma ESP8266 que aqui propõem-se como trabalho futuro para a construção do mesmo sensor a um menor custo.

# REFERÊNCIAS

- ABUSUBAIH, M.; RATHKE, B.; WOLISZ, A. A Dual Distance Measurement Scheme for Indoor IEEE 802 . 11 Wireless Local Area Networks \*. In: *2007 9th IFIP International Conference on Mobile Wireless Communications Networks*. [s.n.], 2007. p. 121–125. ISBN 9781424417209. ISSN 978-1-4244-1719-3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4668193/>>. Acesso em: 2017-01-25. 23
- alibaba.com. *Esp-12f Esp8266 Remote Serial Port Wifi Transceiver Wireless Module - Buy Esp8266, Wifi Module,Esp12f Product on Alibaba.com*. 2017. Disponível em: <[https://www.alibaba.com/product-detail/ESP-12F-Esp8266-Remote-Serial-Port\\_60518607068.html?s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/ESP-12F-Esp8266-Remote-Serial-Port_60518607068.html?s=p)>. Acesso em: 2017-01-19. 30
- AMAZON. *Definição de preço do AWS IoT – Amazon Web Services*. 2016. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/iot/pricing/>>. Acesso em: 2016-01-01. 14
- ARM. *Welcome to mbed*. 2016. Disponível em: <<https://www.mbed.com/en/>>. Acesso em: 2016-04-19. 14
- ASHTON, K. That internet of things thing. *RFID Journal*, v. 22, n. 7, p. 4986, 2009. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 2017-01-25. 21
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, Elsevier B.V., v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. ISSN 13891286. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128610001568>>. Acesso em: 2017-01-25. 21
- AWS IoT. 2016. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/iot/>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- BAHILLO, A. et al. IEEE 802.11 distance estimation based on RTS/CTS two-frame exchange mechanism. In: *IEEE. Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*. 2009. p. 1–5. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5073583/>>. Acesso em: 2017-01-25. 23, 26
- BELLAVISTA, P.; KÜPPER, A.; HELAL, S. Location-based services: Back to the future. *IEEE Pervasive Computing*, v. 7, n. 2, p. 85–89, 2008. ISSN 15361268. 22
- BIZER, C.; HEATH, T.; BERNERS-LEE, T. Linked Data - The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, IGI Global, v. 5, n. 3, p. 1–22, jan 2009. ISSN 1552-6283. Disponível em: <<http://tomheath.com/papers/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf>>. Acesso em: 2017-01-25. 23
- C2FO.COM. *C2FO/fast-csv: CSV parser for node*. 2016. Disponível em: <<http://c2fo.io/fast-csv/>>. Acesso em: 2017-01-23. 47
- CHEN, G.; KOTZ, D. *A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research*. Hanover, NH, 2000. v. 3755, n. TR2000-381, 1–16 p. Disponível em: <<http://www.cs.dartmouth.edu/reports/abstracts/TR2000-381/>>. Acesso em: 2017-01-25. 16

Cisco Blog. *How Many Internet Connections are in the World? Right. Now.* 2013. 2 p. Disponível em: <<http://blogs.cisco.com/news/cisco-connections-counter>>. Acesso em: 2016-04-20. 14

CORDEIRO, M. A. Servidor e aplicativo web para armazenamento e análise de dados de localização de dispositivos móveis. 2017. Disponível em: <<https://github.com/marcelocordeiro/TCC2016>>. Acesso em: 2017-02-16. 19

CROW, B. et al. IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 35, n. 9, p. 116–126, 1997. ISSN 01636804. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/620533/>>. Acesso em: 2017-01-25. 23

DETERS, J. *MQTT.fx*. 2017. Disponível em: <<http://mqttfx.org/>>. Acesso em: 2017-01-23. 52

DEY, A. K. Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications. *Sensors Peterborough NH*, v. 16, n. November, p. 97–166, 2000. ISSN 07370024. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=932974>>. Acesso em: 2017-01-25. 22

DEY, A. K.; ABOWD, G. D. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. *Computing Systems*, v. 40, n. 3, p. 304–307, 1999. ISSN 00219266. 22

DJUKNIC, G. M.; RICHTON, R. E. Geolocation and assisted GPS. *Computer*, v. 34, n. 2, p. 123–125, 2001. ISSN 0018-9162. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/901174>>. Acesso em: 2017-01-25. 16

DZONE. THE DZONE GUIDE TO THE INTERNET OF THINGS. *DZone*, p. 32, 2015. Disponível em: <<https://dzone.com/guides/internet-of-things-1>>. Acesso em: 2017-01-25. 14

Eclipse Foundation. *eclipse/paho.mqtt-spy: mqtt-spy is an open source desktop and command line utility intended to help you with monitoring activity on MQTT topics*. 2016. Disponível em: <<https://github.com/eclipse/paho.mqtt-spy>>. Acesso em: 2017-01-23. 52

ESP8266.NET. *ESP8266.net home*. 2016. Disponível em: <<http://esp8266.net/>>. Acesso em: 2016-03-29. 14

Espressif Systems. *Home - espressif/ESP8266-AT Wiki*. 2014. Disponível em: <<https://github.com/espressif/ESP8266%5fAT/wiki>>. Acesso em: 2017-01-20. 34

FELDMANN, S. et al. An indoor Bluetooth-based positioning system : concept , Implementation and experimental evaluation. *International Conference on Wireless Networks*, n. JANUARY 2003, p. 109–113, 2003. ISSN 09621105. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/220719209%5fAn%5fIndoor%5fBluetooth-Based%5fPositioning%5fSystem%5fConcept%5fImplementation%5fand%5fExperimental%5fEvaluation>>. Acesso em: 2017-01-25. 23

FERREIRA, L. C. P. *Sistema localizador interior de baixo custo*. 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/6162>>. Acesso em: 2017-01-25. 23, 25, 71

- FRIEDEMANN, M.; FLOERKEMEIR, C. From the Internet to the Internet of Things. *From Active Data Management to Event-Based Systems and More*, p. 242–259, 2011. ISSN 0302-9743. Disponível em: <<http://www.ulb.tu-darmstadt.de/tocs/79304567.pdf>>. Acesso em: 2017-01-25. 21
- FUNDATION, R. *Raspberry Pi Zero: the \$5 computer*. 2015. 2 p. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-zero/>>. Acesso em: 2016-04-19. 14
- GARTNER. *Gartner Says the Internet of Things Will Transform the Data Center*. 2014. 5 p. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/2684616>>. Acesso em: 2016-04-20. 14
- GARTNER. *Gartner Says 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015*. 2015. 1 p. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>>. Acesso em: 2016-03-28. 14
- GITHUB.COM/MQTTJS. *mqttjs/MQTT.js: The MQTT client for Node.js and the browser*. 2016. Disponível em: <<https://github.com/mqttjs/MQTT.js>>. Acesso em: 2017-01-23. 49
- GOOGLE. *Google for Internet of Things*. 2016. 1–5 p. Disponível em: <<https://cloud.google.com/solutions/iot/>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- HOSSAIN, A. K. M. M.; SOH, W.-S. A Comprehensive Study of Bluetooth Signal Parameters for Localization. In: *2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. IEEE, 2007. p. 1–5. ISBN 978-1-4244-1143-6. ISSN 2166-9570. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4394215/>>. Acesso em: 2017-01-25. 23
- IBM. *IBM IoT*. 2016. 1–5 p. Disponível em: <<http://www.ibm.com/internet-of-things/>>. Acesso em: 2016-01-01. 14
- IEEE. *IEEE Standard Association - IEEE Get Program*. 2016. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>>. Acesso em: 2017-01-22. 64, 65
- INTEL. *IoT Solutions / IntelDeveloper Zone*. 2016. 1–4 p. Disponível em: <<https://software.intel.com/en-us/articles/a-fast-flexible-and-scalable-path-to-commercial-iot-solutions>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- International Telecommunication Union. Overview of the Internet of things. *Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks - Frameworks and functional architecture models*, p. 22, 2012. Disponível em: <<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>>. Acesso em: 2017-01-25. 21
- JAMES, M. The Ultimate Scrum Reference Card. *Dzone*, p. 6, 2016. Disponível em: <<https://dzone.com/refcardz/scrum>>. Acesso em: 2017-01-25. 26
- KAUFMANN, A.; DOLAN, K. *Price Comparison: Google Cloud vs AWS*. [S.I.], 2015. 16 p. Disponível em: <<https://cloud.google.com/files/esg-whitepaper.pdf>>. Acesso em: 2017-01-25. 14

- KRANENBURG, R. van. The Sensing Planet: Why The Internet Of Things Is The Biggest Next Big Thing. *Co.CREATE*, p. 1–8, 2012. Disponível em: <<http://www.fastcocreate.com/1681563/the-sensing-planet-why-the-internet-of-things-is-the-biggest-next-big-thing>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- KUIK. *Wifi Distance Calculator - Android Apps on Google Play*. play.google.com, 2016. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kuik.wifi>>. Acesso em: 2017-01-22. 64
- LANZISERA, S.; ZATS, D.; PISTER, K. S. J. Radio Frequency Time-of-Flight Distance Measurement for Low-Cost Wireless Sensor Localization. *IEEE Sensors Journal*, v. 11, n. 3, p. 837–845, mar 2011. ISSN 1530-437X. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5701645/>>. Acesso em: 2017-01-25. 25
- LEMOS, A. A Comunicação das Coisas: Internet das Coisas e Teoria Ator-Rede. p. 1–23, 2013. 14
- mercadolivre.com.br. *Modulo Esp8266 Esp-12e Wireless Wifi em Mercado Livre*. 2017. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-788100073-modulo-esp8266-esp-12e-wireless-wifi>>. Acesso em: 2017-01-20. 30
- mercadolivre.com.br. *Novo Raspberry Pi 3 (pi3) Quadcore 1.2ghz (10x+rapido) 1gb - RS 189,99 em Mercado Livre*. 2017. Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-745485654-novo-raspberry-pi-3-pi3-quadcore-12ghz-10xrapido-1gb>>. Acesso em: 2017-01-20. 36
- MICROSOFT. *The Internet of Your Things*. 2016. Disponível em: <<https://dev.windows.com/en-US/iot>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- MILLER, R. *Wifi-based trilateration on Android / Ryan Miller's Blog*. 2013. Disponível em: <<http://rvmiller.com/2013/05/part-1-wifi-based-trilateration-on-android/>>. Acesso em: 2017-01-25. 64
- MOSQUITTO.ORG. *An Open Source MQTT v3.1 Broker*. 2016. Disponível em: <<http://mosquitto.org/>>. Acesso em: 2017-01-23. 52
- Nghia TH. *IoT MQTT Dashboard - Android Apps on Google Play*. 2016. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.thn.iotmqtdashboard>>. Acesso em: 2017-01-23. 52
- NODEJS.ORG. *Child Process / Node.js v6.9.4 Documentation*. 2016. Disponível em: <<https://nodejs.org/dist/latest-v6.x/docs/api/child%5fprocess.html>>. Acesso em: 2017-01-23. 46
- NODEJS.ORG. *Node.js*. 2016. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 2017-01-22. 46
- NODEJS.ORG. *Stream / Node.js v6.9.4 Documentation*. 2016. Disponível em: <<https://nodejs.org/dist/latest-v6.x/docs/api/stream.html>>. Acesso em: 2017-01-23. 47
- ORACLE. *Oracle IoT*. 2016. 3–5 p. Disponível em: <<https://www.oracle.com/solutions/internet-of-things/index.html>>. Acesso em: 2017-01-25. 14

- PASCALAU, E.; NALEPA, G. J.; KLUZA, K. Towards a Better Understanding of. *Proceedings of the 2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, p. 959–962, 2013. ISSN 1743-9213. 22
- PERLROTH, N. *Hackers Used New Weapons to Disrupt Major Websites Across U.S.* *The New York Times*. 2016. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2016/10/22/business/internet-problems-attack.html>>. Acesso em: 2017-01-20. 39
- RASPBERRY PI FOUNDATION. *Raspberry Pi 3 Model B - Raspberry Pi*. 2016. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 2016-05-16. 24, 36
- ROMÁN, M.; CAMPBELL, R. H. A Model for Ubiquitous Applications. 2001. Disponível em: <<http://www.ncstrl.org:8900/ncstrl/servlet/search>>. Acesso em: 2017-01-25. 23
- ROOM-15. *ESP8266 - AT Command Reference*. 2015. Disponível em: <<https://room-15.github.io/blog/2015/03/26/esp8266-at-command-reference/>>. Acesso em: 2017-01-20. 34
- SOKOLOVSKY, P. *pffalcon/esp-open-sdk: Free and open (as much as possible) integrated SDK for ESP8266/ESP8285 chips*. 2017. 1–4 p. Acesso em: 2017-01-20. 34
- VASISHT, D.; KUMAR, S.; KATABI, D. Decimeter-Level Localization with a Single WiFi Access Point This paper is included in the Proceedings of the Decimeter-Level Localization with a Single WiFi Access Point. *Proceedings of the 13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '16)*, 2016. Disponível em: <<https://www.usenix.org/conference/nsdi16/technical-sessions/presentation/vasisht>>. Acesso em: 2017-01-25. 25
- VUJOVIĆ, V.; MAKSIMOVIĆ, M. Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation. *Computers & Electrical Engineering*, v. 44, p. 153–171, feb 2015. ISSN 00457906. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790615000257>>. Acesso em: 2017-01-25. 23
- VUJOVIC, V. et al. Raspberry Pi as Internet of Things hardware : Performances and Constraints Raspberry Pi as Internet of Things hardware : Performances and Constraints. n. JUNE, 2014. 23
- WEISER, M. The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, v. 265, n. 3, p. 3–11, sep 1999. ISSN 0036-8733. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=329124.329126>>. Acesso em: 2017-01-25. 14
- WIRESHARK.ORG. *Wireshark User's Guide*. 2014. Disponível em: <[https://www.wireshark.org/docs/wsug\\_html/#AppToolstshark](https://www.wireshark.org/docs/wsug_html/#AppToolstshark)>. Acesso em: 2017-01-23. 46
- WOOLF, N. *DDoS attack that disrupted internet was largest of its kind in history, experts say* Technology *The Guardian*. 2016. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet>>. Acesso em: 2017-01-20. 39
- WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. [s.n.], 2015. v. 57. 221–224 p. ISSN 1867-0202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>>. Acesso em: 2017-01-25. 21

Zappy Inc. *zapty/forever-service: Provision node script as a service via forever, allowing it to automatically start on boot, working across various Linux distros and OS.* 2016. Disponível em: <<https://github.com/zappy/forever-service>>. Acesso em: 2017-01-23. 51

Zebra Technologies. *Cidade Jardim Creates Personalized Shopping Experience with Zebra Wireless Solution.* 2016. Disponível em: <<https://www.zebra.com/us/en/about-zebra/newsroom/press-releases/2016/cidade-jardim-creates-personalized-shopping-experience-with-zebra-wireless-solution.html>>. Acesso em: 2017-01-25. 25

# Apêndices



# APÊNDICE A – COMPRAS MERCADO LIVRE

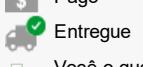
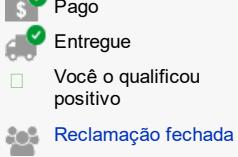
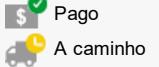
1/20/2017

Compras - Mercado Livre

 <input type="text"/> <span style="color: #ffcc00;">.</span>			
<b>Compras</b>			
Compras:Todas			
<b>Fernando Moreni</b> 11 981029845 <a href="#">Enviar mensagem</a>		Esp8266 Placa Para Soldar - Esp-07, Esp-08, Esp-12, Esp-12e R\$ 3,45 x 5 unidades	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Fernando Moreni</b> 11 981029845 <a href="#">Enviar mensagem</a>		Módulo Esp8266 Esp-12e Wireless Wifi R\$ 14,90 x 5 unidades	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Filipe William Pinto</b> fwp@fwp.com.br 19 3203-6397		Ams1117 3.3v (3.3v) - Lm1117 (10 Unidades) - Frete Grátis R\$ 14,99 x 1 unidade	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> A caminho <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Jose Barreto Da Paixao - Me</b> jkeletronicos1@gmail.com 1156111482		Kit Lentes Celular Fisheye Macro Wide Moto G Z3 S5 Note 4 5c R\$ 6,99 x 1 unidade	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Gabriel Fernandes Dos Santos</b> gblimport10@hotmail.com 11 28879260		Mini Adaptador Wireless Wifi Edup Usb 150mbps Raspberry Pi R\$ 16,88 x 3 unidades	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Michelle Alves</b> rgomes@outlook.com.br 11972329379		Esp-01 - Módulo Transceptor Serial Wifi Esp8266 R\$ 16,80 x 1 unidade	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Vision Adapter</b> 11959463754 <a href="#">Enviar mensagem</a>		Adaptador Usb Serial Ttl Conversor Cp2102 R\$ 20,00 x 1 unidade	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo
<b>Clóvis Fritzen</b> clovisf@gmail.com 47 9204-6606		Conversor Usb Serial Ch340 Rs232 - 3.3v 5v R\$ 6,87 x 1 unidade	<span style="color: #ffcc00;">\$</span> Pago <span style="color: #ffcc00;">🚚</span> Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo

1/20/2017

## Compras - Mercado Livre

<b>Elton Mascarenhas</b> 11 2788 0062 <a href="#">Enviar mensagem</a>		Modulo Esp8266 Nodemcu Wifi Automação Robo Arduino Micro Usb R\$ 35,87 x 1 unidade	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Gabriel Fernandes Dos Santos</b> gblimport10@hotmail.com 11 28879260		Fonte Carregador Original Usb Apple Iphone 3 4 4s Ipad 1 2 R\$ 13,99 x 2 unidades	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Otimos Produtos Comercial Lt..</b> otimosprodutos@globo.com 11964634745		Fonte Carregador 10w 2a Usb Iphone Ipod Ipad Smartphone R\$ 29,89 x 1 unidade	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Gabriel Fernandes Dos Santos</b> gblimport10@hotmail.com 11 28879260		Fonte Carregador Original Usb Apple Iphone 3 4 4s Ipad 1 2 R\$ 13,99 x 1 unidade	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Oscarina Alves De Souza</b> MCNET.COMPRAS@GMAIL.COM 11 95195-3141		Cartão Micro Sdhc 16gb Ultra Sd Sandisk Classe 10 30mb/s R\$ 21,99 x 3 unidades	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Sdtronic Eletronica Ltda</b> atacadistasantaefigenia@gmail.com 113455164		Fonte Usb 5v 2a Celular Gps Android Ipod R\$ 9,90 x 4 unidades	 Pago Entregue <input type="checkbox"/> Você o qualificou positivo Reclamação fechada	<a href="#">Ver detalhe</a>
<b>Mgut Brasil Importação Expor...</b> vendas@blingme.com.br 11 982109658		Novo Raspberry Pi 3 (pi3) Quadcore 1.2ghz (10x+rapido) 1gb R\$ 269,99 x 2 unidades	 Pago A caminho Você não qualificou	<a href="#">Ver detalhe</a>

Copyright © 1999-2017 Ebaazar.com.br LTDA.



# APÊNDICE B – EMAIL ANDROID WIFI DISTANCE CALCULATOR

2/17/2017

Gmail - Wifi Distance Meter



Luís Henrique Puhl <luispuhl@gmail.com>

---

## Wifi Distance Meter

4 messages

**Luís Henrique Puhl** <luispuhl@gmail.com>  
To: kuikiker@gmail.com

Thu, Aug 18, 2016 at 5:53 PM

Hello,

My name is Luís Puhl and I'm a Computer Scientist doing some research on Internet of Things in a university in Brazil called UNESP.

My laboratory is called LITA (<http://www.ltia.fc.unesp.br/>) and my profile is (<http://www.ltia.fc.unesp.br/equipe/luis-puhl/>).

I'm using your android app "Wifi Distance Calculator" (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kuik.wifi>) and got really interested in the way you calculate the distance.

How do you do it? Is there any research about this that I can use as reference in my work?

Thank you for your time.  
Have a great day.

Grato,  
Luís HP Souza

---

**Kuik** <kuikiker@gmail.com>  
To: Luís Henrique Puhl <luispuhl@gmail.com>

Fri, Aug 19, 2016 at 7:39 AM

Hi there,

I used the formula detailed here: [https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space\\_path\\_loss#Free-space\\_path\\_loss\\_in\\_decibels](https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss#Free-space_path_loss_in_decibels)

2/17/2017

Gmail - Wifi Distance Meter

In particular:  $distance = 10 ^ ((27.55 - (20 * \log_{10}(frequency)) + signalLevel)/20)$

However, this formula doesn't take into consideration obstacles, such as walls, and so on.

Regards

[Quoted text hidden]

---

**Luís Henrique Puhl** <luispuhl@gmail.com>  
To: Kuik Kuik <kuikiker@gmail.com>

Fri, Aug 19, 2016 at 11:53 AM

Hello,

I've found via other sources this formula too so it seems the way to go.

I was wondering if someone implemented in other way such as measure round-trip time at the Data Link layer.

Maybe it's not possible for any hardware or it's just too much of a headache to get just a little improvement from measuring time of arrival in each frame.

Thank you for your time and knowledge. Can I cite your app and method in my research paper?

Thanks,  
Luís H Puhl

[Quoted text hidden]

---

**Kuik** <kuikiker@gmail.com>  
To: Luís Henrique Puhl <luispuhl@gmail.com>

Fri, Aug 19, 2016 at 12:56 PM

Sure, you can cite me or my app without problem.

Regards

[Quoted text hidden]