

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA  
URBANA**

**ELOÍSA ALEXANDRE NIELSEN MATTHIESEN**

**PROPOSTA DE ESCOPO DE ENGENHARIA DE IoT  
– Estudos de caso**

**CAMPINAS  
2018**

**ELOÍSA ALEXANDRE NIELSEN MATTHIESEN**

**PROPOSTA DE ESCOPO DE ENGENHARIA DE IoT  
– Estudos de caso**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador. Prof. Dr. Omar Carvalho  
Branquinho

**CAMPINAS  
2018**

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira – CRB 8/8423  
Sistema de Bibliotecas e Informação – SBI – PUC-Campinas

t621.3851 Matthiesen, Eloísa Alexandre Nielsen.  
M443p Proposta de escopo de engenharia de IoT: estudo de casos/ Eloísa  
Alexandre Nielsen Matthiesen.- Campinas: PUC-Campinas, 2018.  
97f.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho.  
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Cam-  
pinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias Progra-  
ma de Pós-Graduação em Infraestrutura Urbana.  
Inclui anexo e bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Tecnologia da informação. 3.  
Engenheiros. I. Branquinho, Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade  
Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de  
Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura Urbana. III.  
Título.

CDD - 22. ed. t621.3851

**ELOISA ALEXANDRE NIELSEN MATTHIESEN**


**PROPOSTA DE ESCOPO DE ENGENHARIA DE IOT -  
ESTUDOS DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

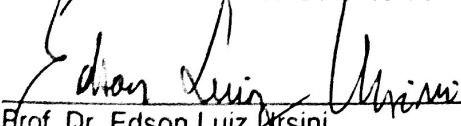
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Omar Carvalho Branquinho.

Dissertação defendida e aprovada em 05 de dezembro de 2018 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Lia Lorena Pimentel  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edson Luiz Arsini  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer meus pais por terem me apoiado esses anos. Ao meu irmão, Érico, e ao meu namorado, Rene, por terem aguentado meus nervos a flor da pele toda vez que um teste dava errado.

Ao Prof. Omar Branquinho, que não desistiu de mim mesmo eu não “saindo da moita”. E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de dedicação integral, me permitindo dar o meu melhor nesse mestrado.

Aos meus colegas de grupo, Montali, Pedro, Guilherme, Déo. A empresa IoTools. A ajuda de vocês foi imprescindível.

Aos funcionários da Universidade que me auxiliaram nos testes de campo, Ronaldo Tadeu Geraldelli, Maria Cristina P. Zullo, Prof. Álvaro Francato, Marinaldo Cirilo, Reginaldo Assis De Paula e Samuel Ferracioli. Ao técnico do Laboratório Eduardo Veiga por todo suporte necessário durante o mestrado.

“O jeito mais eficiente de fazer algo é fazendo”  
Amelia Earhart

## RESUMO

MATTHIESEN, Eloísa Alexandre Nielsen. PROPOSTA DE ESCOPO DE ENGENHARIA DE IoT – Estudos de caso. 2018. 94 f. Projeto de pesquisa, Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

A Internet das Coisas (*Internet of Things, IoT*) está cada vez mais se tornando uma realidade, impactando na vida e nos hábitos de seus usuários. O conceito da IoT é a conexão, de objetos entre si e com as pessoas, através da Internet, esses objetos podem monitorar grandezas ou tomar decisões autônomas. Suas principais aplicações são nas áreas de: saúde, agricultura, manufatura, segurança e infraestrutura urbana. Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) possibilitou a comunicação entre dispositivos de forma segura, no entanto ainda persiste a carência de estudos utilizando RSSF para IoT. O objetivo deste trabalho é definir o papel do engenheiro de IoT, que abrange quatro vertentes. A primeira sendo a coleta dos dados, seu tratamento e suas especificações. A segunda é a comunicação da rede, o desenvolvimento de RSSF que atendam aos requisitos da IoT. A terceira é a interface entre os dados recebidos e a Internet, essa gerência é realizada pelo *IoT Proxy Manager*. A quarta vertente trata da exibição das grandezas na Internet, utilizando uma plataforma de *middleware*. O trabalho apresenta as principais abordagens que o engenheiro de IoT deve desenvolver, por meio de resultados obtidos por testes experimentais em campo, testando diferentes protocolos e definindo esse escopo.

**Palavras Chave:** Rede de Sensores Sem Fio, RSSF, engenheiro de IoT, topologia de rede, protocolo de rede, repetidor de sinal, internet das coisas.

## ABSTRACT

MATTHIESEN, Eloísa Alexandre Nielsen. IoT ENGINEER SCOPE PROPOSAL – Case studies. 2018. 94 p. Master thesis, Master program in Systems of Urban Infrastructure, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

The Internet of Things (IoT) is increasingly becoming a reality, impacting on the lives and habits of its users. The concept of IoT covers the connection between people and everyday objects through the Internet, such objects can monitor values or make autonomous decisions. The service areas that use IoT are health, agriculture, manufacturing, security and urban infrastructure, among others. In recent years a technology that has allowed the IoT to advance is the Wireless Sensor Network (WSN), allowing secure communication between devices. Brazil still lacks studies using WSN for IoT. The objective of this work is to define the role of the IoT engineer, which covers four aspects. The first one being data collection, its treatment and its specifications, the second is the communication of the network, the development of an WSN that meets the requirements of IoT. The third is the interface between the data received and the Internet, this management is performed by IoT Proxy Manager, and finally the fourth aspect covers the display of the information on the Internet, using a middleware platform. The work demonstrates the need for an IoT engineer, through results obtained by experimental tests in the field, testing different protocols and defining this scope.

**Keywords:** Wireless Sensor Network, WSN, IoT engineer, network topology, network protocol, signal repeater, Internet of Things.



## LISTA DE SIGLAS

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| ANATEL             | – | Agência Nacional de Telecomunicações                                    |
| <i>BLE</i>         | – | <i>Bluetooth Low Energy</i>   |
| CEPAGRI            | – | Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura |
| CPqD               | – | Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações                |
| ERB                | – | Estação Rádio Base  |
| ERB – R            | – | RSSI <i>downlink</i> do Nó Repetidor                                    |
| ID                 | – | Identificação   |
| IEEE               | – | Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos                     |
| <i>IETF</i>        | – | <i>Internet Engineering Task Force</i>                                  |
| <i>IoT</i>         | – | <i>Internet of Things</i>   |
| <i>IP</i>          | – | <i>Internet Protocol</i>  |
| <i>ISM</i>         | – | <i>Industrial Scientific and Medical</i>                                |
| ITU                | – | União Internacional de Telecomunicações                                 |
| <i>LNA</i>         | – | <i>Low Noise Amplifier</i>  |
| <i>LOS</i>         | – | <i>Line of Sight</i>  |
| <i>LPWAN</i>       | – | <i>Low Power Wide Area Network</i>                                      |
| <i>LQI</i>         | – | <i>Link Quality Indicator</i>   |
| <i>LR-WPAN</i>     | – | <i>Low-Rate Wireless Personal Area Network</i>                          |
| <i>MAC</i>         | – | <i>Media Access Control</i>   |
| <i>PA</i>          | – | <i>Power Amplifier</i>  |
| <i>PER</i>         | – | <i>Packet Error Rate</i>  |
| <i>QoS</i>         | – | <i>Quality of Service</i>   |
| R – ERB            | – | RSSI <i>uplink</i> da ERB   |
| R – S <sub>n</sub> | – | RSSI <i>downlink</i> do Nó Sensor                                       |
| RF                 | – | Radiofrequência   |
| RSSF               | – | Rede de Sensores Sem Fio  |
| <i>RSSI</i>        | – | <i>Received Signal Strength Indicator</i>                               |
| <i>SCOM</i>        | – | <i>Microsoft System Center 2012 Operations Manager</i>                  |
| <i>SLA</i>         | – | <i>Service Level Agreement</i>  |
| <i>SMA</i>         | – | <i>SubMiniature version A</i>   |
| S <sub>n</sub> – R | – | RSSI <i>uplink</i> do Nó Repetidor                                      |
| <i>TCP/IP</i>      | – | <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>                  |
| <i>TMN</i>         | – | <i>Telecommunications Management Network</i>                            |

|             |   |                                       |
|-------------|---|---------------------------------------|
| <i>USB</i>  | – | <i>Universal Serial Bus</i>           |
| <i>VNA</i>  | – | <i>Vector Network Analyzer</i>        |
| <i>VWC</i>  | – | <i>Volumetric Water Content</i>       |
| <i>WAN</i>  | – | <i>Wide Area Network</i>              |
| <i>WLAN</i> | – | <i>Wireless Local Area Network</i>    |
| <i>WPAN</i> | – | <i>Wireless Personal Area Network</i> |
| <i>WSN</i>  | – | <i>Wireless Sensor Network</i>        |

# SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivo   | 2         |
| 1.2      | Organização do trabalho  | 2         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                   | <b>3</b>  |
| 2.1      | Gerência   | 3         |
| 2.2      | Estrutura básica de uma aplicação IoT                          | 4         |
| 2.3      | Propagação   | 5         |
| 2.3.1    | Espaço livre   | 5         |
| 2.3.2    | Log-distance   | 6         |
| 2.3.3    | Log-normal   | 7         |
| 2.4      | Soluções de redes sem fio para IoT                             | 7         |
| 2.4.1    | Wi-Fi  | 7         |
| 2.4.2    | Bluetooth  | 8         |
| 2.4.3    | Zigbee   | 8         |
| 2.4.4    | SigFox   | 9         |
| 2.4.5    | LoRa e LoRaWAN   | 10        |
| 2.4.6    | BE900 e BE990  | 10        |
| 2.4.7    | Considerações finais sobre as soluções de rede para IoT        | 11        |
| 2.5      | IoT Proxy Manager  | 11        |
| 2.6      | Plataformas de <i>middleware</i>                               | 12        |
| 2.6.1    | Tago   | 12        |
| 2.6.2    | DoJot  | 13        |
| 2.6.3    | Zabbix   | 13        |
| 2.6.4    | Konker   | 14        |
| 2.6.5    | Considerações finais sobre as plataformas de <i>middleware</i> | 14        |
| 2.7      | Modelo de referência   | 14        |
| <b>3</b> | <b>REQUISITOS PARA UMA ENGENHARIA DE IOT</b>                   | <b>16</b> |
| 3.1      | Modelo de referência   | 16        |
| 3.2      | Engenheiro de IoT  | 18        |
| 3.3      | Framework  | 20        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS</b>   | <b>22</b> |
| 4.1      | Nível 1 - Sensores   | 22        |
| 4.2      | Nível 2 - Especificações técnicas da ERB e dos Nós Sensores    | 23        |
| 4.3      | Nível 2 - Especificações das antenas                           | 24        |
| 4.4      | Nível 1 e 2 - <i>Firmware</i>                                  | 26        |
| 4.5      | Nível 3 - Especificações do IoT Proxy Manager                  | 27        |
| <b>5</b> | <b>MÉTODOS</b>   | <b>29</b> |
| 5.1      | Definição dos usuários   | 29        |
| 5.2      | Nível 2 - Aferição dos módulos de comunicação                  | 30        |
| 5.2.1    | Ajuste do offset   | 30        |
| 5.2.2    | Verificação da potência de transmissão                         | 31        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.2.3    | Verificação do medidor de potência de recepção.....          | 35        |
| 5.3      | Nível 2 - Desenvolvimento dos protocolos de roteamento ..... | 35        |
| 5.3.1    | Primeiro protocolo de roteamento .....                       | 35        |
| 5.3.2    | Segundo protocolo de repetição.....                          | 38        |
| 5.4      | Nível 2 - Testes da rede .....                               | 40        |
| 5.4.1    | Teste 1 .....  | 40        |
| 5.4.2    | Teste 2 .....  | 43        |
| 5.4.3    | Teste 3 .....  | 46        |
| <b>6</b> | <b>RESULTADOS E ANÁLISE .....</b>                            | <b>48</b> |
| 6.1      | Estudo de propagação .....                                   | 48        |
| 6.2      | RSSI do Teste 1 .....  | 50        |
| 6.3      | Teste 2 .....  | 56        |
| 6.3.1    | Grandezas do Teste 2.....                                    | 57        |
| 6.3.2    | RSSI do Teste 2 .....  | 60        |
| 6.4      | Teste 3 .....  | 62        |
| 6.4.1    | Grandezas do Teste 3.....                                    | 63        |
| 6.4.2    | RSSI do Teste 3.....   | 65        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                       | <b>69</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                      | <b>71</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....</b>                        | <b>75</b> |
|          | <b>APÊNDICE B – TESTES 2 E 3 .....</b>                       | <b>77</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Internet das Coisas, ou *Internet of Things (IoT)* está se tornando uma realidade. Através de sensores, objetos comuns se tornam objetos inteligentes, monitorando variações ambientais, como temperatura, umidade e luminosidade, tomando decisões autônomas a fim de facilitar a vida do usuário (AL-FUQAHA et al., 2015).

As tecnologias IoT podem ser usadas em diversas aplicações, como saúde, automação de residências, carros autônomos, *smartgrids*, cidades inteligentes e campus inteligente. O campus inteligente utiliza os mesmos conceitos de uma cidade inteligente, mas em menor uma escala (ABUARQOUB et al., 2017).

O objetivo de tornar o campus inteligente é conceder uma melhor qualidade de vida e conforto para os alunos e funcionários, podendo também tornar a universidade mais sustentável. Ao monitorar recursos, como energia, água, esgoto e lixo é possível realizar mudanças tornando o sistema mais eficiente, evitando desperdícios e gerando economias (KUMAR; SABA; SRIRAKSHA, 2017).

Uma tecnologia que pode ser utilizada para realizar a comunicação de um campus inteligente é a Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), ou *Wireless Sensor Network (WSN)*. O responsável por essa rede é o operador de RSSF, monitorando as grandezas e gerenciando os dados obtidos. O operador deve garantir a performance e a conectividade da rede, atendendo métricas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service, QoS*), para cumprir o Contrato do Nível de Serviço, ou *Service Level Agreement (SLA)* (GAILLARD et al., 2014).

O operador de RSSF está encarregado de definir como será feita a rede, quais os *hardwares* e *softwares* utilizados, mas não é responsável pelo objetivo da rede, para qual finalidade ela será desenvolvida. Sem o “pra quê”, o “como” se torna dispensável.

Assim, é preciso um profissional que consiga fazer essa interface, alguém encarregado por conversar com o “cliente” da rede, averiguando suas necessidades e desenvolvendo um protocolo de comunicação que seja mais adequado para ele. Este profissional também realizará a gerência da rede utilizando um *IoT Proxy Manager*, como por exemplo o apresentado por Oliveira (2016).

Esse profissional que irá interligar o negócio com a sua aplicação será chamado, neste trabalho, de Engenheiro de IoT. O objetivo não é criar um curso novo de engenharia, mas sim propor uma nova modalidade da Engenharia Elétrica ou de Telecomunicações. Nela o aluno se prepara para interagir com outras áreas, coletar as demandas e apresenta novas possibilidades de monitoração e de como mapear uma RSSF visando o “como” e o “para quê”.

### **1.1 Objetivo**

O principal objetivo do trabalho foi definir o papel do Engenheiro de IoT. Para isso foram criados cenários reais, onde foi exercitada a necessidade desse novo profissional, estabelecendo usuários da rede, averiguando suas necessidades e assim desenvolvendo uma RSSF para atendê-las, realizando uma gerência da rede e dos dados.

Para cada cliente foram realizados testes, medindo grandezas como temperatura, umidade do ar e do solo e exibindo esses dados em uma plataforma na Internet.

### **1.2 Organização do trabalho**

Este trabalho está organizado em capítulos. No Capítulo 2 há uma Revisão da Literatura das áreas envolvidas no projeto, o Capítulo 3 apresenta uma Proposta conceitual. O desenvolvimento está descrito nos Capítulos 4 e 5 apresentando os Materiais e Métodos, e no Capítulo 6 há os Resultados e sua análise. Por fim, o Capítulo 7 finaliza a dissertação com a Conclusão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse trabalho tratará das áreas funcionais da gerência, também na estrutura básica de uma aplicação IoT, focando na RSSF, um elo fraco da IoT. Trará uma breve introdução sobre modelos de propagação, soluções de rede sem fio para IoT, sobre o IoT Proxy Manager, plataformas *middleware* e o modelo de referência.

### 2.1 Gerência

Devido ao crescimento das redes e à sua crescente importância na sociedade é necessário tratar da sua gerência. Dependendo do seu tamanho é imprescindível o uso de ferramentas autônomas de gerência (STALLINGS; ADDISON-WESLEY, 1996).

A União Internacional de Telecomunicações (ITU) padronizou a Rede de Gerência de Telecomunicações (*Telecommunications Management Network, TMN*) (ITU-T, 2000) classificando as seguintes áreas funcionais de gerenciamento:

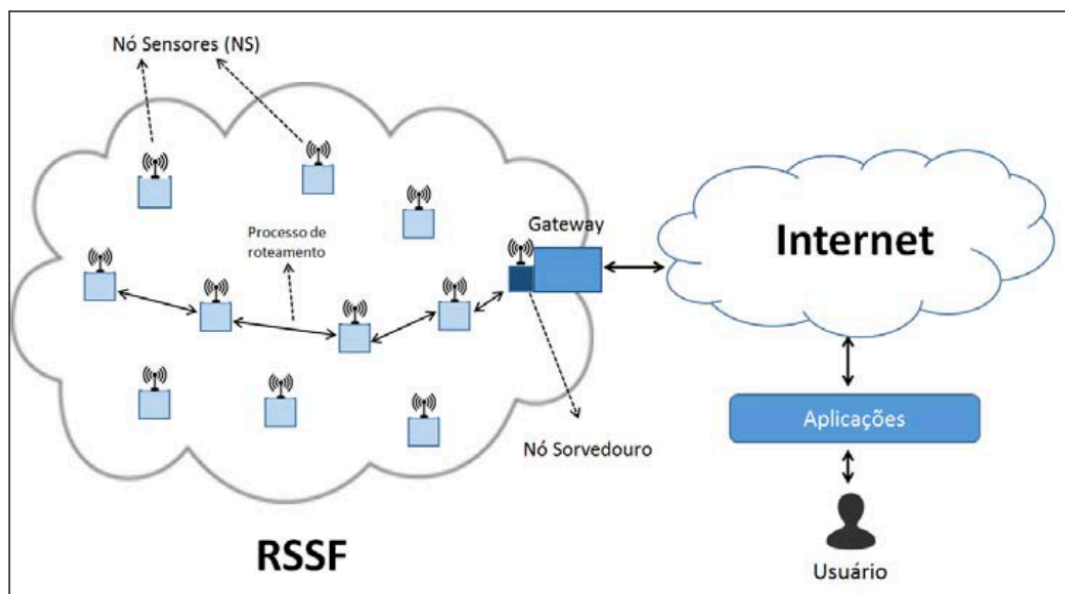
- Gerenciamento de configurações: Estabelece os parâmetros de início do sistema, para qual fim o dispositivo será utilizado.
- Gerenciamento de desempenho: Abrange monitoramento e controle. O monitoramento rastreia as atividades do sistema e o controle realiza ajustes para manter e melhorar a sua performance.
- Gerenciamento de falhas: Todos os componentes do sistema devem estar funcionando perfeitamente e quando ocorrer uma falha é preciso determinar onde ela está, isolar a falha para não afetar todo o sistema para assim repará-la.
- Gerenciamento de segurança: Essa parte é responsável por proteger informações e controlar o acesso.
- Gerenciamento de contabilidade: Há redes corporativas que são cobradas pelos serviços usados na rede, por isso é necessário poder rastrear como cada usuário está usando a rede e verificar se não há abuso de privilégio ou uso ineficiente (STALLINGS; ADDISON-WESLEY, 1996).

## 2.2 Estrutura básica de uma aplicação IoT

Uma RSSF monitora as condições do ambiente que a cerca por meio de variados sensores e transmite esses dados sem a utilização de fios. As principais aplicações das RSSF são: militar, meio-ambiente, saúde, residencial e industrial (AKYILDIZ; VURAN, 2010).

A Figura 1 mostra os elementos de uma aplicação IoT, composta de uma RSSF, um “gateway” e um envio para Internet e os resultados da aplicação. Os Nós Sensores são responsáveis por coletar informações do meio e enviar para o Nó Sorvedouro. Esse, por sua vez, recebe as informações e está ligado ao *gateway*, que conecta a RSSF à Internet, isso pode ser feito através de Ethernet, Wi-Fi ou *Universal Serial Bus (USB)*. Ao utilizar o termo Nó Sorvedouro se entende que o seu único objetivo é de apenas absorver os dados, mas a sua capacidade vai além disso, por isso durante o trabalho foi adotado o termo Estação Rádio Base (ERB).

Figura 1 – Componentes de uma RSSF.



Fonte: Retirado de Oliveira (2016).

Além dos módulos de comunicação, o bom funcionamento das RSSF também se deve às antenas utilizadas. A antena é um condutor que capta um sinal guiado (comunicação por fio) e o transforma em um sinal não guiado (transmissão pelo ar). As características de uma antena são determinadas pelo diagrama de irradiação da mesma. (BRANQUINHO, 2014).



## 2.3 Propagação

A transmissão nas redes sem fio é diferente das redes cabeadas, entre o transmissor e o receptor o caminho pode ter linha de visada (*Line Of Sight, LOS*) onde não há obstáculos entre eles ou pode estar obstruída, com prédios e montanhas, tornando a comunicação precária. Os modelos de propagação, estudados em Rappaport (2002), foram desenvolvidos ao longo dos anos para estimar a intensidade do sinal a uma certa distância.

### 2.3.1 Espaço livre

Quando há LOS entre os dispositivos, é utilizado o modelo de propagação no espaço livre, dado pela Equação (1).

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

Onde  $P_r$  é a potência de recepção em relação à distância  $d$  em metros,  $P_t$  é a potência de transmissão,  $G_t$  e  $G_r$  representam o ganho da antena de transmissão e recepção, respectivamente,  $L$  é o fator de perda do sistema ( $L \geq 1$ ) e  $\lambda$  é o comprimento da onda em metros.

O comprimento de onda dado pela Equação (2).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz, uma constante igual a 300.000.000 m/s e  $f$  é a frequência dada em Hz. O *path loss* representa a atenuação do sinal no espaço livre, dada em dB, pela Equação (3).

$$PL(d)[dB] = -10 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (3)$$

Aplicando a propriedade do logaritmo é possível encontrar a potência de recepção em dBm, pela Equação (4).

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] + G_t[dBm] + G_r[dBm] - PL(d)[dBm] \quad (4)$$

A Equação 1 só é verdadeira quando  $d$  é maior que 0, por isso em modelos de larga escala é necessário medir a potência recebida a uma pequena distância do transmissor, conhecida como  $d_0$ , essa distância deve ser menor que dez vezes a distância  $d$ . A potência de recepção em  $d_0$  é dada pela Equação (5).

$$P_r(d_0)[\text{dBm}] = P_t[\text{dBm}] + G_t[\text{dBm}] + G_r[\text{dBm}] - PL(d_0)[\text{dBm}] \quad (5)$$

### 2.3.2 Log-distance

O modelo de *log-distance* é outro método determinístico. Ele é usado para caracterizar o ambiente e considera que a potência média recebida decresce logaritmicamente com o aumento da distância. Nesse caso, a potência recebida,  $P_r(d)$ , pode ser calculada por meio da Equação (6).

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 10\eta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (6)$$

Por meio da Equação (5) é possível deduzir a Equação 7. A variável  $\eta$  é o expoente do *path loss* que identifica o tipo do ambiente. E pode ser consultada na Tabela 1.

$$\eta = \frac{P_r(d_0) - P_r(d)}{10 \log\left(\frac{d}{d_0}\right)} \quad (7)$$

**Tabela 1** – Expoente do *path loss* em diferentes ambientes

| Ambiente                  | Expoente do <i>path loss</i> , $\eta$ |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Espaço Livre              | 2                                     |
| Área aberta urbana        | 2,7 a 3,5                             |
| Área aberta sombreada     | 3 a 5                                 |
| Área fechada, em LOS      | 1,6 a 1,8                             |
| Obstruído em área fechada | 4 a 6                                 |
| Obstruído em fábricas     | 2 a 3                                 |

### 2.3.3 Log-normal

O modelo *log-distance* não considera que o ambiente pode ser muito diferente mesmo quando a distância é a mesma. Estudos mostram que a qualquer valor de  $d$ , o *path loss* nesse local é aleatório e gera um fator de atenuação. Ele segue a Equação (8).

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 10\eta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (8)$$

Como pode ser visto, a diferença entre a Equação (6) e a Equação (8) é o elemento  $X_\sigma$ , uma variável aleatória log-normal com média nula e desvio padrão  $\sigma$ , ambos medidos em dB. Na prática, os valores de  $\eta$  e  $\sigma$  são medidos usando regressão linear.

Por meio desses conceitos de propagação é possível realizar um estudo antes da rede ser implementada, realizando um *link budget*, que é o cálculo final das potências do sistema.

## 2.4 Soluções de redes sem fio para IoT

O número de protocolos existentes utilizados em RSSF visando a IoT é uma área em crescimento. Esse tópico traz os principais protocolos, como o Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, SigFox, LoRa, LoRaWAN e BE900/BE990.

### 2.4.1 Wi-Fi

Com o crescimento das transmissões sem fio foi criado em 1997 o padrão IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) 802.11, que especifica as características da Rede de Área Local Sem Fio (*Wireless Local Area Network*, WLAN). O selo Wi-Fi segue esse padrão e tem sido muito utilizado (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2016; WI-FI ALLIANCE, 2009)

Esse padrão define as transmissões a 2,4GHz/5GHz e apresenta uma simplicidade aos usuários na criação de WLANs. Essa facilidade está tornando essas frequências saturadas causando interferência de sinal. Há um novo padrão chamado 802.11a que utiliza as frequências abaixo de 1GHz, tornando o alcance maior, de até 1 km (AKEELA; ELZIQ, 2017).

### 2.4.2 Bluetooth

Outro padrão desenvolvido foi o IEEE 802.15 que especifica as características da Rede de Área Pessoal Sem Fio (*Wireless Personal Area Network*, WPAN). O Bluetooth segue o padrão IEEE 802.15.1 (BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP, [s.d.]; IEEE COMPUTER SOCIETY, 2005).

Recentemente, o Bluetooth lançou uma nova tecnologia conhecida como Bluetooth 4.0 ou *Bluetooth Low Energy* (BLE), onde a conectividade dos aparelhos pode ser ponto-a-ponto, *broadcast* (um dispositivo se conecta a vários) e *mesh* (vários dispositivos se conectam a vários dispositivos) (BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP, [s.d.]).

Em Menegotto (2015) foram realizados testes utilizando dispositivos que emitem sinais de radiofrequência (RF) chamados de *beacons*, com a tecnologia BLE. O objetivo do trabalho foi realizar o sensoriamento de uma edificação de grande porte, mas devido à flutuação de sinal, os resultados não foram confiáveis. Outro problema apresentado pelo autor foi a pequena distância entre os dispositivos, de cerca de 10 m, tornando o sensoriamento de uma grande área inviável.

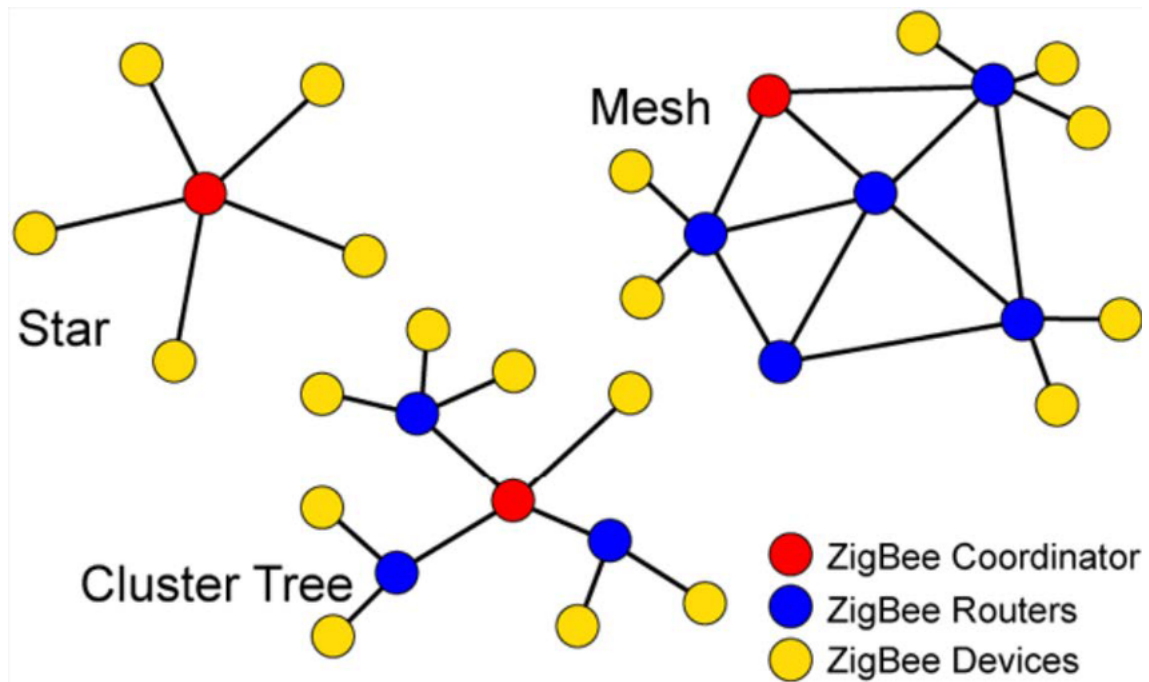
### 2.4.3 Zigbee

Já o padrão IEEE 802.15.4 especifica as características para WPANs transmitindo com baixa taxa, também conhecido como LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*) (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2011).

O Zigbee utiliza o padrão 802.15.4 e adiciona mais duas camadas, utilizando-as para encriptação para segurança, roteamento e possibilitando vários tipos de topologias, como a Estrela (“Star”), Malha (“Mesh”) e Árvore (“Cluster Tree”), que podem ser vistas na Figura 2.

O Coordenador ZigBee, em vermelho, inicia a comunicação e possui conhecimento de toda a rede, os Roteadores ZigBee, em azul, conectam os Nós, e são responsáveis pelos multsaltos, podendo funcionar como um Nó Repetidor. E os Dispositivos ZigBee, em amarelo, realizam as funções da rede, como monitoramento de grandezas (HAO; FOSTER, 2008).

Figura 2 – Topologias do Zigbee.



Fonte: Retirado de Hao e Foster (2008).

Um das dificuldades apresentadas pelo Zigbee, citado por Li *et al.* (2011), é a baixa quantidade de dados e taxa de transmissão, sua cobertura chega até 75 m, enquanto o Wi-Fi já mencionado, utilizando a mesma faixa de frequência, consegue uma maior distância, teoricamente.

#### 2.4.4 SigFox

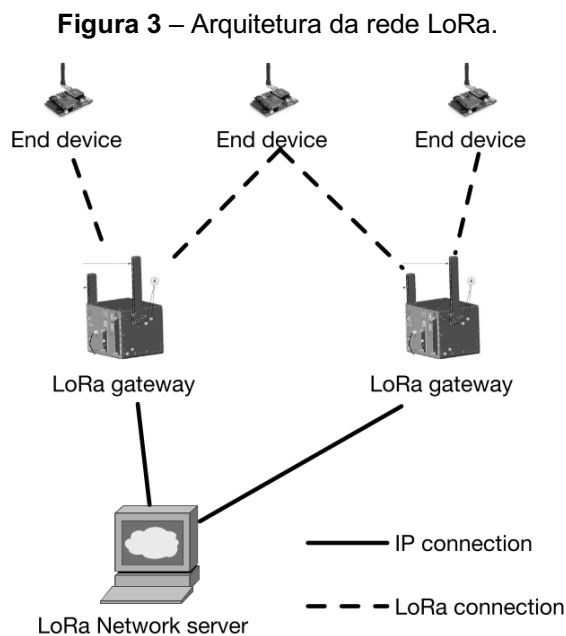
Quando é necessário abranger uma grande área são utilizadas as Redes de Longas Distâncias (*Wide Area Networks*, WAN). Também existem as redes de longas distâncias que utilizam baixa potência, as LPWANs (*Low Power Wide Area Networks*) que utilizam menos energia (RAZA; KULKARNI; SOORIYABANDARA, 2017)

SigFox utiliza essa tecnologia, a empresa é uma operadora de rede que oferece a solução de IoT patenteada de ponta a ponta. Sua comunicação é feita por meio de frequências não licenciadas, que são reservadas para o desenvolvimento Industrial, Científico e Médico (*Industrial Scientific and Medical, ISM*). Por ser um serviço, o número de mensagens é limitado a 140 mensagens diárias de no máximo 12 bytes cada. O que torna essa solução viável para aplicações que não necessitam de coleta diária extensa (MEKKI *et al.*, 2018).

### 2.4.5 LoRa e LoRaWAN

Outra tecnologia da LPWAN é o LoRa, que também opera em frequências ISM. Seu protocolo de comunicação LoRaWAN foi padronizado pela LoRa-Alliance em 2015. Cada mensagem transmitida por um dispositivo é recebida por todas as bases no alcance, reduzindo as possíveis perdas das mensagens, mas a necessidade de múltiplas bases pode encarecer o sistema (MEKKI et al., 2018).

LoRa opera nas frequências 433, 868 ou 915 MHz (todas ISM), dependendo da região onde está sendo utilizado. Cada mensagem varia de 2 a 255 bytes e a taxa pode chegar a 50 kbps. A empresa Semtech é dona da técnica de modulação utilizada, mas o LoRaWAN é um padrão aberto desenvolvido pela LoRa Alliance. A arquitetura utilizada no LoRa pode ser vista na Figura 3 (AUGUSTIN et al., 2016).



Fonte: Retirado de Augustin *et al.*, (2016).

### 2.4.6 BE900 e BE990

Os módulos de comunicação BE900 e BE990 também são considerados LPWAN e operam nas frequências ISM. Ambos utilizam um micro controlador ATmega328, um transceptor CC1101, e no caso do BE990 um amplificador CC1190 (integrando um Amplificador de Potência (*Power Amplifier, PA*) e um Amplificador de Baixo Ruído (*Low Noise Amplifier, LNA*)) (TEXAS INSTRUMENTS, [s.d.]).

Essa é uma tecnologia nacional e atende as regulamentações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), os módulos utilizam uma plataforma *open-source*, tornando fácil a implementação de novos protocolos de comunicação e diferentes topologias de rede.

#### **2.4.7 Considerações finais sobre as soluções de rede para IoT**

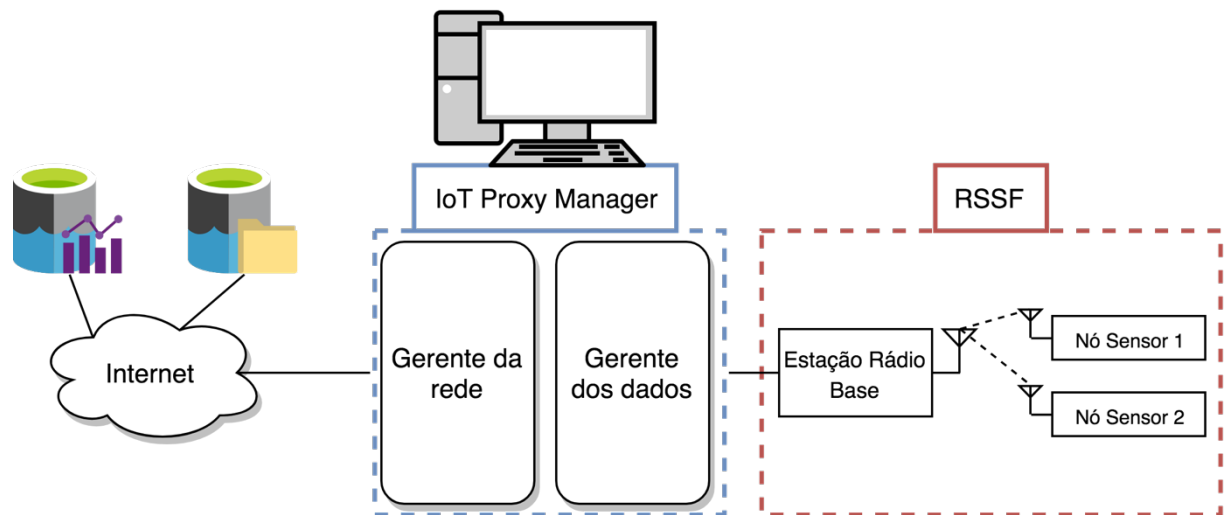
Como pode ser visto, há muitas soluções disponíveis atualmente para viabilizar a conectividade dos dispositivos em IoT, cada uma possui seu mérito e é adequada para certos tipos de aplicações. Na literatura é possível encontrar diferentes valores para distâncias alcançadas por essas tecnologias, pois não é apenas o protocolo adotado que afeta esse valor, a potência dos transmissores, a antena utilizada e o meio onde o teste foi realizado também contribuem para a estimativa do alcance. Devido ao fato da sua plataforma ser *open-source* foi escolhida a solução BE900 e BE990 nesse trabalho.

### **2.5 IoT Proxy Manager**

Como foi apresentado no item 2.2, o *gateway* a princípio é apenas uma “porta de entrada” onde os dados são repassados entre a ERB e a Internet. Foi exposto por Oliveira (2016) que a RSSF possui limitações como falta de capacidade computacional e de “hosts”, necessitando de uma plataforma de gerenciamento no *gateway*. Ao avaliar os dados recebidos e a infraestrutura da rede, essa plataforma foi nomeada *Proxy Manager*.

O *Proxy Manager* realiza três funções: Coleta e tratamento dos dados, interface entre os dados e a Internet e a aplicação na Internet, assim nesse trabalho esse elemento de borda foi denominada *IoT Proxy Manager*. Oliveira (2006) também propôs a estrutura como um todo, vista na Figura 4.

**Figura 4** – Diagrama em blocos da estrutura da rede



Fonte: Adaptado de Oliveira (2016) e de Déo; Branquinho (2017).

Os elementos do sistema são: a RSSF; o *IoT Proxy Manager*, que realiza a conexão à Internet; e uma plataforma na nuvem, possuindo um banco de dados e a análise estatística dos mesmos.

No *IoT Proxy Manager*, há o Gerente da Rede, responsável por monitorar e controlar a rede, os parâmetros do sistema são inseridos através dele (STALLINGS; ADDISON-WESLEY, 1996). Também há o Gerente dos Dados que realiza cálculos estatísticos e tratamento dos dados. Ambas gerências são realizadas por meio de um *script* Python.

## 2.6 Plataformas de *middleware*

Middleware em inglês significa localizado no meio, entre duas coisas. O papel do *middleware* é de conectar dois sistemas, facilitando a comunicação deles. Cada negócio necessita de uma plataforma de *middleware* específica, nem todas podem ser aplicadas em qualquer cenário (DA CRUZ et al., 2018).

Nessa seção serão apresentadas algumas plataformas disponíveis onde os dados são exibidos, trazendo gráficos e análises dos mesmos.

### 2.6.1 Tago

A Tago é uma plataforma para a gerência de dispositivos, armazenando os dados e os analisando. Possui um aplicativo de fácil manuseio, também possibilitando sua integração com outros serviços. A plataforma possui três tipos de pacotes: o Free



(\$0/mês), para desenvolvedores e estudantes que focam no Tago para web; o Starter (\$49/mês), para desenvolvedores e empresas que pretendem utilizar aplicativos; e o Scale (\$99/mês) para empresas prontas que pretendem ampliar seus aplicativos e otimizar suas operações (TAGO, [s.d.]).

Alves (2017) utilizou a plataforma para analisar a temperatura e a umidade do ar, a luminosidade, distâncias entre pontos e coordenadas geográficas por GPS para monitoramento de remanescentes florestais urbanos por meio de um veículo não tripulado. O autor optou pela opção gratuita que disponibiliza a visualização até 5 gráficos, mas devido a essa limitação foi necessária a criação de um *script* para descartar os gráficos antigos e assim dar espaço aos gráficos mais recentes.

### 2.6.2 DoJot

Uma plataforma brasileira recentemente lançada é a DoJot, desenvolvida pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), ela tem uma proposta *open-source*. A DoJot propõe a conexão e a coleta de dispositivos, construção de fluxos de dados de forma visual e processamento em tempo real (DOJOT, 2017).

A plataforma dispõe de um site com toda a sua documentação e todos os componentes necessários estão disponíveis no repositório GitHub (CPQD, 2018). Por ser uma iniciativa nova, não há na literatura artigos ou dissertações utilizando essa plataforma.

### 2.6.3 Zabbix

Ao contrário dos dois últimos itens, o Zabbix não é apenas uma plataforma, é um *software* feito para o monitoramento de métricas coletadas de servidores, máquinas virtuais e dispositivos de rede. Foi desenvolvido visando a gerência de computadores, mas agora está sendo adaptada para a IoT (DÉO; BRANQUINHO, 2017).

Marik e Zitta (2014) comparam sistemas de monitoramento em uma pequena rede de fibra óptica. Foram contemplados dois sistemas comerciais e dois livres (Zabbix e Cacti). O trabalho considerou o preço, os requisitos do sistema, a velocidade de resposta, métodos de notificação, entre outros. O Zabbix ficou em

segundo lugar, atrás do sistema comercial *Microsoft System Center 2012 Operations Manager* (SCOM 2012).

#### **2.6.4 Konker**

A Plataforma Konker IoT (PaaS) é outra solução brasileira que ajuda negócios de múltiplos segmentos. Ela utiliza tecnologias *open-source* e possui parceiros para ajudar o usuário em todo o processo de implantação da solução IoT.

A Konker disponibiliza quatro tipos de pacotes em sua plataforma. O Free para testes e prototipação que limita a 5 dispositivos e a retenção de dados por três meses. O Standard por R\$1,99/dispositivo para dispositivos que enviam baixo volume de dados, não há limite de dispositivos e a retenção de dados é de 1 ano. Caso o dispositivo envie mais que 1 MB por dia, o plano se torna o Corporate passa para R\$5,99/dispositivo. Para armazenamento de dados ilimitados é necessário contatar a empresa para valores (KONKER, [s.d.]

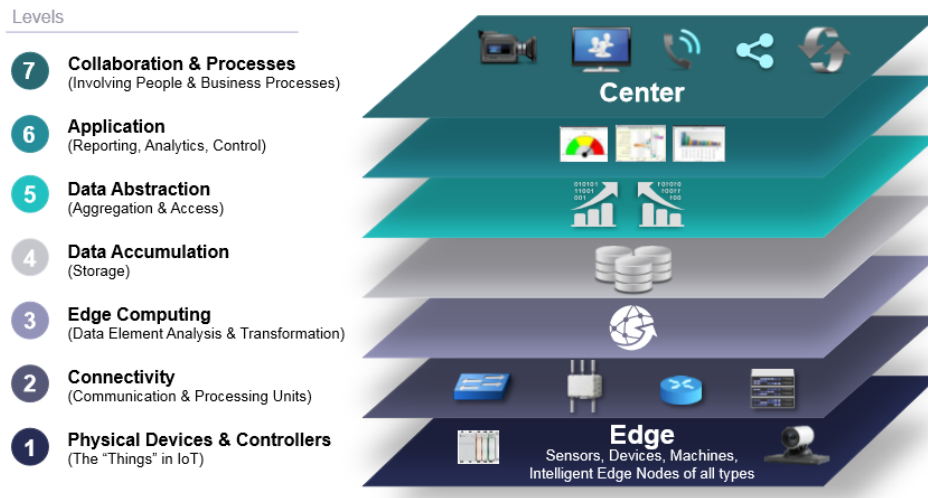
#### **2.6.5 Considerações finais sobre as plataformas de middleware**

Dentre as plataformas apresentadas, o Zabbix é o único que pode ser utilizado em redes locais, as outras somente armazenam os dados na nuvem, necessitando conexão com a Internet. Outro diferencial é que o Agente Zabbix possui suporte para diferentes sistemas operacionais, gera gráficos em tempo real e é de fácil instalação e utilização, por isso foi utilizado no trabalho.

### **2.7 Modelo de referência**

A Internet das Coisas abrange muitas áreas gerando dúvidas em relação ao que é realmente preciso para implementar uma solução IoT. Dados são gerados por diversas fontes, tratados de maneiras diferentes e enviados através de vários protocolos.

Assim, foi necessário a criação de um modelo de referência, com o intuito de: simplificar, esclarecer, identificar, padronizar e organizar as funções dos sistemas e aplicações da IoT. Esse modelo de referência pode ser visto na Figura 5 (CISCO SYSTEMS INC., 2014).

**Figura 5** – Modelo de referência da Cisco.

Fonte: Retirado de Cisco Systems Inc., (2014).

### 3 REQUISITOS PARA UMA ENGENHARIA DE IOT

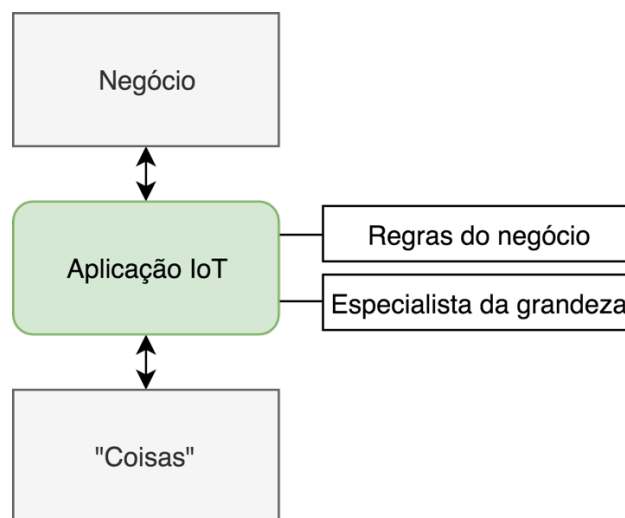
Nessa secção será abordado o modelo de referência utilizado nesse projeto, as funções do engenheiro de IoT e o seu *framework*.

#### 3.1 Modelo de referência

Uma solução prática de IoT tem como objetivo conectar o negócio com as “coisas” através de uma aplicação, mas para isso é necessário abordar as regras do negócio que indicam como a empresa faz negócio, quais são as suas políticas e limitações. Também é preciso levar em consideração qual o tipo de aplicação e quem é especialista nela, ou seja, um agrônomo para lidar com a umidade do solo de uma plantação ou um médico para inspecionar a pressão arterial de uma população (IoT-OSRM, 2018).

Esse modelo conceitual de uma solução IoT pode ser visto na Figura 6.

**Figura 6** – Modelo conceitual de uma aplicação IoT.



Fonte: Adaptado de IoT-OSRM, (2018).

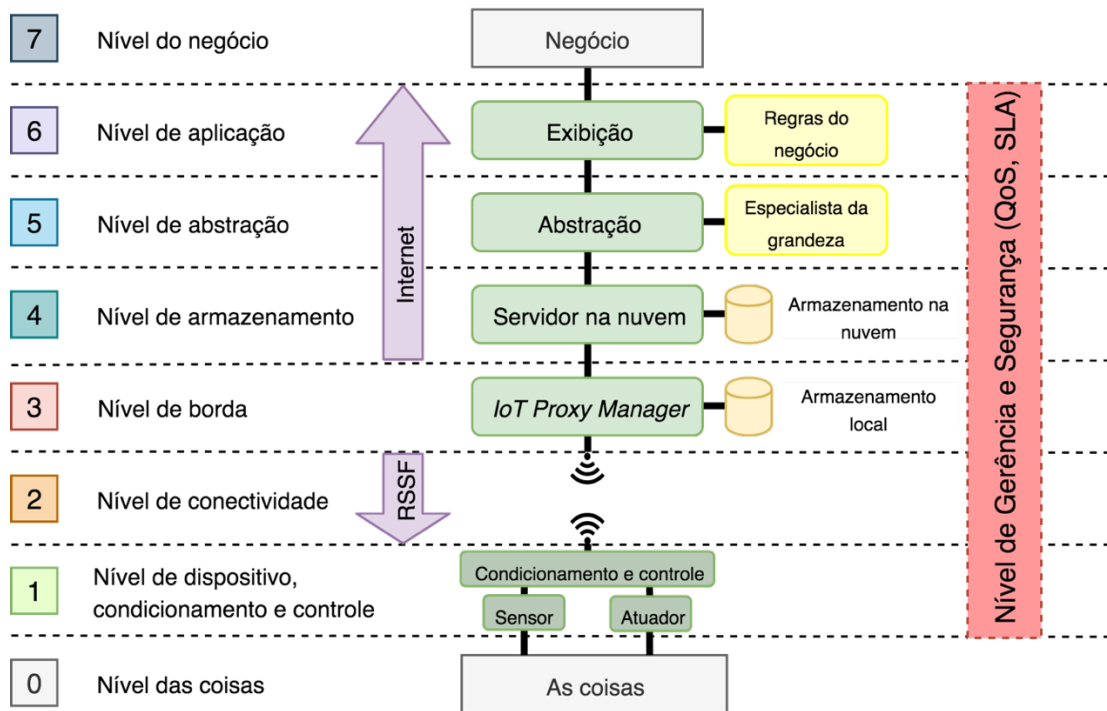
Utilizando o modelo de referência da Cisco como base, foi desenvolvido um novo modelo de referência, Figura 7, adaptado para a implementação prática, dividido em níveis e focando na sua utilização para pequenas e médias empresas. Soluções *open-source* são o foco dessa proposta, pois essas empresas não possuem capital para investir em soluções proprietárias.

Os níveis do modelo são:

- Nível 0: As “coisas”, as grandezas que serão monitoradas.

- Nível 1: Nível dos dispositivos, sensores e atuadores, e há um condicionamento e um controle primário;
- Nível 2: Conectividade, há o transporte dos dados coletados até o Nível 3;
- Nível 3: Elemento de borda, responsável por uma gerência, armazenamento local das informações e conectividade com a Internet;
- Nível 4: Armazenamento na nuvem dos dados recebidos do Nível 3;
- Nível 5: Abstração dos dados, utilizando o conhecimento do especialista da grandeza que correlaciona os dados com as regras do negócio;
- Nível 6: Apresentação, onde são criados gráficos, telas de exibição e ícones específicos para o negócio. Nessa parte entram as regras do negócio, como o cliente final deseja receber os dados;
- Nível 7: O negócio em si que irá usufruir da aplicação IoT.

**Figura 7 – Modelo de referência desenvolvido.**

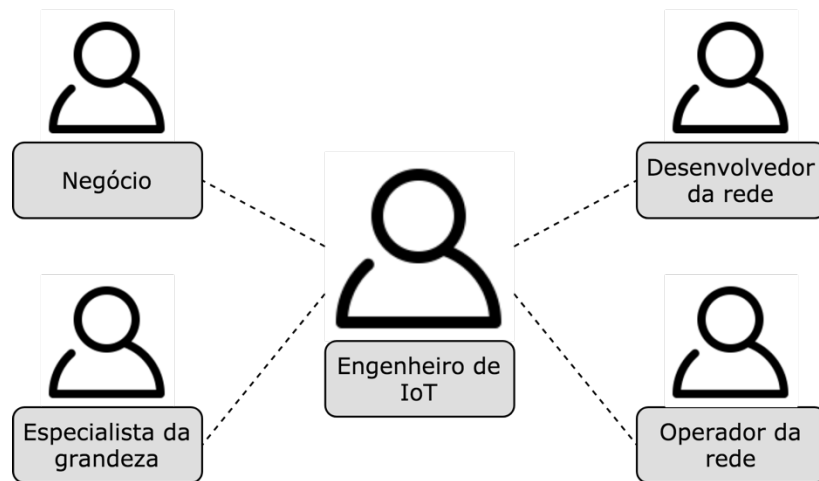


Fonte: Adaptado de IoT-OSRM, (2018).

### 3.2 Engenheiro de IoT

Utilizando o modelo de referência foi possível identificar em quais setores é necessária uma engenharia de IoT. Como comentado no Capítulo 1, esse engenheiro parte de uma modalidade da Engenharia Elétrica, ele deve ter os conhecimentos básicos de computação, programação, comunicação sem fio, gerência e tratamentos estatísticos. Assim, se tornando uma ponte entre o negócio, o especialista da grandeza, o desenvolvedor e operador da rede, visto na Figura 8. E atua nos seguintes níveis:

**Figura 8** – Entidades e o engenheiro de IoT.

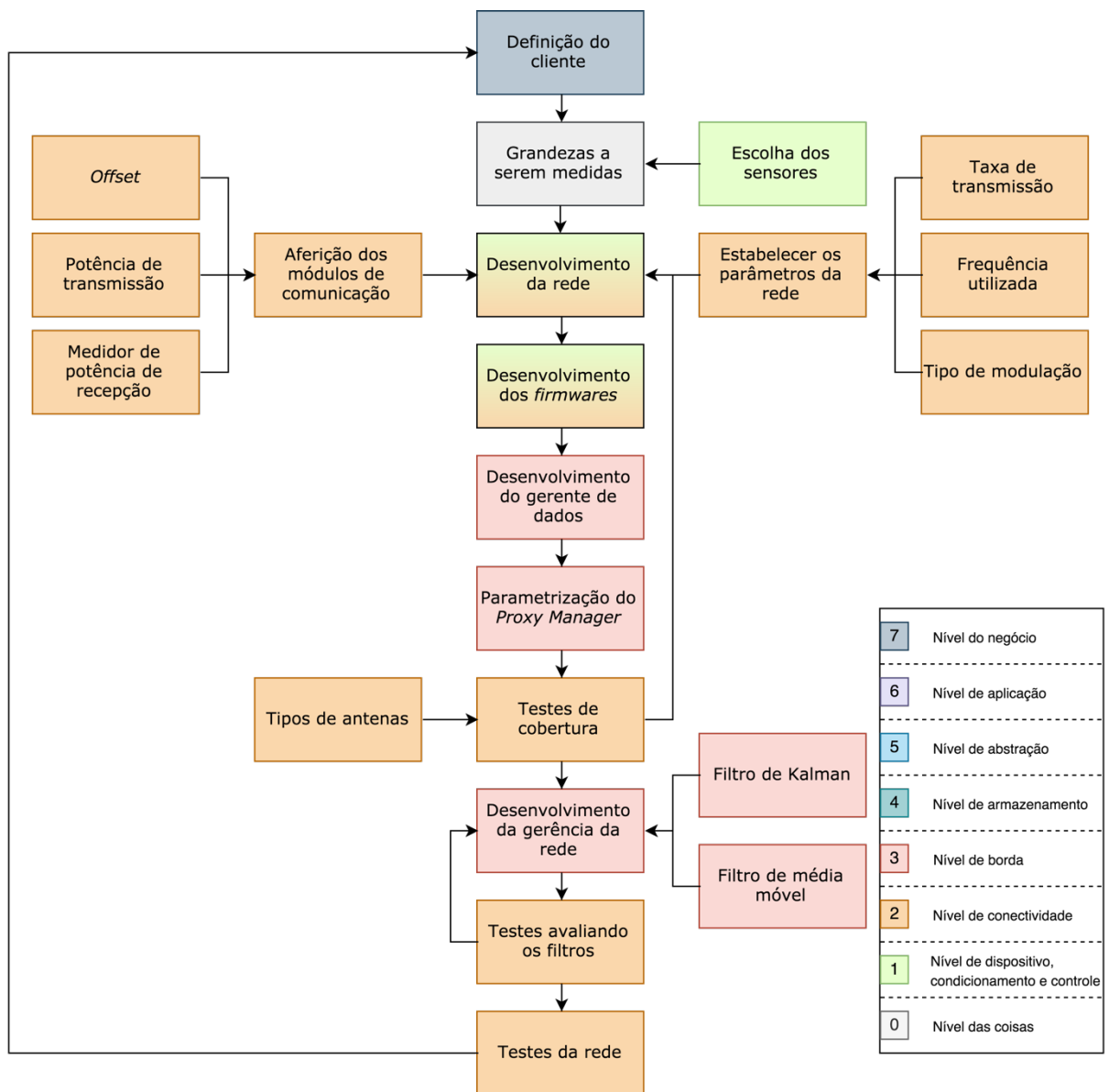


- Nível 0: Ao conversar com o negócio o Engenheiro de IoT precisa entender quais as grandezas que devem ser monitoradas e quais os controles devem ser realizados. Nessa parte ele é responsável por ter uma visão crítica de visualizar se a aplicação pode ser feita ou se é algo inviável;
- Nível 1: Conhecimento em sensores e atuadores, podendo tomar decisões em qual componente é mais adequado para certas aplicações;
- Nível 2: Lida com o desenvolvedor da rede, trabalhando em conjunto para desenvolver o melhor protocolo e solução de conectividade;
- Nível 3: Junto com o operador da rede, é desenvolvido o elemento de borda, gerenciando a rede e os dados. Realizando um armazenamento local;
- Nível 4: Ainda com o operador é visto qual a melhor plataforma de IoT para realizar o armazenamento na nuvem;
- Nível 5: A abstração dos dados é realizada com o especialista da grandeza, para melhor entender os dados e gerar o melhor resultado para o negócio;
- Nível 6: Atendendo as regras do negócio, o engenheiro conversa com o usuário sobre qual a melhor maneira de exibir os resultados.

### 3.3 Framework

Após definir o modelo de referência utilizado no trabalho e quais as funções que o Eng. De IoT deve desempenhar, foi desenvolvido um *framework*, uma sequência de ações para concretizar o projeto. Esse *framework* pode ser visto na Figura 9, as cores dos blocos indicam em qual nível do modelo de referência aquela ação se encontra.

Figura 9 – Framework.



O primeiro passo para o desenvolvimento de uma RSSF é definir: quem será o usuário dessa rede, o que ele deseja monitorar e com qual sensor. Após essa primeira análise é possível começar a desenvolver a rede, escolhendo os módulos de



comunicação e os aferindo, desenvolvendo os parâmetros da rede e os *firmwares* que serão utilizados pelos módulos.

Testes comprovando essa primeira comunicação são realizados dentro do laboratório por meio de um Python, responsável pela aquisição dos dados. O *IoT Proxy Manager* é parametrizado de acordo com as necessidades da rede.

Um *survey* da área a ser monitorada deve ser realizado, levando em consideração a distância entre os pontos de medição e a localização dos mesmos, podendo ser necessária a implementação de um Nó Repetidor, para estender o alcance do sinal (MATTHIESEN et al., 2017). Verificando se há visada com a ERB, pontos de energia ou incidência solar e até se há a necessidade de alguma autorização mediante a instalação.

Depois desse estudo, é decidido os tipos das antenas que realizam a melhor cobertura para cada caso e testes de campo para verificar a comunicação são realizados.

O Gerente da Rede e de Dados é desenvolvido e implementado no *IoT Proxy Manager* e a rede é testada como um todo, realizando os ajustes necessários e entregando para o cliente os dados coletados.

## 4 MATERIAIS

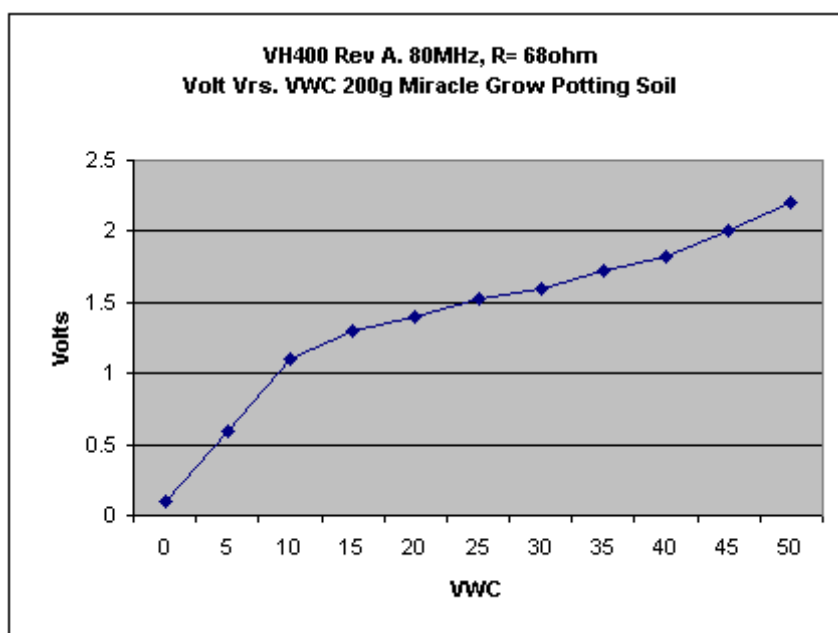
Durante o trabalho foram realizados três testes em campo, para isso foram necessários os materiais descritos neste Capítulo, separado por níveis. O Nível 1 traz uma introdução sobre os sensores utilizados, o Nível 2 as especificações técnicas dos elementos da RSSF e as antenas, o *firmware* desenvolvido se encontra nos dois primeiros níveis e o *IoT Proxy Manager* e as suas configurações no Nível 3.

### 4.1 Nível 1 - Sensores

Durante o trabalho foram realizados três testes de campo, cada um para um cenário específico. Os Testes 2 e 3 utilizaram os sensores Vegetronix, DHT11 e DHT22.

Para monitoramento da umidade do solo foi utilizado do sensor Vegetronix VH400, com rápida resposta, precisão na medição e baixo consumo (menos de 13mA). A tensão de saída desse sensor corresponde ao nível de umidade do solo, medindo o Conteúdo Volumétrico da Água (*Volumetric Water Content, VWC*). Ele realiza esse monitoramento medindo a tensão do solo, a curva das medidas pode ser vista na Figura 10. (VEGETRONIX, 2016).

**Figura 10** – Curva do VWC por tensão da sonda VH400, em um recipiente com 200g de solo.



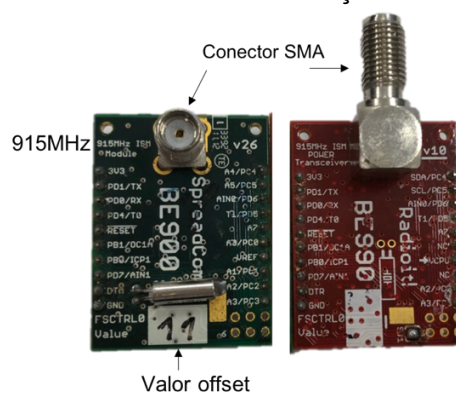
Fonte: Retirado de Vegetronix, ([s.d.])

Os DHT11 e DHT22 são sensores de temperatura e umidade do ar, com saídas digitais. Ambos realizam medidas a cada 2 segundos. A diferença entre eles é a faixa de operação. O DHT11 opera de 10°C à 40 °C (AOSONG ELECTRONICS, [s.d.]), o DHT22 possui uma maior amplitude, operando na faixa de -40°C à 80°C (AOSONG ELECTRONICS, [s.d.]).

#### 4.2 Nível 2 - Especificações técnicas da ERB e dos Nós Sensores

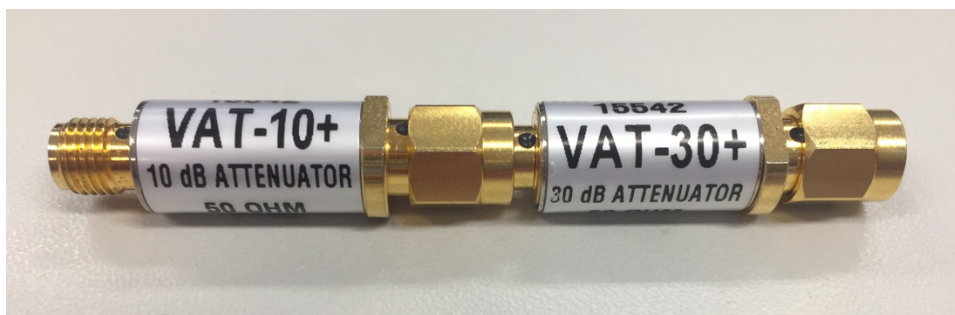
Os módulos de comunicação, vistos na Figura 11, operam na frequência de 915MHz, possuem conectores SMA (*SubMiniature version A*) para a conexão de antenas, pinos analógicos e digitais e um cristal oscilador de 26kHz para oferecer precisão de tempo necessária para aplicações com sincronismo de tempo. Devido a esse cristal os módulos devem ter um *offset* para operar na frequência certa.

Figura 11 – Módulos de comunicação BE990 e BE990.



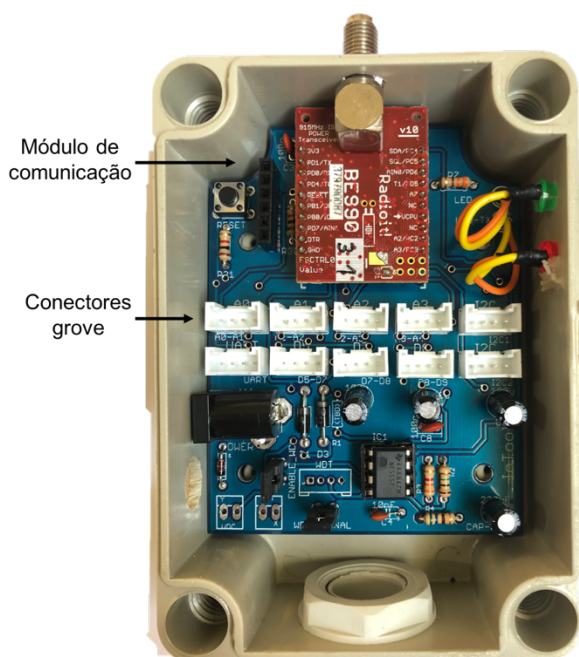
Para o cálculo do *offset* são utilizados atenuadores fixos, um de 10 dB, Mini Circuits 15542 VAT-10+ (MINI CIRCUITS, [s.d.]), e outro de 30 dB, Mini Circuits 15542 VAT-30+ (MINI CIRCUITS, [s.d.]), apresentado na Figura 12.

**Figura 12** – Atenuadores fixos de 10 dB e de 30 dB.



A programação dos módulos é feita no ambiente Arduino, por meio de um programador UartsBee que realiza a conversão USB/Serial. Os Nós Sensores e o Nó Repetidor utilizam a placa de desenvolvimento DK IoTtools, apresentado na Figura 13.

**Figura 13** – Placa de desenvolvimento DK IoTtools



A placa possui um encaixe para os módulos de comunicação BE900/BE990 e conectores tipo Grove, para uma maior facilidade de conexão dos sensores e atuadores (IOTOOLS, 2018).

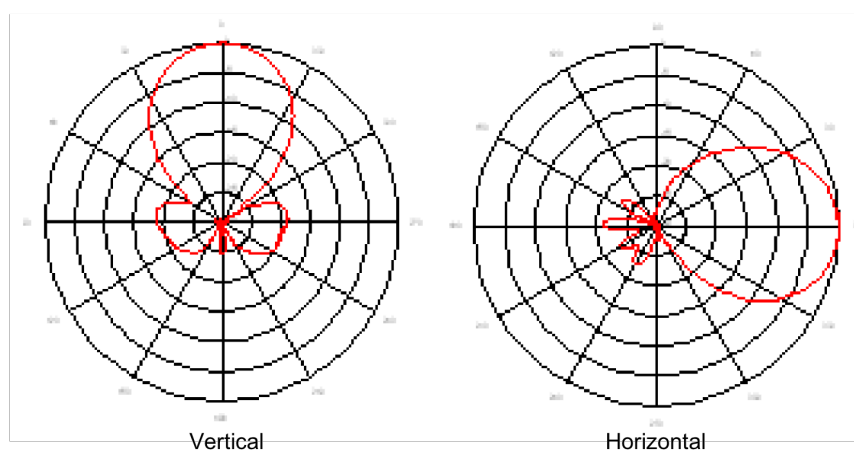
#### 4.3 Nível 2 - Especificações das antenas

Durante o andamento do projeto foram contempladas a utilização de três tipos diferentes de antenas para serem usadas pela ERB: a omnidirecional, a setorial e a *patch*. A antena setorial disponível teve bom desempenho, mas por ser uma

antena mais robusta e de difícil instalação, foi preferível realizar os testes com as antenas *patch* e omnidirecional.

O diagrama de irradiação das antenas serviu como base para a decisão, a Figura 14 mostra o diagrama da antena *patch*. Essa antena possui um ganho de 12,5 dBi e uma largura horizontal e vertical do feixe igual a  $42^\circ$ , sendo mais indicada quando a ERB está em um plano diferente do plano dos Nós Sensores, por exemplo, em cima de um prédio.

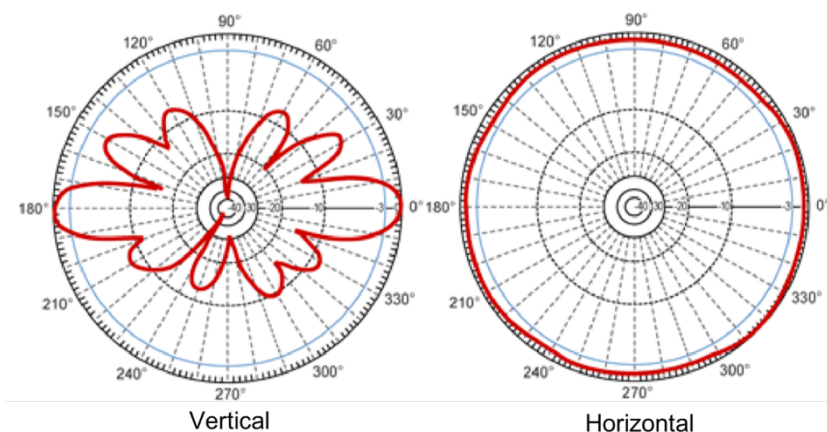
**Figura 14** – Diagrama de irradiação da antena *patch*.



Fonte: Retirado de Arc Wireless Solutions, ([s.d.]).

O diagrama de irradiação da antena omnidirecional está representado na Figura 15. A omnidirecional distribui sua energia uniformemente, ou seja, a largura do seu feixe horizontal é de  $360^\circ$ , e a largura do feixe vertical de  $12^\circ$ , possuindo um ganho de 8dBi. Isso a torna uma boa opção quando a ERB está no mesmo plano que os Nós Sensores.

**Figura 15** – Diagrama de irradiação da antena omnidirecional.



Fonte: Retirado de L-COM (2018).

Esse tipo de antena também foi escolhido para ser utilizada nos Nós Sensores, assim a direção da antena não impacta no posicionamento dos Nós. A antena omnidirecional utilizada nos Nós Sensores possui uma impedância de 50 ohms e um ganho de 2,5dBi (KLC CONECTORES, [s.d.]).

#### 4.4 Nível 1 e 2 - *Firmware*

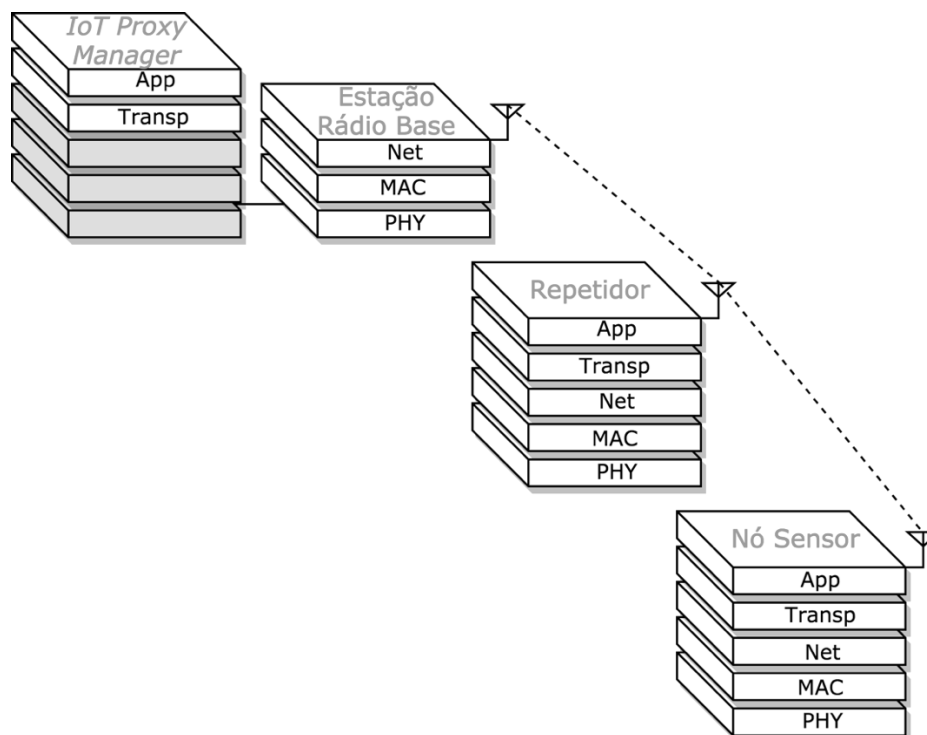
Para realizar a programação dos Nós e assim o desenvolvimento da rede, foi utilizado a plataforma *open-source Rarduino*. Essa ferramenta tem como modelo conceitual as camadas do Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP*), sendo elas a Física, Controle de Acesso ao Meio (*Media Access Control, MAC*), Rede, Transporte e Aplicação.

Cada pacote possui 52 bytes, seguindo a seguinte estrutura: 16 bytes para os cabeçalhos das camadas Física, Enlace, Rede e Transporte (4 bytes cada uma), 18 bytes para os conversores analógico para digital (AD0, AD1, AD2, AD3, AD4 e AD5) e 18 bytes para as entradas ou saídas digitais (IO0, IO1, IO2, IO3, IO4 e IO5).

Nos bytes da camada Física são escritos os dados do “link” do rádio, tal como o Indicador da Intensidade do Sinal Recebido, (*Received Signal Strength Indicator, RSSI*) e o Indicador da Qualidade do “Link” (*Link Quality Indicator, LQI*). Na camada MAC é configurado o modo de repouso ou *sleep mode*, esse modo faz o dispositivo “dormir” entre transmissões, economizando energia e aumentando a vida útil do mesmo.

A camada de Rede é responsável pelo roteamento dos pacotes e a de Transporte pela contagem deles. A camada de Transporte também realiza a segurança das informações. A camada de Aplicação realiza as medidas dos Nós Sensores. Os elementos da rede e suas camadas estão dispostos na Figura 16.

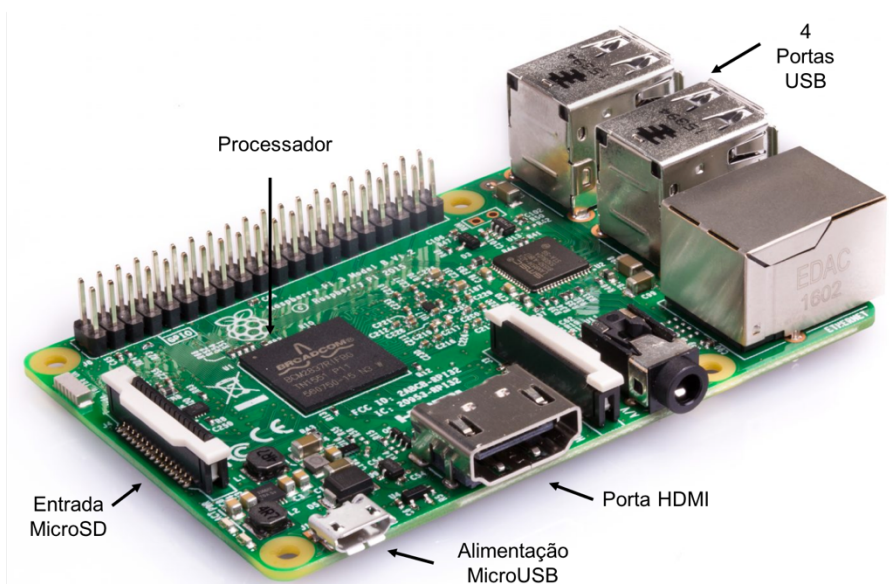
**Figura 16** – Elementos da rede e suas respectivas camadas.



Os *firmwares* da ERB só possuem as três primeiras camadas, pois não realiza nenhuma aplicação e não possui informações, isso é feito pelo *IoT Proxy Manager* que está conectado à ERB através de um cabo mini USB. Os Nós Sensores e o Repetidor possuem todas as camadas e estão se comunicando pelo ar.

#### 4.5 Nível 3 - Especificações do IoT Proxy Manager

No *IoT Proxy Manager* estão os Gerentes da Rede e dos Dados. Neste projeto foi utilizado um Raspberry Pi 3, Figura 17, contendo um processador com quatro núcleos (*Quad Core* 1.2GHz), memória RAM de 1GB, quatro portas USB e entrada para cartão Micro SD para o sistema operacional e a coleta de dados (RASPBerry PI, [s.d.]).

**Figura 17 – Raspberry Pi 3**

Fonte: Adaptado de Raspberry pi, ([s.d.]).

Esse computador de placa única foi escolhido devido a sua capacidade de processamento, sistema operacional com interface amigável e possibilidade de aumento da sua memória, neste trabalho foi usado um Micro SD de 64GB.

A Raspberry Pi 3 está sendo cada vez mais usada em aplicações comerciais e até incorporado em produtos, como por exemplo o computador industrial KUNBUS Revolution Pi (BUFFHAM, 2017).



## 5 MÉTODOS

Nesse tópico foi definido os usuários dos testes de campo, como seria realizada a aferição dos módulos de comunicação (Nível 2 - *hardware*), e os protocolos de roteamento (Nível 2 - *firmware*). Também introduz o “setup” dos três testes de campo.

### 5.1 Definição dos usuários

Ao desenvolver uma RSSF é necessário se questionar sobre qual a finalidade dessa rede, se não há algo ou alguém que será beneficiado com essas medições não há realmente uma necessidade para o seu desenvolvimento. Esse questionamento é realizado através de uma série de perguntas, que são apresentadas no Apêndice A.

Durante o projeto foi determinado o Campus I da PUC-Campinas como o grande consumidor de dados coletados pela rede. Foram realizados três testes de campo para evidenciar qual o papel do engenheiro de IoT. Para os cenários propostos foi necessário o apoio dos setores apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Setores da universidade que foram os usuários dos Testes 1, 2 e 3.

| Setor                           | Teste 1 | Teste 2 | Teste 3 |
|---------------------------------|---------|---------|---------|
| Setor Administrativo            |         |         |         |
| Praça de Alimentação e Serviços |         |         |         |
| Campo de Futebol                |         |         |         |
| Manutenção                      |         |         |         |

O Setor Administrativo deu suporte para a implantação dos três testes de campo. O primeiro teste serviu para mapear quais os pontos de melhor comunicação na praça de alimentação, medindo a RSSI.

O segundo teste monitorou o comportamento do campo de futebol, medindo a temperatura e a umidade do ar, e a umidade do solo. Com o intuito de evidenciar quando há necessidade de irrigação do campo, assim gerando uma economia de água. Foram instalados dois Nós Sensores e dois Nós Repetidores durante 19 dias para monitorar essas grandezas.

O último teste foi realizado para verificar a cobertura do Campus I, entre o Laboratório de Pesquisa em Sistemas Rádio (LP-SiRa) até a Reitoria, utilizando o

segundo protocolo de repetição. Foram instalados três Nós Sensores, com uma duração de nove dias e foram medidas temperatura e umidade do ar e umidade do solo.

## 5.2 Nível 2 - Aferição dos módulos de comunicação

Nesse item serão vistos os aspectos de radiofrequência que determinam a característica dos componentes de RF.

### 5.2.1 Ajuste do offset

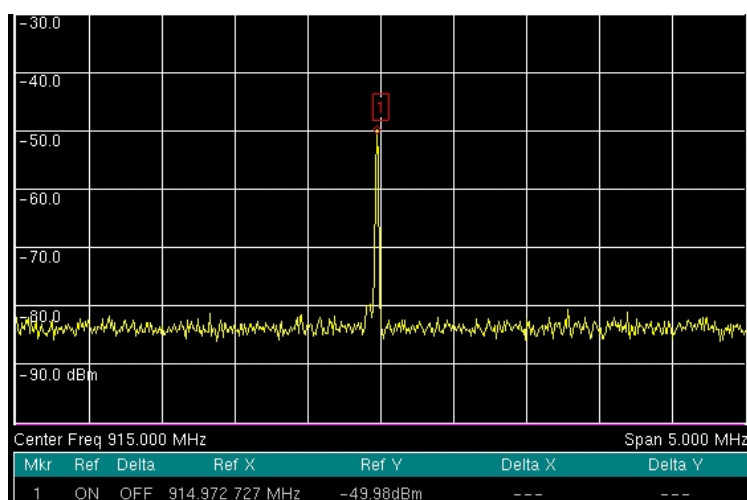
Cada um desses módulos possui um cristal oscilador de 26kHz para oferecer precisão de tempo necessária para aplicações com sincronismo de tempo, mas esse cristal apresenta um deslocamento no canal da frequência operada devido a sua quebra ao ser inserido nos módulos.

Devido a esse deslocamento é necessário aferir o módulo para verificar qual frequência o cristal está operando e calcular o seu *offset*. Esse é um valor em hexadecimal que realiza uma compensação, para o módulo operar na frequência desejada. A diferença entre as frequências é dividido pelo passo da frequência, que é de 1,59KHz, como pode ser visto na Equação (9).

$$(\text{Offset})_{16} = \frac{(915\text{Mhz} - F_{\text{medida}})}{1,59} \quad (9)$$

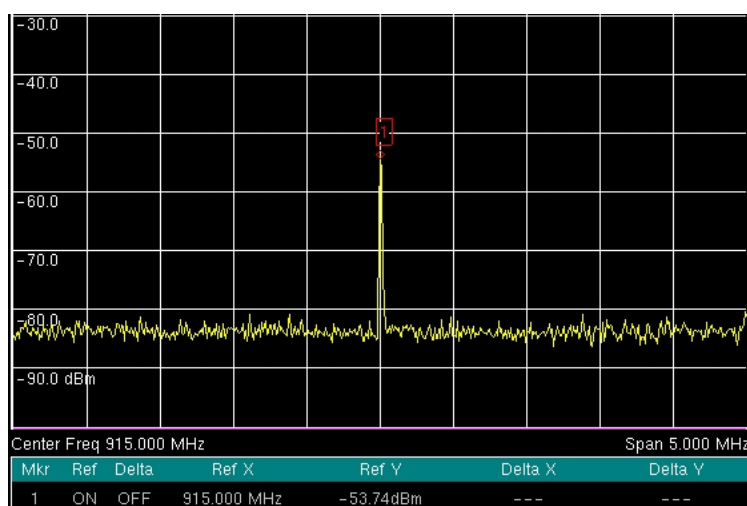
A Figura 18 mostra que o módulo está operando na frequência 914,972 MHz. Utilizando a Equação (9) calcula-se que seu offset é 12.

**Figura 18** – Frequência de transmissão do módulo de comunicação antes de realizar o offset.



Ao inserir no *firmware* o offset correto, o módulo passa a se comunicar na frequência desejada de 915MHz, visto na Figura 19.

**Figura 19** – Frequência de transmissão do módulo de comunicação após o offset.



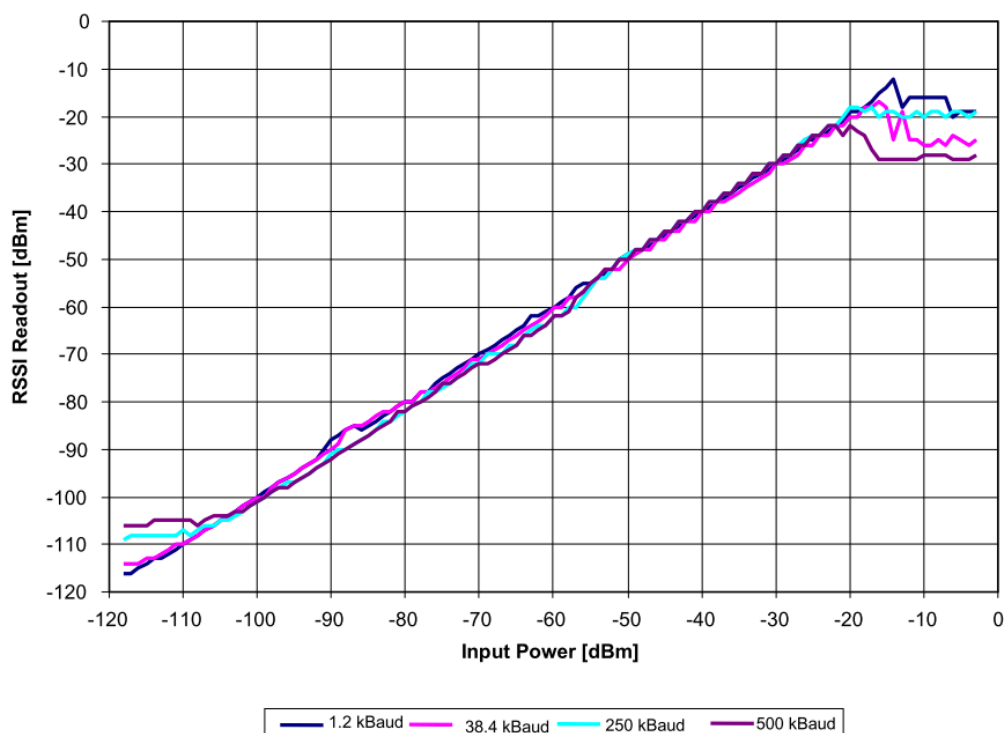
## 5.2.2 Verificação da potência de transmissão

Após a aferição do *offset* dos módulos é necessário verificar se eles estão transmitindo na potência correta, 10dBm e 27dBm para o BE900 e BE990, respectivamente.

Os dois módulos de comunicação utilizam o transceptor CC1101 da *Texas Instruments*, que opera em frequências menores que 1 GHz. A leitura esperada da RSSI de acordo com a potência de entrada está exibida na Figura 20, havendo

variação nas taxas de dados de 1,2 kBaud, 38,4 kBaud, 250k Baud e 500 kBaud (TEXAS INSTRUMENTS, [s.d.]).

**Figura 20** – Potência de saída do transceptor CC1101

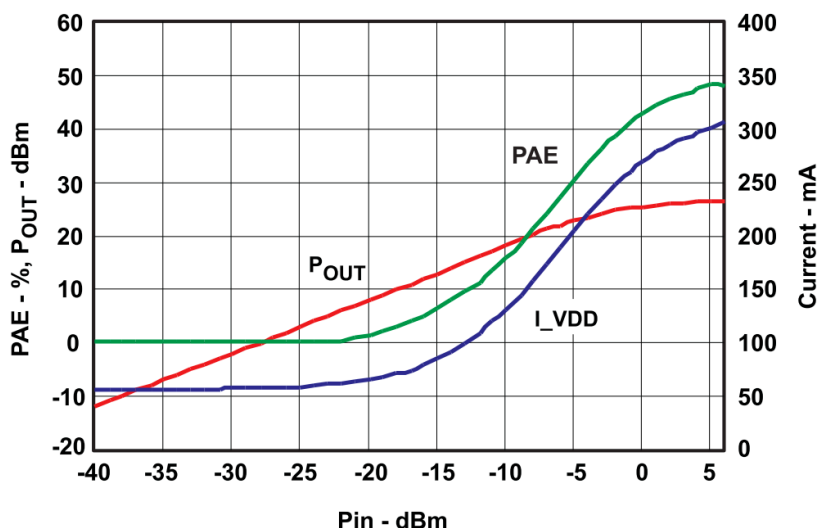


Fonte: Retirado de Texas Instruments, (2010).

A leitura da RSSI se mantém estável entre cerca de -100 dBm à -22 dBm. Em potências baixas as melhores taxas de dados são as menores, 1,2 kBaud e 38,4 kBaud. A partir de -22 dB de potência de saída o rádio começa a saturar devido à potência.

Quando o transceptor CC1190 é utilizado junto com o CC1101 a potência de saída aumenta, como é o caso do módulo BE990. Na Figura 21 são exibidas as curvas da Potência de Saída (Pout, em dBm), Eficiência da Potência Adicionada (PAE, em dBm) e Corrente ( $I_{VDD}$ , em mA) pela Potência de Entrada (Pin, em dBm).

**Figura 21** – Potência de saída do amplificador CC1190.



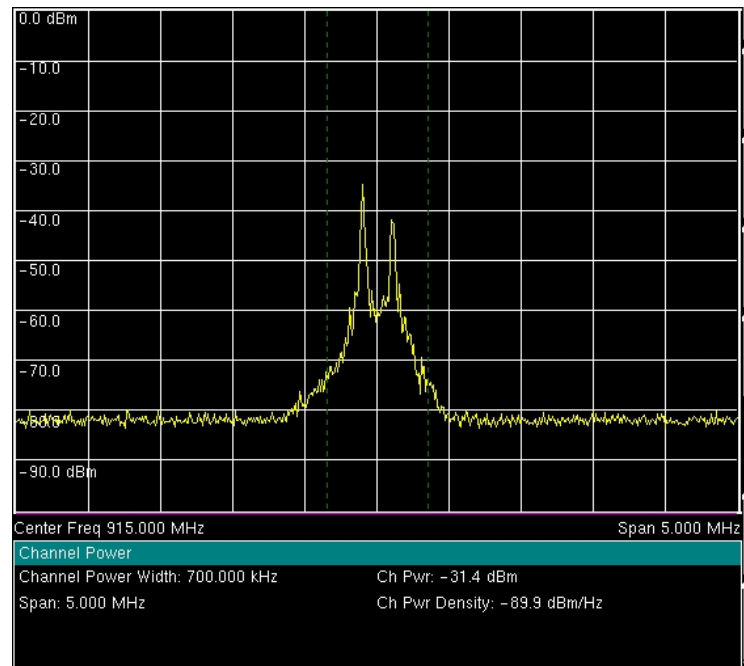
Fonte: Retirado de Texas Instruments, (s.d.)

A potência de saída se mantém quase constante enquanto o  $P_{in}$  está abaixo de -10 dBm, a partir desse valor o sinal começa a saturar. Quando a potência de entrada está em -20 dBm (ponto de saturação do CC1101), a corrente começa a aumentar, evidenciando que o BE990 consome mais energia que o BE900.

Para verificar o valor da potência de transmissão é utilizado o Analisador de Rede Vetorial (*Vector Network Analyzer, VNA*) MS2036A da Anritsu. O conector SMA do módulo de comunicação é ligado a saída do RF do VNA através do atenuador de 40 dB, então os módulos foram alimentados e programados para transmitir um sinal.

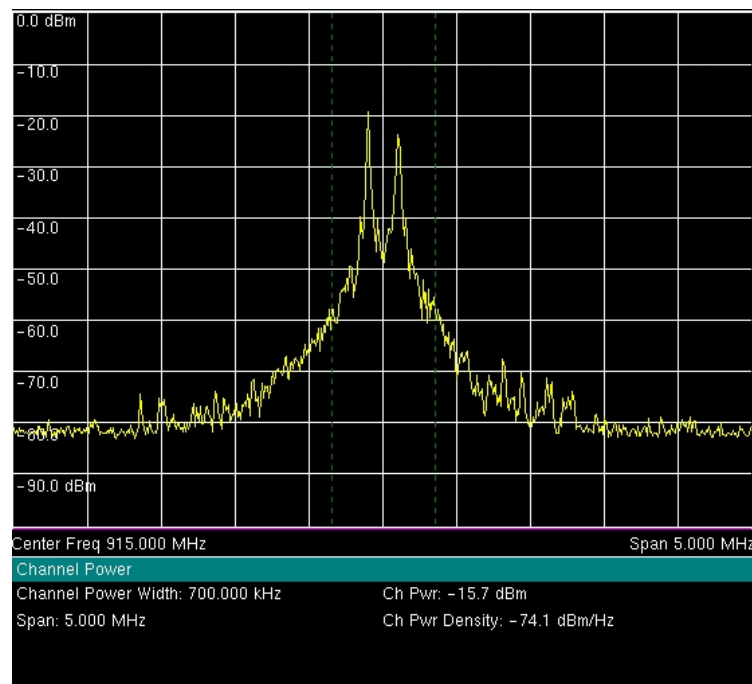
Inserindo uma frequência central de 915 MHz, uma largura de 700 kHz e um espaçamento de 5 MHz, como pode ser visto na Figura 22, a potência do canal do módulo testado foi de -31,4 dBm, no caso do BE900, ou seja, obtendo uma potência de 8,6 dBm.

**Figura 22** – Potência de transmissão do BE900



Quando o módulo testado foi o BE990, a potência do canal foi de -15,7 dBm, apresentado na Figura 23. Totalizando uma potência de transmissão de 24,3 dBm.

**Figura 23** – Potência de transmissão do BE990.



### 5.2.3 Verificação do medidor de potência de recepção

Também é necessário verificar o medidor de potência de recepção dos módulos. Para isso são utilizados dois módulos de comunicação, um funcionando como ERB e outro como Nó Sensor. Para evitar a saturação do sinal foi utilizado um atenuador de 70 dB entre os módulos, visto na Figura 24.

**Figura 24** – Módulos de comunicação conectados por atenuadores



A ERB utilizou o Python para enviar um pacote apenas requisitando a RSSI de *downlink* (a potência recebida pelo Nó Sensor) e de *uplink* (a potência recebida pela ERB). Com esse valor foi possível verificar se a potência que está sendo recebida estava coerente com a potência de transmissão previamente medida.

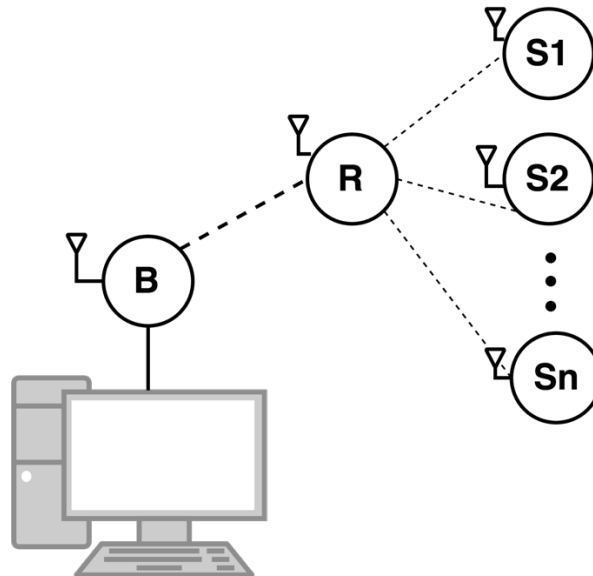
## 5.3 Nível 2 - Desenvolvimento dos protocolos de roteamento

Durante o trabalho foram desenvolvidos dois protocolos de roteamento. O primeiro foi criado para aumentar o alcance da rede, possuindo dois saltos. O segundo protocolo foi criado para expandir ainda mais esse alcance, com a possibilidade de realizar três saltos com dois Nós Repetidores.

### 5.3.1 Primeiro protocolo de roteamento

O primeiro protocolo de roteamento foi desenvolvido para dois saltos, esse protocolo gerou uma contribuição internacional. Criando um protocolo de múltiplos saltos é possível desenvolver a RSSF sem a preocupação de perdas de pacotes. A ERB envia os dados para o Nó Repetidor e este transmite para os Nós Sensores, essa comunicação pode ser vista na Figura 25. O Nó Repetidor é logicamente passivo, ou seja, não é responsável por nenhuma decisão na rede, apenas repassa os pacotes.

**Figura 25** – Rede de Sensores Sem Fio com um Nó Repetidor.

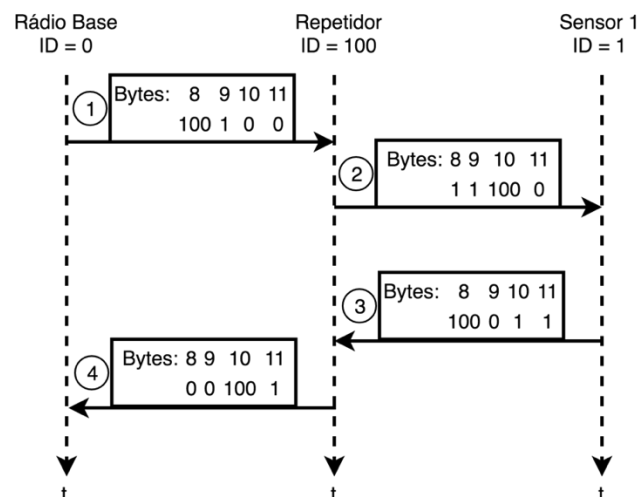


Para a criação do repetidor são utilizados quatro bytes, do 8 ao 11:

- Byte 8: ID do próximo nó no salto.
- Byte 9: ID do destino do pacote no *downlink*.
- Byte 10: ID do nó que está enviando o pacote no salto.
- Byte 11: ID do destino do pacote no *uplink*.

A Figura 26 apresenta um diagrama temporal do pacote, com a identificação (ID) da ERB igual a 0, o ID do Nó Repetidor igual a 100 e o ID do Nó Sensor 1 igual a 1.

**Figura 26** – Diagrama temporal do pacote.





O bloco 1 refere-se ao pacote sendo enviado da ERB (Byte 10 = 0) para o Nó Repetidor (Byte 8 = 100). Durante o *downlink*, o pacote deve ser entregue ao Nó Sensor 1 (Byte 9 = 1) com a origem na ERB (Byte 11 = 0).

O Nó Repetidor é responsável apenas pela troca do remetente pelo destinatário, os destinos de *uplink* e *downlink* continuam iguais. Para isso, este replica o conteúdo do Byte 8 no Byte 10, e replica o conteúdo do Byte 9 no Byte 8. Dessa maneira, no bloco 2 é referente ao pacote sendo enviado do Nó Repetidor (Byte 10 = 100) para o Nó Sensor 1 (Byte 8 = 1).

Os blocos 2 e 3 mostram as tarefas executadas pelo Nó Sensor 1, primeiro ele replica o conteúdo do Byte 10 no Byte 8 e insere sua ID no Byte 10, portanto o bloco 3 contém o pacote que é enviado do Nó Sensor 1 para o Nó Repetidor. A partir do bloco 3, o pacote entra no *uplink*, o Nó Sensor 1 realiza essa transmutação, ao replicar o conteúdo do Byte 11 no Byte 9, ele torna a ERB seu destino final. E ao inserir sua ID no Byte 11, o Nó Sensor 1 se torna o originário do pacote.

O Nó Repetidor, novamente, altera somente os Bytes 8 e 10 entre os blocos 3 e 4. Desta forma, assim que o pacote chegar na ERB, bloco 4, ele é capaz de diferenciar a origem dos dados, por meio da ID contida no Byte 11.

O protocolo de roteamento é implementado nos *firmwares* de cada Nó Sensor e Nó Repetidor e a requisição dos pacotes é feita pelo Gerente Local que utiliza a linguagem Python, que é *open-source* e possui uma variedade de bibliotecas.

O Gerente Local também calcula a RSSI de todo o sistema. Graças ao protocolo, é possível calcular quatro RSSIs diferentes, que estão armazenadas em quatro bytes diferentes, 0, 1, 2 e 3:

- RSSI de *downlink* do Nó Repetidor (ERB-R) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando a ERB está enviando o pacote ao Nó Repetidor. Armazenada no byte 1.
- RSSI de *downlink* do Nó Sensor (R-S<sub>n</sub>) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Repetidor está enviando o pacote ao Nó Sensor. Armazenada no byte 0.
- RSSI de *uplink* do Nó Repetidor (S<sub>n</sub>-R) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Sensor está enviando o pacote ao Nó Repetidor. Armazenada no byte 3.

- RSSI de *uplink* da ERB (R-ERB) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Repetidor está enviando o pacote a ERB. Armazenada no byte 2.

### 5.3.2 Segundo protocolo de repetição

Em seguida, foi identificada a necessidade de um protocolo de roteamento realizando mais que dois saltos e possuir a possibilidade de programar os módulos de comunicação com *sleep mode*. Assim, economizando bateria e tendo uma rede mais eficiente. Com esse protocolo também é possível que o Nó Sensor também atue como um Nó Repetidor.

Nesse protocolo, a ordem de transmissão do pacote foi descrita nos bytes do pacote, do 13 ao 19, que correspondem ao cabeçalho de [1] ao [6] da camada de Rede.

- Byte 13 [1]: Número total de saltos.
- Byte 14 [2]: Número do salto atual.
- Byte 15 [3]: ID da Estação Rádio Base.
- Byte 16 [4]: ID do Nó Repetidor 1.
- Byte 17 [5]: ID do Nó Repetidor 2.
- Byte 18 [6]: ID do Nó Sensor.

Diferentemente do primeiro protocolo, em que todos os bytes são alterados a cada salto, neste protocolo apenas o byte 13 muda ao decorrer da transmissão. No *firmware* dos Nós há uma comparação entre o Saltos Total (Byte 13 [1]) e o Salto Atual (Byte 12 [2]) para assim decidir o endereçamento seguinte, como pode ser visto no Algoritmo 1.

#### Algoritmo 1 – Algoritmo responsável pela repetição

Se (*Salto Atual* > *Saltos Total*)

*Posição* = *Salto Atual* + 3

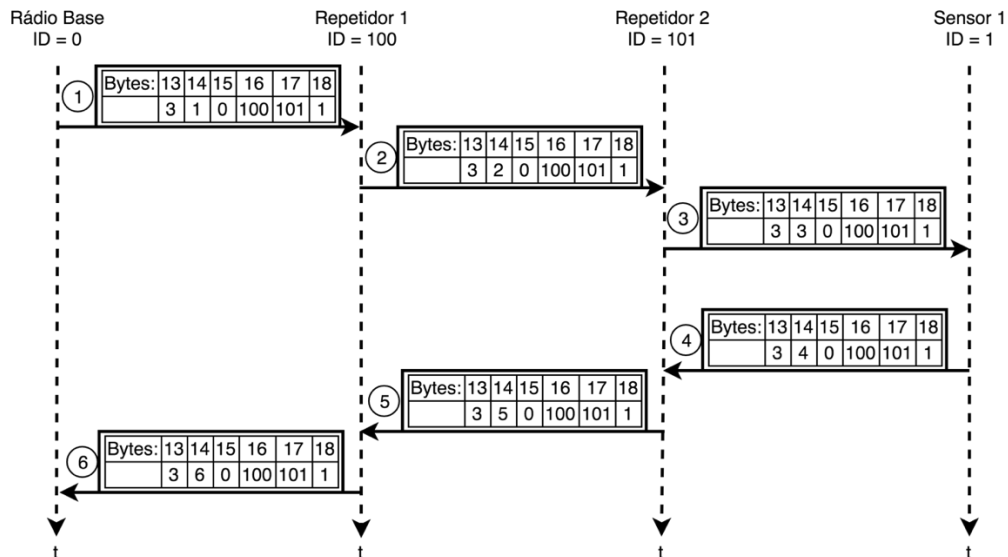
Senão

*Posição* = 2 \* *Saltos Total* - *Salto Atual* + 3

*Byte [Posição]* = ID do próximo salto.

A Figura 27 mostra o diagrama temporal dos pacotes, com todos os bytes utilizados em cada salto e como eles se alteram. O ID da ERB é igual a 0, o ID do Nó Repetidor 1 igual a 100, o ID do Nó Repetidor 2 igual a 101 e o ID do Nó Sensor 1 igual a 1.

**Figura 27** – Diagrama temporal do pacote no segundo protocolo



No bloco 1, a ERB está enviando o pacote para o Nó Repetidor 1, há três saltos no total (Byte 13 [1] = 3) e ele está no primeiro salto (Byte 14 [2] = 1). Como o Salto Atual não é maior que o Saltos Total, a variável Posição é igual a 4, indicando que a ERB deve enviar o pacote para a ID descrito no byte 16 [4], que contém a ID do Nó Repetidor 1.

O bloco 2 segue a mesma lógica, calculando a Posição que é igual a 5, pois o Salto Atual é 2. Assim, a ID do próximo salto está no byte 17 [5], ID do Nó Repetidor 2.

O pacote chega ao seu destino quando o Salto Atual é igual ao Saltos Total. A Posição do destino é igual a 6, o ID do Nó Sensor está no byte 18 [6].

A partir do bloco 4, quando o pacote está no *uplink*, o Salto Atual se torna maior que o Salto Total. A Posição é igual a 5, pois o Salto Total é 3 e o Salto Atual é 4, indicando a ID do Nó Repetidor 2, assim por diante.

Nesse protocolo, os Nós também calculam em qual posição a RSSI medida por ele deve ser armazenada, que é Salto Atual - 1. Os dois Nós Repetidores estão

na mesma placa, separados por uma porta serial, por isso é desnecessário calcular a RSSI entre eles.

Essas RSSIs são armazenadas nos bytes 0 a 5:

- RSSI de *downlink* do Nó Repetidor 1 (ERB-R) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o ERB está enviando o pacote ao Nó Repetidor 1. O salto atual é 1, então a sua RSSI é armazenada no byte 0.
- RSSI de *downlink* do Nó Sensor ( $R-S_n$ ) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Repetidor 2 está enviando o pacote ao Nó Sensor. Armazenada no byte 2 (Salto Atual = 3).
- RSSI de *uplink* do Nó Repetidor 2 ( $S_n-R$ ) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Sensor está enviando o pacote ao Nó Repetidor 2. Armazenada no byte 3 (Salto Atual = 4).
- RSSI de *uplink* da ERB (R-ERB) – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido quando o Nó Repetidor 2 está enviando o pacote à ERB. Armazenada no byte 5 (Salto Atual = 6).

## 5.4 Nível 2 - Testes da rede

Para verificar a necessidade da engenharia de IoT, foram desenvolvidos três testes de campo, Tabela 3. O Teste 1 utilizou o primeiro protocolo de roteamento e os Testes 2 e 3 utilizaram o segundo protocolo de roteamento.

**Tabela 3** – Dados gerais dos Testes 1, 2 e 3.

|                        | <b>Teste 1</b> | <b>Teste 2</b> | <b>Teste 3</b> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Nº. Sensores</b>    | 5              | 2              | 3              |
| <b>Nº. Repetidores</b> | 1              | 2              | 0              |
| <b>Antena ERB</b>      | Patch          | Omni           | Patch          |
| <b>Duração</b>         | 7 horas        | 19 dias        | 9 dias         |

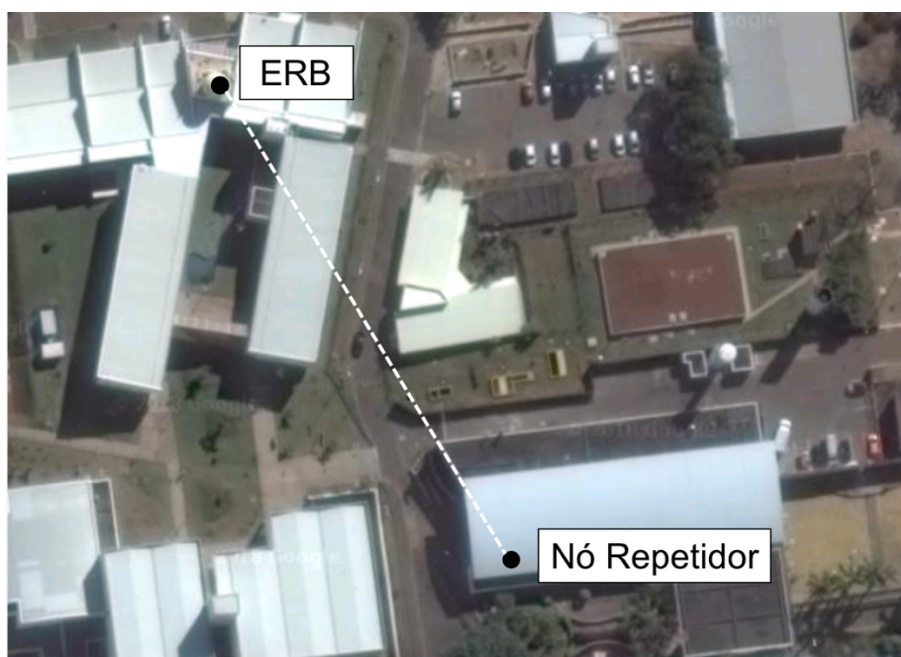
### 5.4.1 Teste 1

No Teste 1, a ERB foi instalada no LP-SiRa enquanto os Nós Sensores foram instalados na praça de alimentação da universidade, devido a essa diferença entre os planos, foi utilizada a antena *patch*.

A distância entre os Nós é de cerca de 200 metros, mas há obstáculos como prédios, entre eles inviabilizando uma comunicação direta, visto na , Figura 28. O Teste 1 deve uma duração de 7 horas.

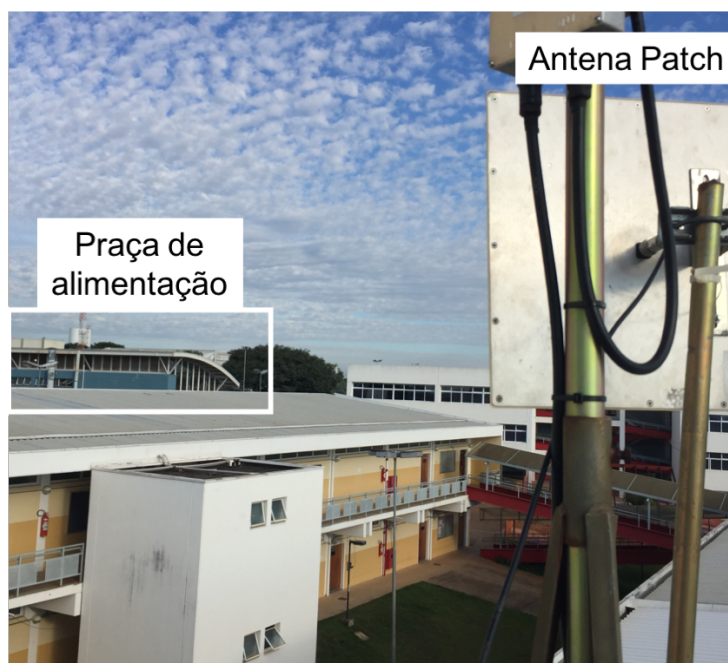
Foram utilizados cinco Nós Sensores, cada um medindo a RSSI, a temperatura e a luminosidade. Os Nós Sensores 1, 2, 3 e 4 utilizaram módulos de comunicação BE900, enquanto o Nó Sensor 5, o Nó Repetidor e a ERB utilizaram módulos de comunicação BE990.

**Figura 28** – Posicionamento da ERB e Nó Repetidor no Teste 1



A ERB foi conectada a um computador (*Proxy Manager*), executando o Python e salvando os resultados em um arquivo *.txt*. A Figura 29 exibe a antena utilizada pela ERB e a visada da praça de alimentação.

**Figura 29** – Linha de visada entre a antena da ERB e a praça de alimentação.

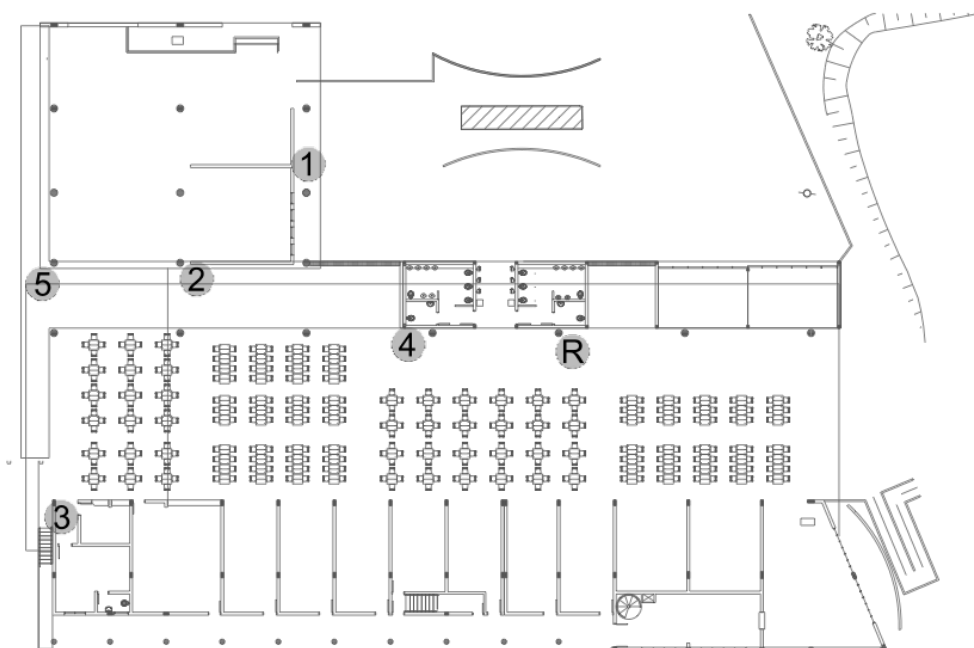


Os Nós Sensores, Figura 30, foram posicionados em pontos da praça de alimentação, como pode ser visto na Figura 31.

**Figura 30** – Nós Sensores do 1 ao 5 no Teste 1.



**Figura 31** – Disposição dos Nós Sensores no Teste 1.



#### 5.4.2 Teste 2

O segundo teste foi realizado no campo de futebol, com uma duração de 19 dias, e utilizando o segundo protocolo de repetição. Havia dois Nós Sensores dispostos no campo, medindo a umidade e a temperatura do ar e a umidade do solo, dois Nós Repetidores e uma ERB. A disposição desses elementos está exibida na Figura 32.

Nesse teste, os Nós Repetidores foram utilizados apenas para analisar o seu comportamento durante a duração do teste, pois a distância entre a ERB e os Nós Sensores era pequena.

**Figura 32** – Posicionamento dos elementos da rede no Teste 2.



A ERB estava conectada ao *IoT Proxy Manager*, onde a gerência foi realizada e os dados enviados para a nuvem, através de um mini modem 3G. Nesse “setup”, foi utilizado uma antena omnidirecional, pois não havia uma grande variação de altura entre os elementos. A ERB, o *IoT Proxy Manager* e os Nós Repetidores podem ser vistos na Figura 33.

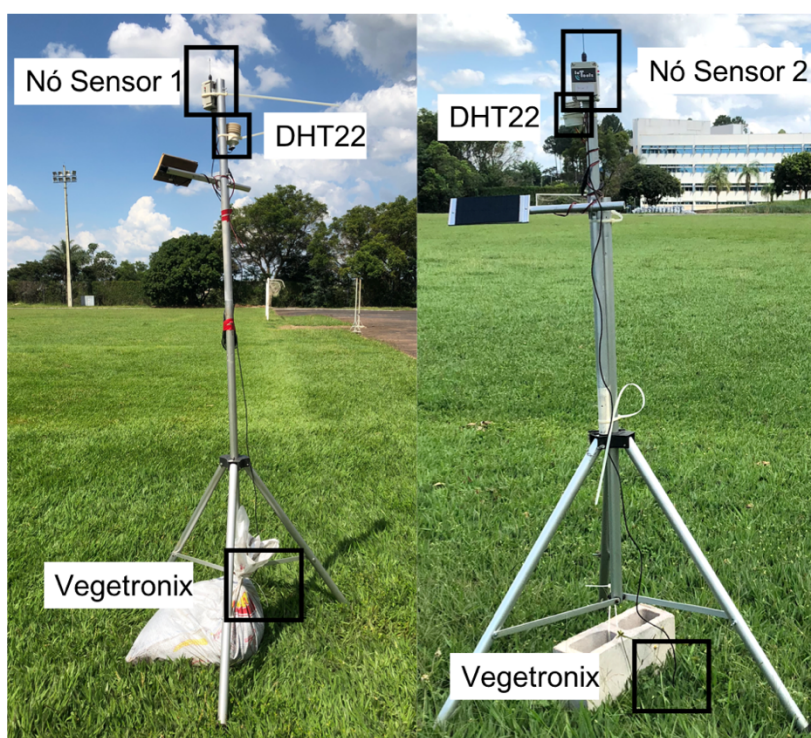


**Figura 33** – ERB com o *IoT Proxy Manager* e o Nó Repetidor no Teste 2.



Os Nós Sensores 1 e 2 estão apresentados na Figura 34, junto com o DHT22 e o Vegetronix.

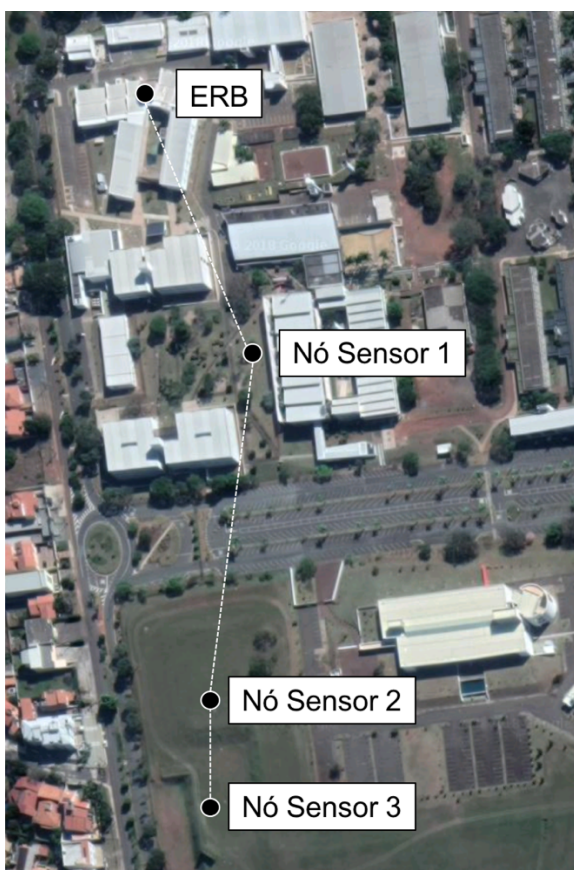
**Figura 34** – Nós Sensores 1 e 2 no Teste 2.



### 5.4.3 Teste 3

O Teste 3 foi realizado com três Nós Sensores, o primeiro Nó Sensor ficou ao lado da biblioteca, e os Nós Sensores 2 e 3 ficaram dentro da área da Reitoria do Campus, o posicionamento pode ser visto na Figura 35. E a ERB ficou novamente no LP-SiRa.

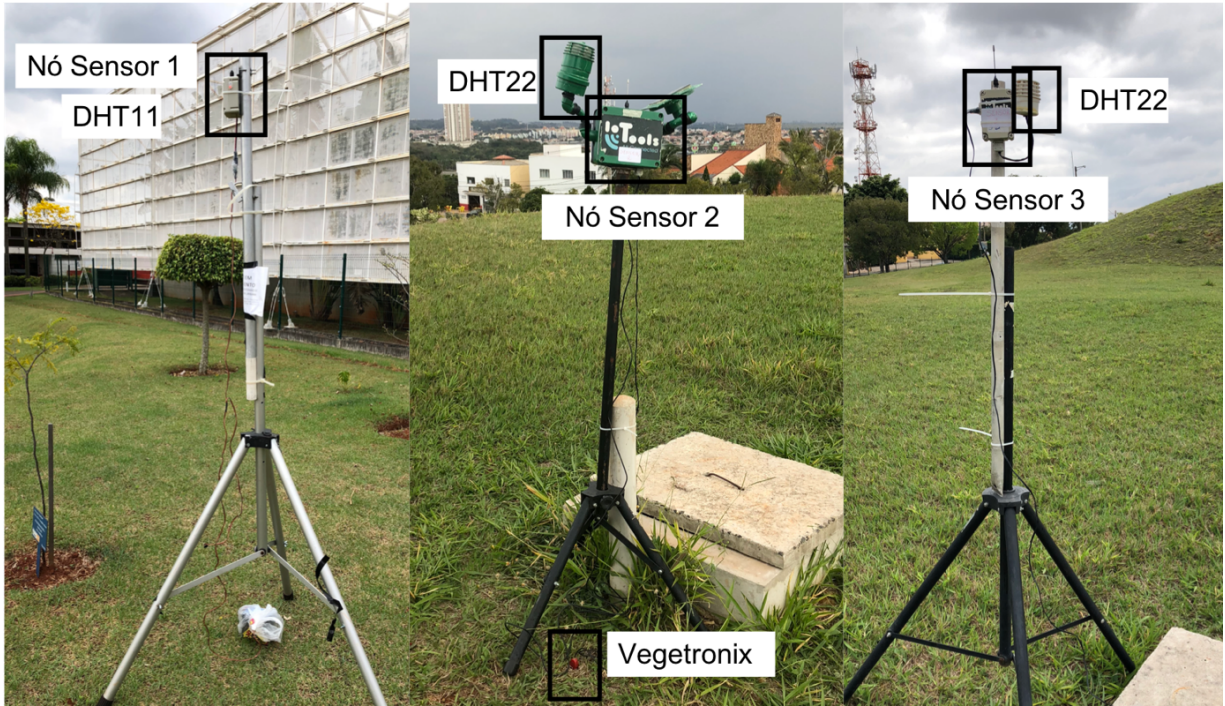
Figura 35 – Posicionamentos dos elementos de rede no Teste 3.



Esse teste durou 9 dias e mediu temperatura e umidade do ar nos três Nós Sensores e a umidade do solo no Nó Sensor 2. Ao utilizar o segundo protocolo de repetição foi visto que era possível dispensar o uso do Nó Repetidor e utilizar os Nós Sensores para realizar esse roteamento. A Figura 36 mostra os Nós Sensores do Teste 3.

Os Nós Sensores 2 e 3 utilizaram fontes de 12V conectadas na alimentação do *outdoor* que fica dentro da área da reitoria. O Nó Sensor 1 utilizou bateria, pois as fontes de energia perto do seu local só funcionam durante a noite.

Figura 36 – Nós Sensores do Teste 3.



## 6 RESULTADOS E ANÁLISE

Nessa seção serão apresentados os resultados dos *offsets* e as potências de transmissão e recepção dos módulos de comunicação. Também apresentará os resultados dos três testes em campo realizados ao longo do trabalho.

### 6.1 Estudo de propagação

Ao todo foram utilizados quatro módulos BE900 e cinco módulos BE990. Suas numerações e especificações técnicas estão exibidas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Especificações técnicas dos módulos de comunicação.

| Módulo | Nº. | Offset | Potência Transmissão (dBm) | Potência Recepção (dBm) |
|--------|-----|--------|----------------------------|-------------------------|
| BE900  | 1   | 12     | 9,3                        | 9,1                     |
| BE900  | 2   | 12     | 9,0                        | 9,6                     |
| BE900  | 3   | 12     | 7,2                        | 7,5                     |
| BE900  | 4   | 12     | 9,8                        | 9,0                     |
| BE990  | 5   | 28     | 26,3                       | 25,0                    |
| BE990  | 6   | 34     | 21,6                       | 21,5                    |
| BE990  | 7   | 34     | 22,0                       | 24,0                    |
| BE990  | 8   | 34     | 23,5                       | 22,0                    |
| BE990  | 9   | 34     | 22,9                       | 20,5                    |

Ao medir as potências de transmissão e de recepção é possível, utilizando as Equações do Subcapítulo 2.3, calcular a potência de recepção a uma certa distância. Através da Equação (2), obteve-se que o comprimento de onda era de 0,32 m. E o  $d_0 = 1$  m.

A Tabela 5 apresenta a numeração dos módulos utilizados no Teste 1, as distâncias entre os Nós, a *path loss* calculada (Equação (3)), a potência de transmissão (Tabela 4), o ganho da antena de transmissão e de recepção (Subcapítulo 4.3), a potência de recepção em d calculada pela Equação (4) e a potência de recepção em  $d_0$  calculada pela Equação (5).

**Tabela 5** – *Path loss* e potências de recepção calculadas no Teste 1.

| Teste 1 | Nº. | $d$<br>[m] | $PL(d)$<br>[dB] | $P_t$<br>[dBm] | $G_t$<br>[dBi] | $G_r$<br>[dBi] | $P_r(d)$<br>[dBm] | $P_r(d_0)$<br>[dBm] |
|---------|-----|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|
| ERB-R   | 5   | 106        | 72,2            | 26,3           | 12,5           | 2,5            | -30,9             | 9,6                 |
| R-ERB   | 9   | 106        | 72,2            | 22,9           | 2,5            | 12,5           | -34,3             | 6,2                 |
| R-S1    | 9   | 30         | 61,2            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -33,3             | -3,8                |
| S1-R    | 2   | 30         | 61,2            | 9,0            | 2,5            | 2,5            | -47,2             | -17,7               |
| R-S2    | 9   | 32         | 61,8            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -33,9             | -3,8                |
| S2-R    | 4   | 32         | 61,8            | 9,8            | 2,5            | 2,5            | -47,0             | -16,9               |
| R-S3    | 9   | 40         | 63,7            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -35,8             | -3,8                |
| S3-R    | 3   | 40         | 63,7            | 7,2            | 2,5            | 2,5            | -51,5             | -19,5               |
| R-S4    | 9   | 15         | 55,2            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -27,3             | -3,8                |
| S4-R    | 1   | 15         | 55,2            | 9,3            | 2,5            | 2,5            | -40,9             | -17,4               |
| R-S5    | 9   | 40         | 63,7            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -35,8             | -3,8                |
| S5-R    | 6   | 40         | 63,7            | 21,6           | 2,5            | 2,5            | -37,1             | -5,1                |

A Tabela 6 é referente ao Teste 2, tendo uma distância entre o Nó Repetidor e o Nó Sensor 2 chegando a 270 metros, a maior distância entre todos os testes.

**Tabela 6** – *Path loss* e potências de recepção calculadas no Teste 2.

| Teste 2 | Nº. | $d$<br>[m] | $PL(d)$<br>[dB] | $P_t$<br>[dBm] | $G_t$<br>[dBi] | $G_r$<br>[dBi] | $P_r(d)$<br>[dBm] | $P_r(d_0)$<br>[dBm] |
|---------|-----|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|
| ERB-R   | 8   | 38         | 63,3            | 23,5           | 8,0            | 2,5            | -29,3             | 2,3                 |
| R-ERB   | 6   | 38         | 63,3            | 21,6           | 2,5            | 8,0            | -31,2             | 0,4                 |
| R-S1    | 6   | 44         | 64,5            | 21,6           | 2,5            | 2,5            | -37,9             | -5,1                |
| S1-R    | 9   | 44         | 64,5            | 22,9           | 2,5            | 2,5            | -36,0             | -3,2                |
| R-S2    | 6   | 270        | 80,3            | 21,6           | 2,5            | 2,5            | -53,7             | -5,1                |
| S2-R    | 5   | 270        | 80,3            | 26,3           | 2,5            | 2,5            | -49,0             | -0,4                |

Os cálculos realizados para o Teste 3, que não houve Nó Repetidor, podem ser vistos na Tabela 7.

**Tabela 7** – Path loss e potências de recepção calculadas no Teste 3.

| Teste 3 | Nº. | $d$<br>[m] | $PL(d)$<br>[dB] | $P_t$<br>[dBm] | $G_t$<br>[dBi] | $G_r$<br>[dBi] | $P_r(d)$<br>[dBm] | $P_r(d_0)$<br>[dBm] |
|---------|-----|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|
| ERB-S1  | 8   | 166        | 76,1            | 23,5           | 12,5           | 2,5            | -37,6             | 6,8                 |
| S1-ERB  | 5   | 166        | 76,1            | 26,3           | 2,5            | 12,5           | -34,8             | 9,6                 |
| S1-S2   | 5   | 191        | 77,3            | 26,3           | 2,5            | 2,5            | -46,0             | -0,4                |
| S2-S1   | 6   | 191        | 77,3            | 21,6           | 2,5            | 2,5            | -50,7             | -5,1                |
| S2-S3   | 6   | 48         | 65,3            | 21,6           | 2,5            | 2,5            | -38,7             | -5,1                |
| S3-S2   | 7   | 48         | 65,3            | 22,0           | 2,5            | 2,5            | -38,3             | -4,7                |

## 6.2 RSSI do Teste 1

Já a partir do primeiro teste, foi possível analisar os dados da intensidade da RSSI e os relacionando com o horário e a posição de cada Nó Sensor. Os gráficos exibem:

- ERB-R – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido pelo Nó Repetidor, enviado pela ERB, em azul.
- R-S<sub>n</sub> – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido pelo Nó Sensor, enviado pelo Nó Repetidor, em laranja.
- R-ERB – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido pela ERB, enviado pelo Nó Repetidor, em cinza.
- S<sub>n</sub>-R – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido pelo Nó Repetidor, enviado pelo Nó Sensor, em cinza no gráfico.

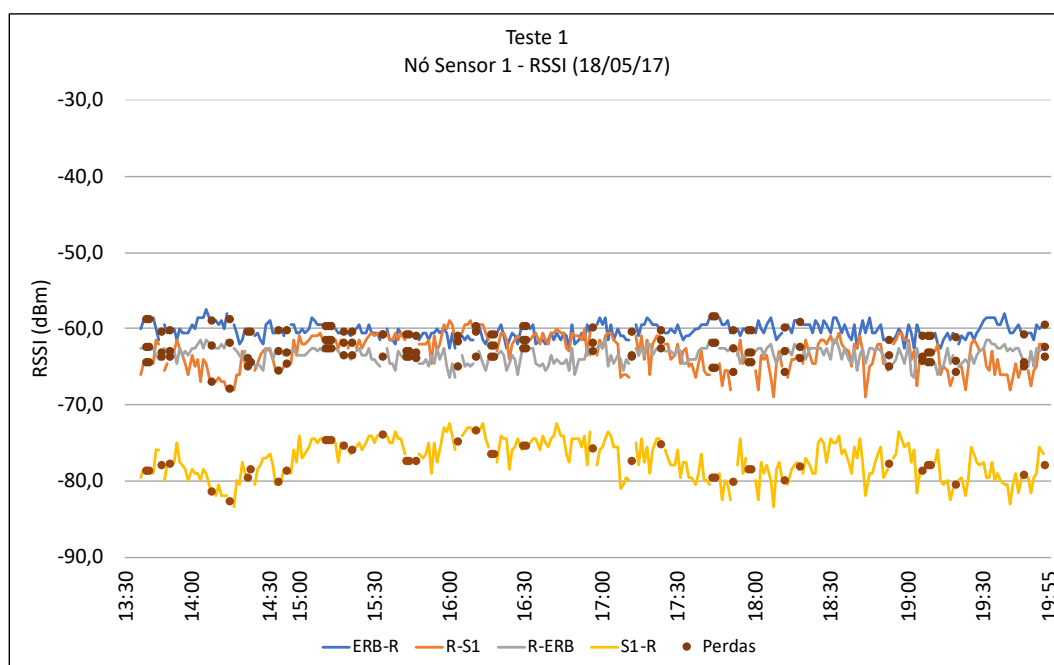
Nós Gráficos 1, 2, 3 e 4 é possível visualizar como os dois módulos de comunicação afetam a rede, o Nó Repetidor utilizou um módulo BE990, transmitindo assim com maior potência, tornando a RSSI R-S<sub>n</sub> maior que a RSSI S<sub>n</sub>-R. Os Nós Sensores de 1 ao 4 estão utilizando o módulo BE900.

Também é possível visualizar nos gráficos do Teste 1 que a RSSI entre o Nó Repetidor e a ERB (ERB-R e R-ERB, em azul e cinza, respectivamente) se mantém inalteradas em todos os Nós, pois a distância entre o Nó Repetidor e a ERB foi a mesma durante todo o teste. Com uma média de -60,2 dBm no sinal *downlink* e de -63,3 dBm no sinal *uplink*. A variação acima e abaixo da média é o elemento  $X_\sigma$ , apresentado na Equação (8).

Como a RSSI é dada em dBm (um valor logaritmo), para realizar a média do sinal é necessário primeiro converter os valores para mW, calcular a média e depois converter novamente para dBm.

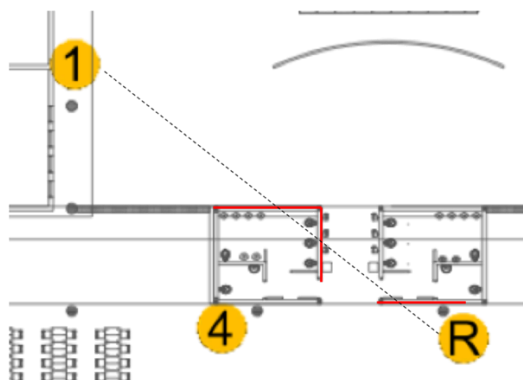
O Gráfico 1 exibe a RSSI do Nó Sensor 1, sua posição foi a menos favorecida, não tendo visada entre o Nó Sensor e o Nó Repetidor. Assim, este foi o Nó Sensor com a maior Taxa de Erro por Pacote (*Packet Error Rate, PER*), chegando a 14,1%. A média da RSSI do R-S1 foi de -62,64 dBm e a do S1-R foi de -76,57 dBm.

**Gráfico 1** – RSSI do Nó Sensor 1 durante o Teste 1.



Por outro lado, devido a sua posição mais reclusa (Figura 37), sua RSSI foi menos afetada pelo tráfego de pessoas, se comparada aos outros Nós Sensores. Em vermelho são as barreiras entre o Nó Sensor e o Nó Repetidor.

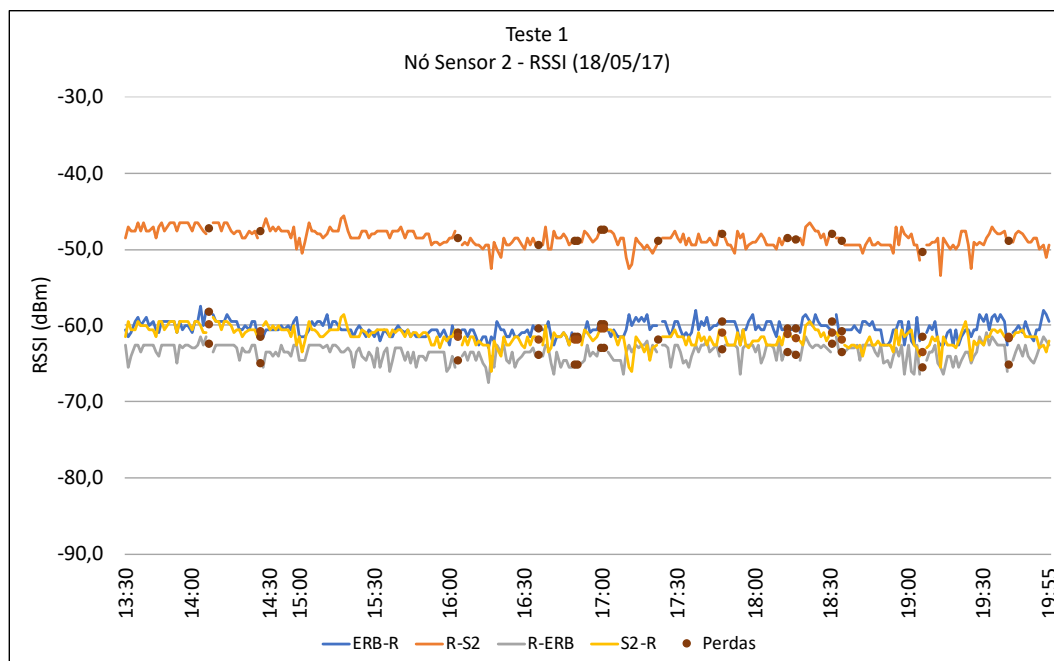
**Figura 37** – Visada do Nó Sensor 1 durante o Teste 1.



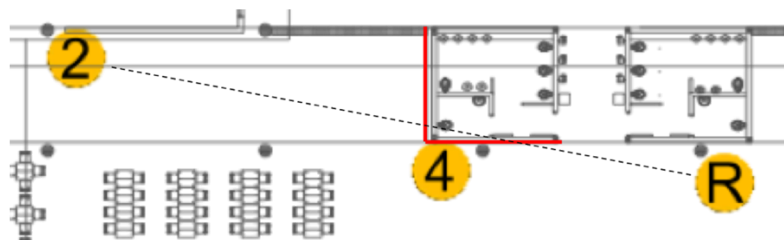
O Nó Sensor 2 também não tinha visada com o Nó Repetidor, mas possuía menos barreiras entre eles (visto na Figura 38), em comparação com o Nó Sensor 1.

Sua RSSI, representada pelo Gráfico 2, está baixa e também teve uma PER considerável, em 5,5%, sua média do R-S2 foi de -48,33 dBm e a do S2-R de -61,32 dBm.

**Gráfico 2** – RSSI do Nó Sensor 2 durante o Teste 1.

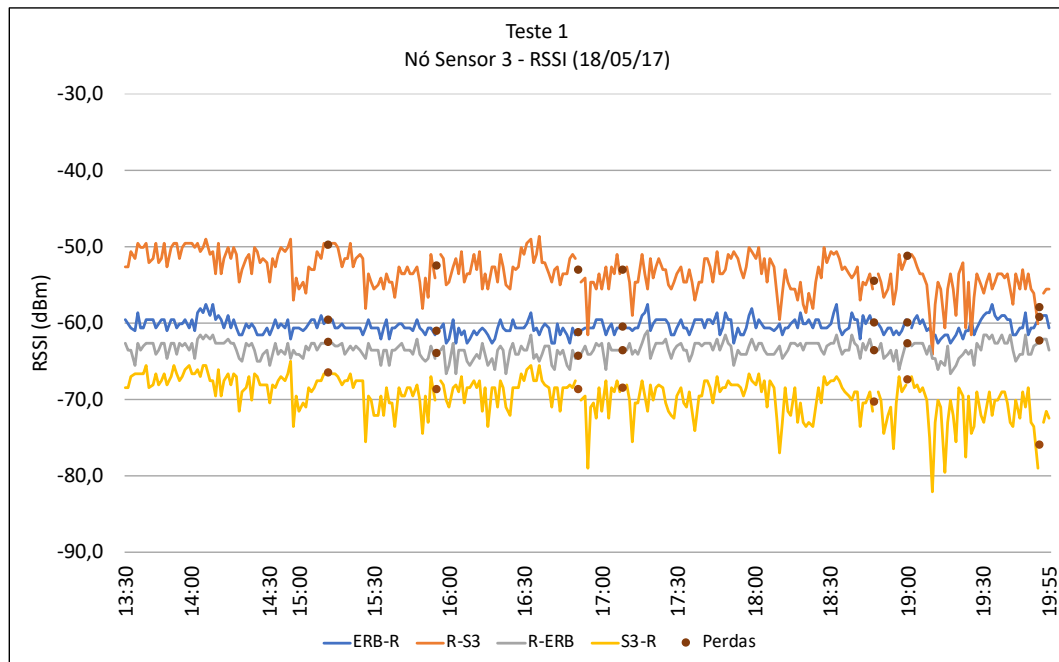
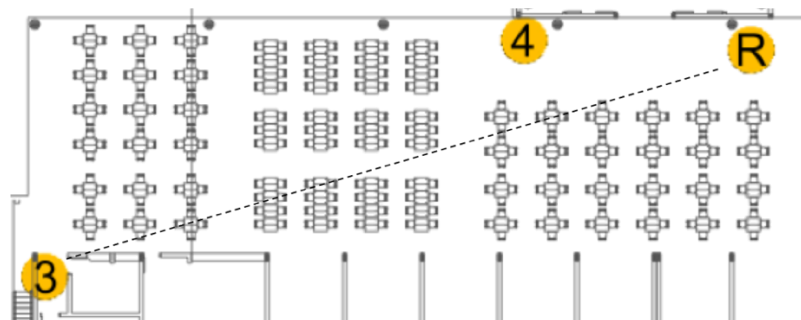


**Figura 38** – Visada do Nó Sensor 2 durante o Teste 1.



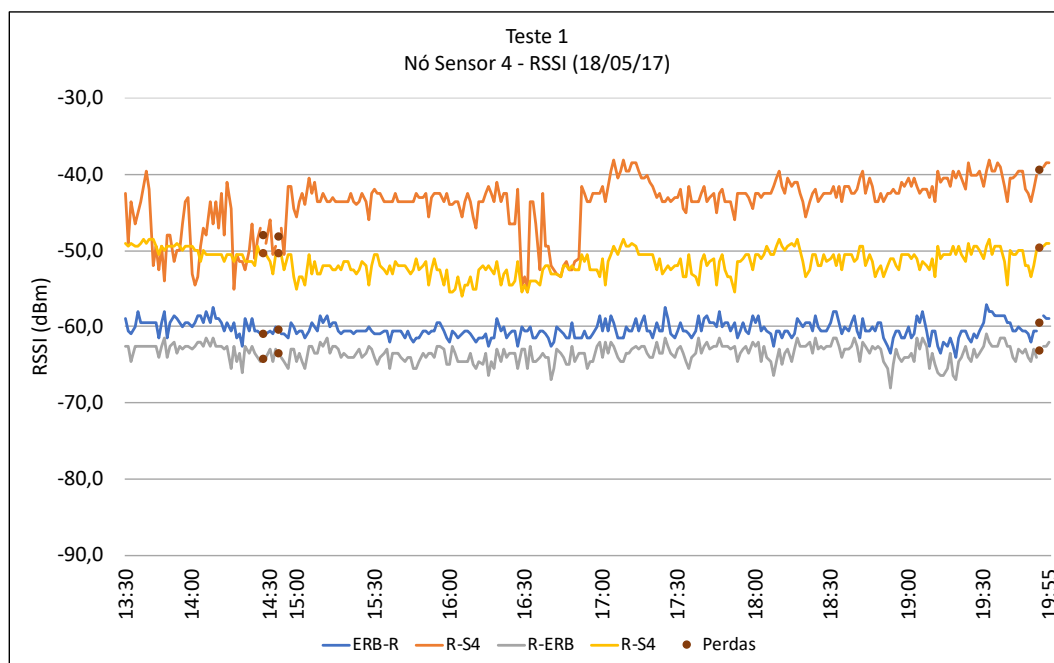
Apesar do Nó Sensor 3 ser o mais distante em relação ao Nó Repetidor, ele possuía visada, visto na Figura 39, tornando sua RSSI e sua perda de pacotes (2,6%), exibida pelo Gráfico 3, melhor em relação ao Nó Sensor 1, que se encontrava a uma menor distância. A RSSI também foi influenciada pela localização, o tráfego de pessoas o tornou mais instável, com sua média de RSSI R-S3 em -52,59 dBm e a do S3-R em -68,80 dBm.



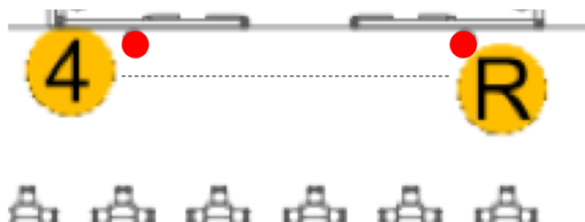
**Gráfico 3 – RSSI do Nó Sensor 3 durante o Teste 1.****Figura 39 – Visada do Nó Sensor 3 durante o Teste 1.**

O Nó Sensor 4 teve sua RSSI, representado pelo Gráfico 4, mais instável devido ao tráfego das pessoas da praça de alimentação e apresentou anomalias de rádio no começo e no final da tarde. A média entre R-S4 ficou em -43,63 dBm e a média do S4-R em -51,20 dBm. Mas por outro lado, o Nó Sensor estava perto do Nó Repetidor e com apenas dois pilares entre eles exibidos em vermelho na Figura 40, resultando em uma PER de 1,3%, a menor de todo o sistema.

**Gráfico 4 – RSSI do Nó Sensor 4 durante o Teste 1.**

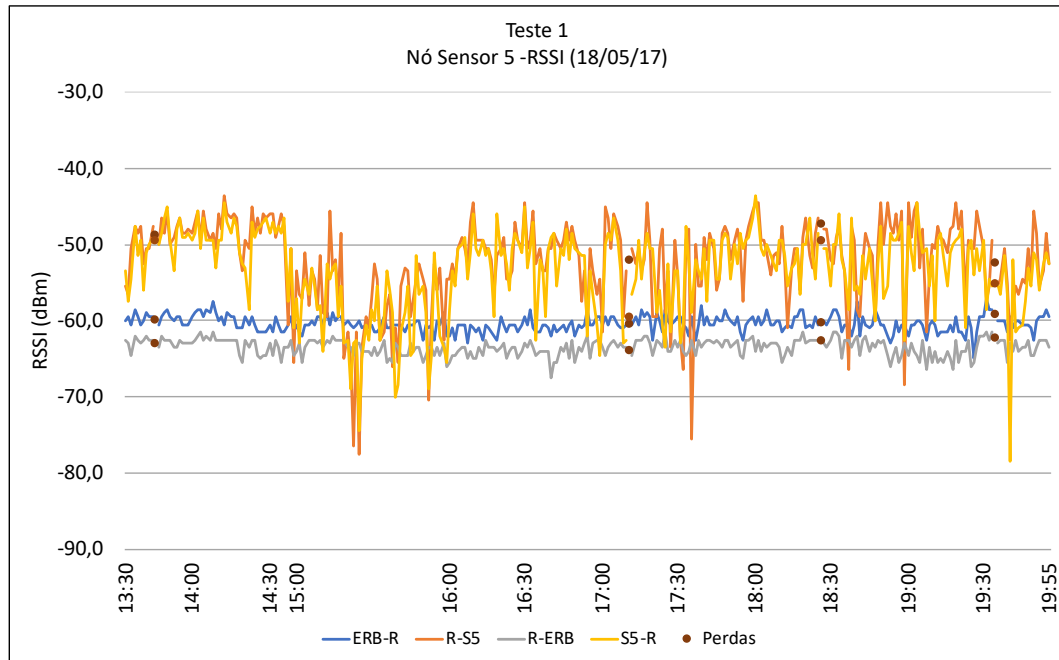


**Figura 40 – Visada do Nó Sensor 4 durante o Teste 1.**

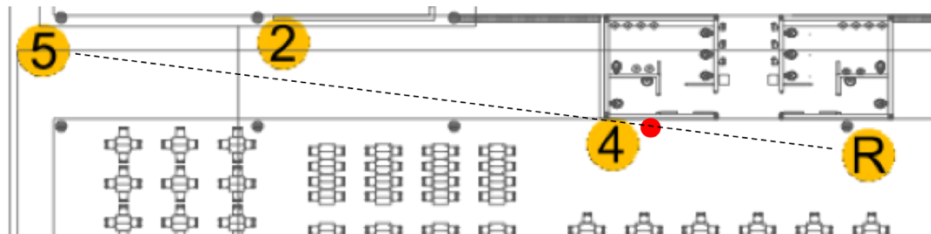


Há uma diferença entre as potências do  $R-S_n$  e  $S_n-R$  nos Nós Sensores 1 a 4 devido aos diferentes módulos de comunicação. A RSSI do Nó Sensor 5, representada pelo Gráfico 5, mostra que quando os módulos de comunicação operam com uma mesma potência, sua RSSI é semelhante. A média do R-S5 ficou em -49,77 dBm e a do S5-R em -50,99 dBm. Devido a posição do Nó Sensor 5, visto na Figura 41, a intensidade do sinal teve mais ruído, tornando o sinal instável, mas teve sua PER em 1,6%.

**Gráfico 5 – RSSI do Nó Sensor 5 durante o Teste 1.**



**Figura 41 – Visada do Nó Sensor 5 durante o Teste 1.**



Após o término do Teste 1, foi possível comparar as potências de recepção medidas e calculadas. E utilizando a Equação (7), foi calculado o expoente de *path loss*, e os resultados podem ser vistos na Tabela 8.

**Tabela 8** – Potências de recepção e expoente do *path loss* do Teste 1.

| Teste 1 | $d$ | $P_r(d)$ [dBm] | $P_r(d)$ [dBm] | $P_r(d_0)$ [dBm] | $\eta$ |
|---------|-----|----------------|----------------|------------------|--------|
|         | [m] | Medida         | Calculada      | Calculada        |        |
| ERB-R   | 106 | -60,2          | -30,9          | 9,6              | 3,4    |
| R-ERB   | 106 | -63,3          | -34,3          | 6,2              | 3,4    |
| R-S1    | 30  | -62,64         | -33,3          | -3,8             | 4,0    |
| S1-R    | 30  | -76,57         | -47,2          | -17,7            | 4,0    |
| R-S2    | 32  | -48,33         | -33,9          | -3,8             | 3,0    |
| S2-R    | 32  | -61,32         | -47,0          | -16,9            | 3,0    |
| R-S3    | 40  | -52,59         | -35,8          | -3,8             | 3,0    |
| S3-R    | 40  | -68,8          | -51,5          | -19,5            | 3,1    |
| R-S4    | 15  | -43,63         | -27,3          | -3,8             | 3,4    |
| S4-R    | 15  | -51,2          | -31,6          | -8,1             | 3,7    |
| R-S5    | 40  | -49,77         | -35,8          | -3,8             | 2,9    |
| S5-R    | 40  | -50,99         | -37,1          | -5,1             | 2,9    |

Como a potência de recepção em  $d$  calculada utilizou o modelo do espaço livre há uma grande diferença com a potência de recepção medida. Em grandes distâncias, essa diferença aumenta. Isso se dá devido ao valor do  $d_0$  ser o mesmo para todos, quando esse valor é alterado de acordo com cada caso, o resultado não é tão discrepante.

De acordo com o expoente de *path loss* (visto Tabela 1), a comunicação entre todos está ocorrendo em uma área aberta sombreada (3 a 5). De acordo com a literatura o expoente de *path loss* deveria ficar em torno de 2 a 3, considerando o seu ambiente.

### 6.3 Teste 2

O Teste 2 começou dia 20/03 e terminou dia 10/04, devido a problemas técnicos causados pela falta de sinal do modem 3G, houve perda de dados em 5 dias. No Apêndice B há um gráfico mostrando em qual dia e horário a rede parou de funcionar.

Devido a possibilidade de configurar o *sleep mode* utilizando o segundo protocolo de roteamento, os Nós Sensores foram programados para dormir a cada 20 min, ou seja, eram enviados três pacotes por hora, economizando energia. A Tabela 9 mostra em quais dias e por quantas horas a rede funcionou e a quantidade de pacotes enviados nesse período.

**Tabela 9** – Duração e quantidade de pacotes do Teste 2.

| Dia        | Sensor 1    |            | Sensor 2    |            |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|            | Duração (h) | Nº pacotes | Duração (h) | Nº pacotes |
| 20/03/2018 | 17          | 49         | 14          | 41         |
| 21/03/2018 | 22          | 62         | 21          | 65         |
| 22/03/2018 | 20          | 55         | 21          | 58         |
| 23/03/2018 | 16          | 45         | 15          | 47         |
| 26/03/2018 | 14          | 37         | 15          | 42         |
| 27/03/2018 | 24          | 67         | 24          | 68         |
| 28/03/2018 | 24          | 66         | 24          | 70         |
| 29/03/2018 | 5           | 16         | 5           | 16         |
| 02/04/2018 | 1           | 1          | 15          | 39         |
| 03/04/2018 | 15          | 40         | 24          | 64         |
| 04/04/2018 | 24          | 48         | 24          | 61         |
| 05/04/2018 | 24          | 61         | 24          | 65         |
| 06/04/2018 | 24          | 65         | 24          | 67         |
| 07/04/2018 | 24          | 64         | 24          | 67         |
| 08/04/2018 | 24          | 56         | 24          | 57         |
| 09/04/2018 | 24          | 66         | 24          | 64         |
| 10/04/2018 | 24          | 65         | 24          | 65         |
| 11/04/2018 | 7           | 20         | 7           | 24         |
| 12/04/2018 | 8           | 20         | 8           | 20         |

### 6.3.1 Grandezas do Teste 2

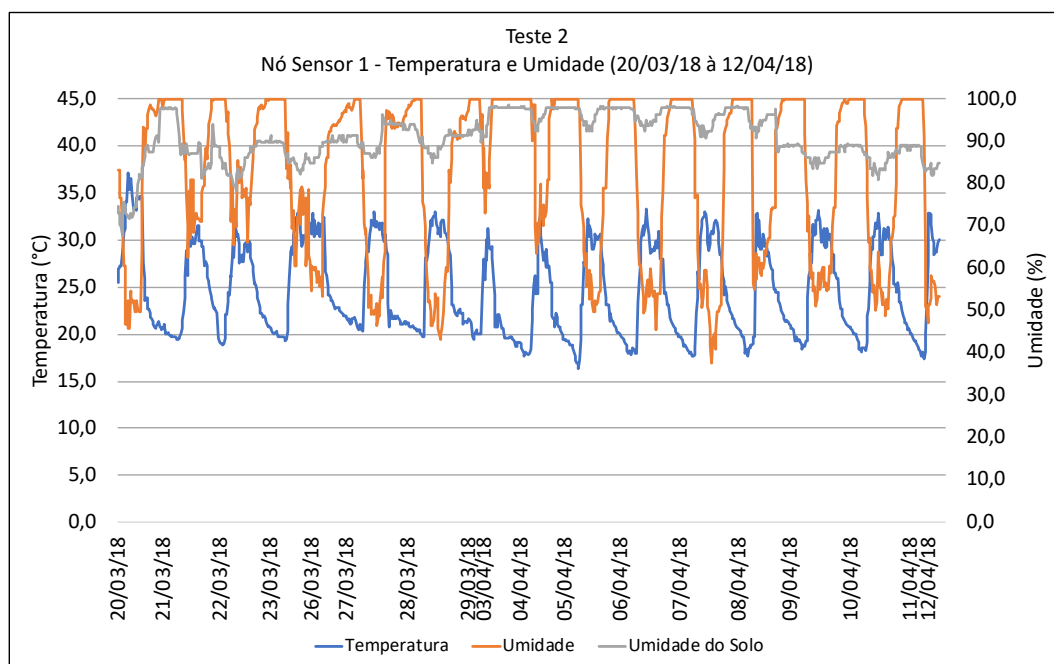
Os Nós Sensores mediram a temperatura do ar, mostrado em azul, a umidade do ar, em laranja e a umidade do solo, exibido em cinza. Devido à grande duração do teste, foram selecionados quatro dias para serem adicionados no Apêndice B, junto com os dados das chuvas do período, obtidos pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI) da Unicamp.

O resultado das grandezas do Nó Sensor 1 pode ser visto no Gráfico 6. A temperatura e a umidade do ar são inversamente proporcionais. Durante o amanhecer, enquanto a temperatura aumenta, a umidade diminui. Ocorrendo o inverso ao anoitecer.

Devido a precipitações, a umidade do ar chegou a 100% todos os dias medidos, mas a umidade do solo não chegou a 100%, devido ao sensor Vegetronix

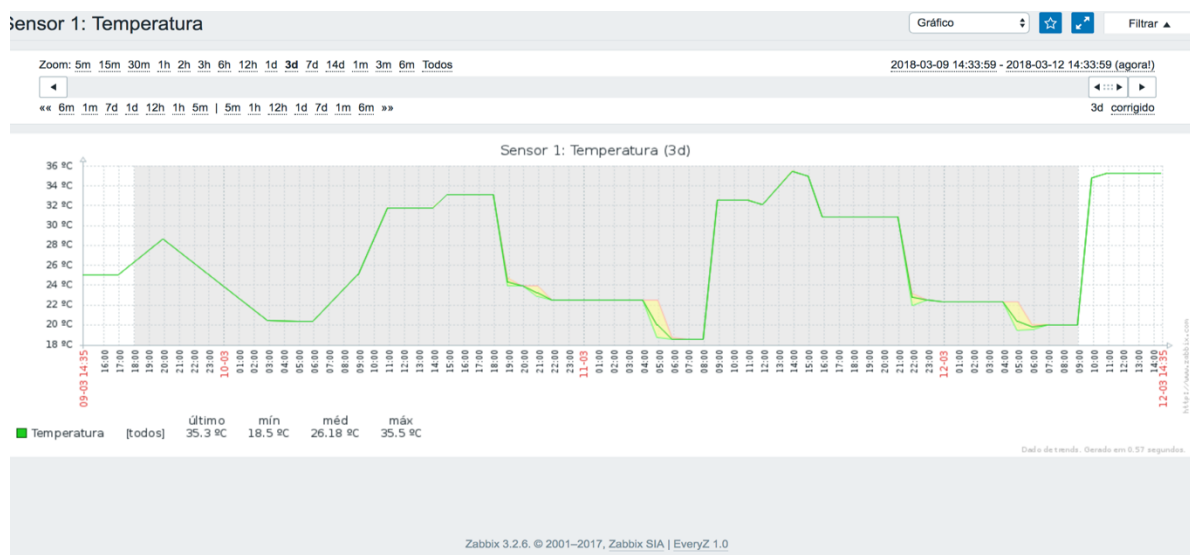
se encontrar a 5 cm abaixo do solo. Essa profundidade foi estipulada por um engenheiro agrônomo consultado antes da realização dos testes.

**Gráfico 6 – Grandezas do Nó Sensor 1 no Teste 2.**



Já o Gráfico 7, mostra a temperatura medida pelo Nó Sensor 1 nos últimos três dias de teste, exibidos na plataforma *middleware* utilizada, o Zabbix. A plataforma exibe as temperaturas mínimas, máximas e média na faixa de tempo selecionada.

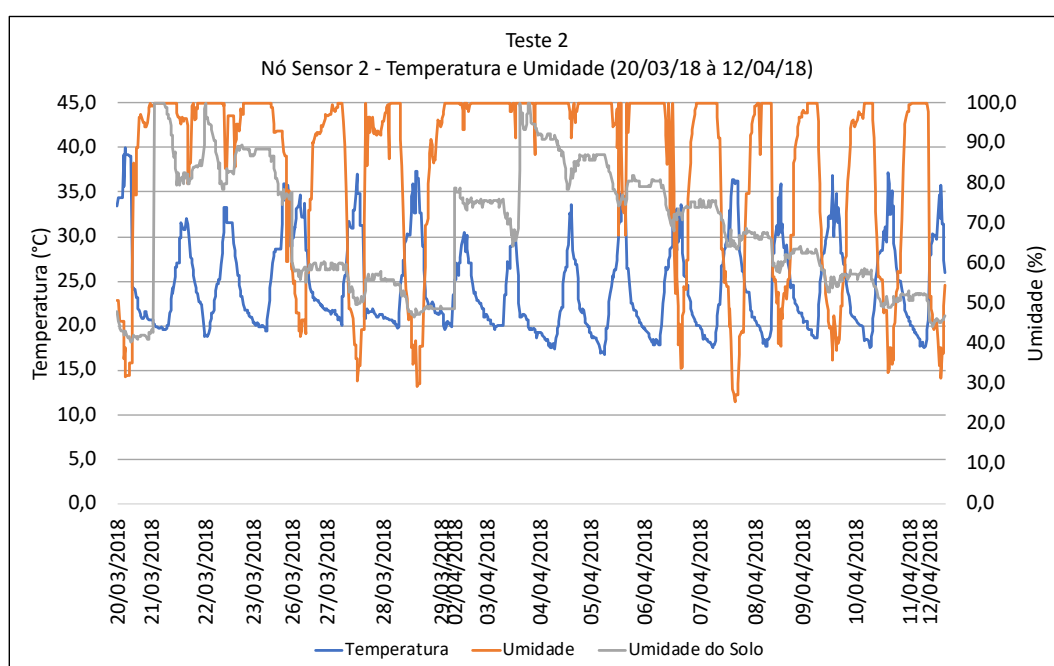
**Gráfico 7 – Temperatura do Nó Sensor 1 no Teste 2, no Zabbix.**



Apesar dos dois Nós Sensores se encontrarem no mesmo campo de futebol, com 226 metros entre eles, os resultados foram diferentes. As grandezas do Nó Sensor 2 estão no Gráfico 8.

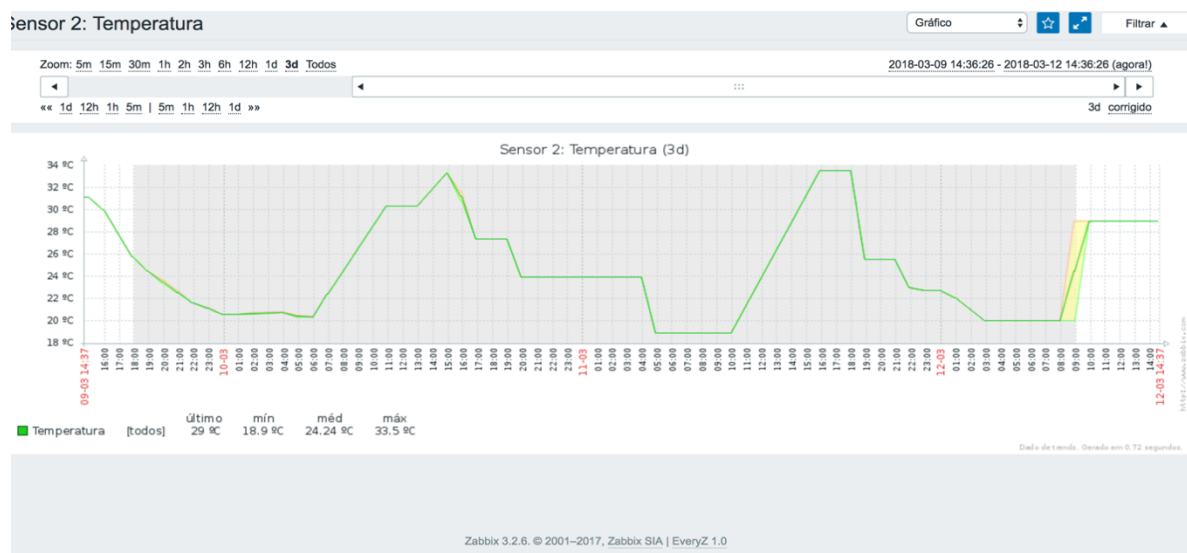
A umidade do ar do Nó Sensor 2 foi abaixo de 30%, algo que não ocorreu no Nó Sensor 1. Outra discrepância pode ser vista na umidade do solo, enquanto no primeiro Nó Sensor esse valor se mantém entre 80% a 100%, no segundo Nó Sensor as medidas variam de 40% a 100%.

**Gráfico 8** – Grandezas do Nó Sensor 2 no Teste 2.



A temperatura do Nó Sensor 2, exibida no Zabbix, está no Gráfico 9. Tendo uma mínima de 18,9 °C, máxima de 33,5 °C e média de 24,24 °C.

Gráfico 9 – Temperatura do Nó Sensor 2 no Teste 2, no Zabbix.



### 6.3.2 RSSI do Teste 2

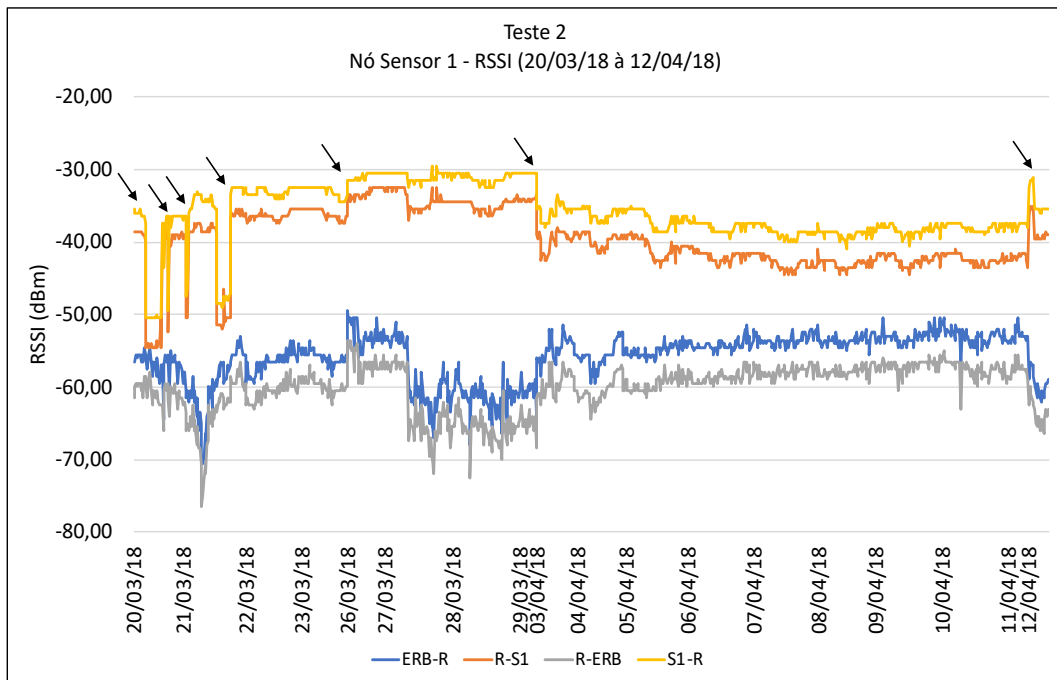
Além das grandezas, também foram monitoradas as RSSIs do sistema. Os gráficos seguem as mesmas legendas estipuladas pelo Teste 1. Azul e cinza representam a comunicação entre a ERB e o Nó Repetidor. E amarelo e laranja a comunicação entre o Nó Repetidor e os Nós Sensores.

Também igual ao Teste 1, o Nó Repetidor e a ERB não se alteraram durante o Teste 2, assim as curvas dos dois gráficos são similares. A RSSI da ERB para o Nó Repetidor teve uma média de -54,84 dBm e do Nó Repetidor para a ERB, uma média de -59,15 dBm.

A RSSI do Nó Sensor 1 está no Gráfico 10, as setas em preto indicam uma variação nas RSSIs, consequência dos momentos em que a rede parou de funcionar. A RSSI R-S1 teve uma média de -37,9 dBm (em laranja) e a RSSI S1-R (em amarelo) teve uma média de -34,50 dBm. Apesar das variações, a comunicação se manteve estável.

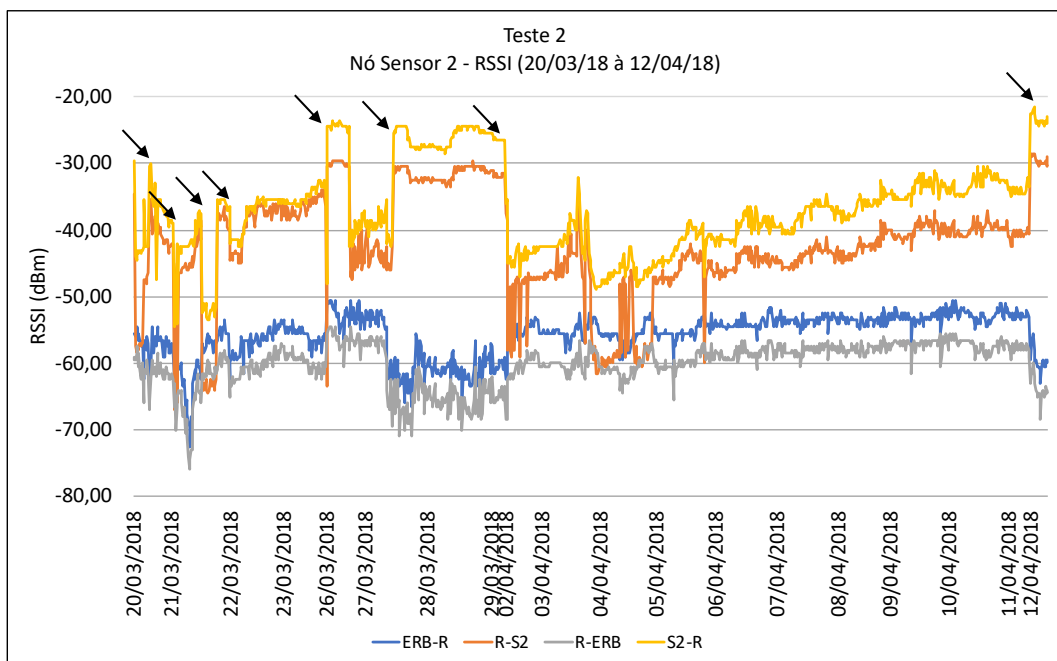


**Gráfico 10 – RSSI do Nó Sensor 1 no Teste 2.**



No caso do Nó Sensor 2, sua RSSI apresentou uma maior variação, vista no Gráfico 11. A média da RSSI enviada pela ERB foi de -42,14 dBm e a enviada pelo Nó Repetidor foi de -36,72 dBm. A diferença entre esses valores é semelhante à diferença vista nas médias do Nó Sensor 1.

**Gráfico 11 – RSSI do Nó Sensor 2 no Teste 2.**



A Tabela 10 mostra as potências de recepção medidas em relação às calculadas. Novamente, pode ser visto o problema de considerar o mesmo  $d_0$ . De acordo com a Equação (6) o expoente de *path loss* não pode ser menor que 2, caso que ocorre na comunicação entre o Nó Repetidor e o Nó Sensor. É necessário realizar ajustes que variam de “link” para “link”.

**Tabela 10** – Potências de recepção e expoente do *path loss* do Teste 2.

| Teste 2 | $d$<br>[m] | $P_r(d)$ [dBm]<br>Medida | $P_r(d)$ [dBm]<br>Calculada | $P_r(d_0)$ [dBm]<br>Calculada | $\eta$ |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------|
| ERB-R   | 38         | -54,8                    | -29,3                       | 2,3                           | 3,6    |
| R-ERB   | 38         | -59,2                    | -31,2                       | 0,4                           | 3,8    |
| R-S1    | 44         | -37,9                    | -37,9                       | -5,1                          | 2,0    |
| S1-R    | 44         | -34,5                    | -36,0                       | -3,2                          | 2,0    |
| R-S2    | 270        | -37,1                    | -53,7                       | -5,1                          | 1,3    |
| S2-R    | 270        | -31,7                    | -49,0                       | -0,4                          | 1,3    |

#### 6.4 Teste 3

O terceiro teste também teve problemas técnicos devido ao esgotamento da bateria, uma tabela com todos os horários em que os pacotes foram perdidos pode ser visto no Apêndice B. A Tabela 11 mostra a duração em horas e a quantidade de pacotes enviados nos três Nós Sensores.

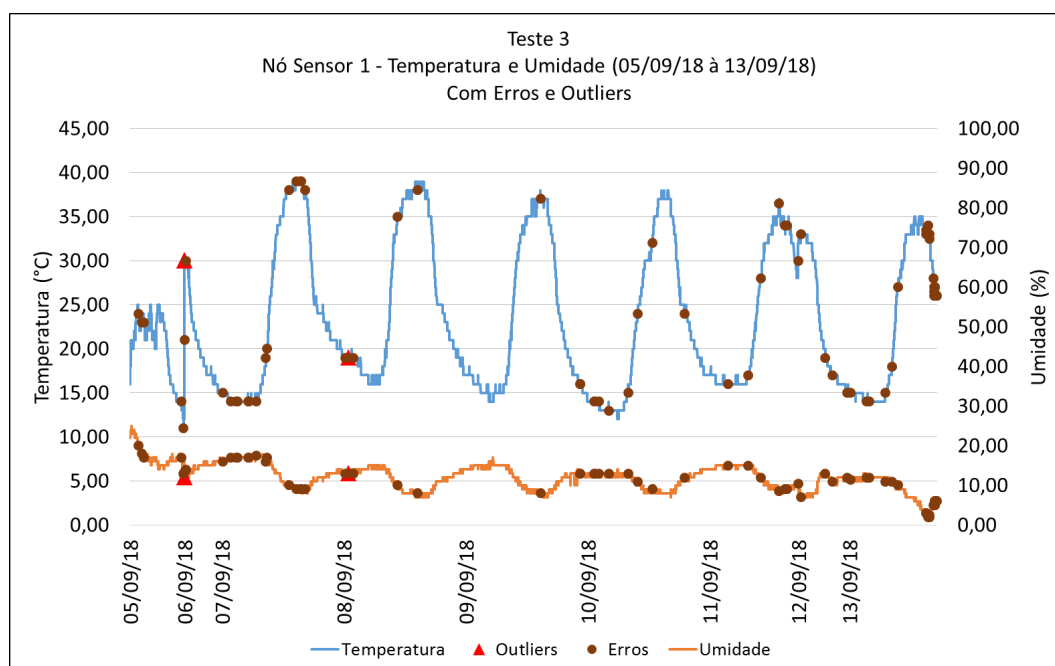
Nesse Teste 3, se o Nó Sensor 1 não recebe sinal, os outros dois Nós Sensores também não vão receber, pois ele roteia os pacotes para o resto da rede. No dia 12/09, exemplo, o Nó Sensor 1 teve uma duração de 11 horas, mas os outros de 12 horas. Os pacotes enviados nessa hora de diferença foram *outliers*, ou seja, valores atípicos, muito fora da média, como uma temperatura de 3000 °C. Os gráficos sem o tratamento de Erros e “Outliers” também se encontram no Apêndice B.

**Tabela 11** – Duração e quantidade de pacotes do Teste 3.

| Dia        | Sensor 1    |            | Sensor 2    |            | Sensor 3    |            |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|            | Duração (h) | Nº pacotes | Duração (h) | Nº pacotes | Duração (h) | Nº pacotes |
| 05/09/2018 | 11          | 904        | 11          | 995        | 11          | 861        |
| 06/09/2018 | 11          | 622        | 9           | 606        | 10          | 589        |
| 07/09/2018 | 24          | 2023       | 24          | 1976       | 24          | 1917       |
| 08/09/2018 | 24          | 2030       | 24          | 1985       | 24          | 1917       |
| 09/09/2018 | 24          | 2027       | 24          | 1993       | 24          | 1924       |
| 10/09/2018 | 24          | 2026       | 24          | 1979       | 24          | 1930       |
| 11/09/2018 | 18          | 1472       | 18          | 1440       | 18          | 1400       |
| 12/09/2018 | 11          | 849        | 12          | 818        | 12          | 802        |
| 13/09/2018 | 17          | 1449       | 18          | 1342       | 18          | 1305       |

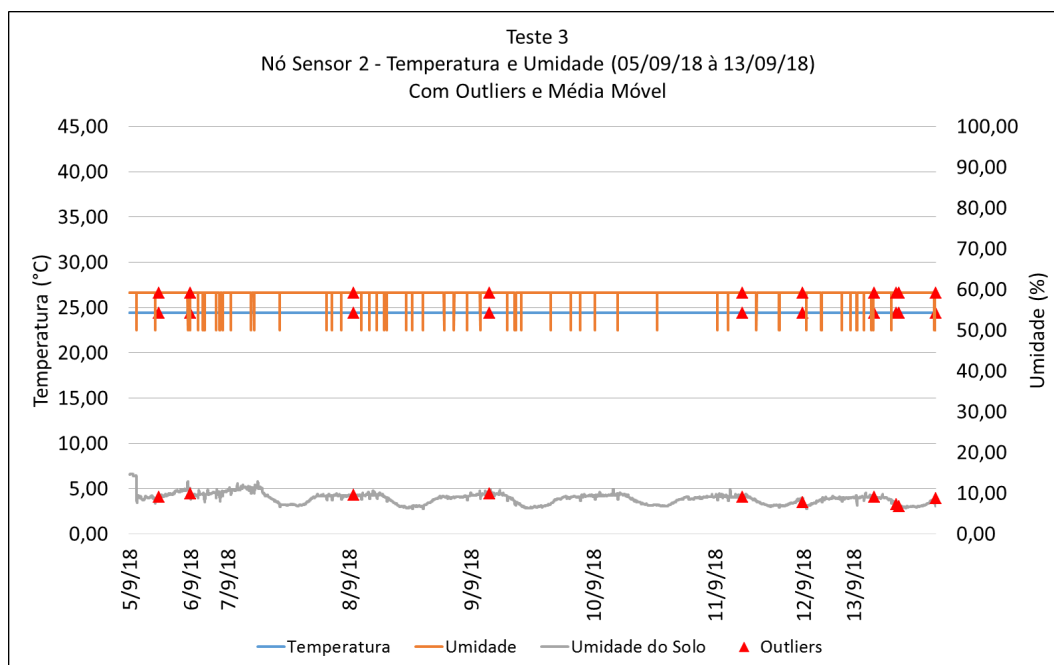
### 6.4.1 Grandezas do Teste 3

O Nó Sensor 1 mediu a umidade e a temperatura do ar, vista no Gráfico 12. Devido à época do ano, a umidade se manteve abaixo dos 20% e a temperatura chegou a 37°C. As bolinhas em marrom mostram os Erros, quando o valor passa de 30°C para 25°C em segundos indica que houve uma falha no sensor.

**Gráfico 12** – Grandezas do Nó Sensor 1 no Teste 3.

Quando a temperatura e a umidade se mantêm no mesmo valor durante 24 horas, é indicação que há falha no sensor, o que pode ser visto no Gráfico 13. O DHT22 teve mau funcionamento, enquanto o Vegetronix mediu corretamente a umidade do solo, também indicando a falta de chuva vista no Nó Sensor 1.

**Gráfico 13** – Grandezas do Nó Sensor 2 no Teste 3.



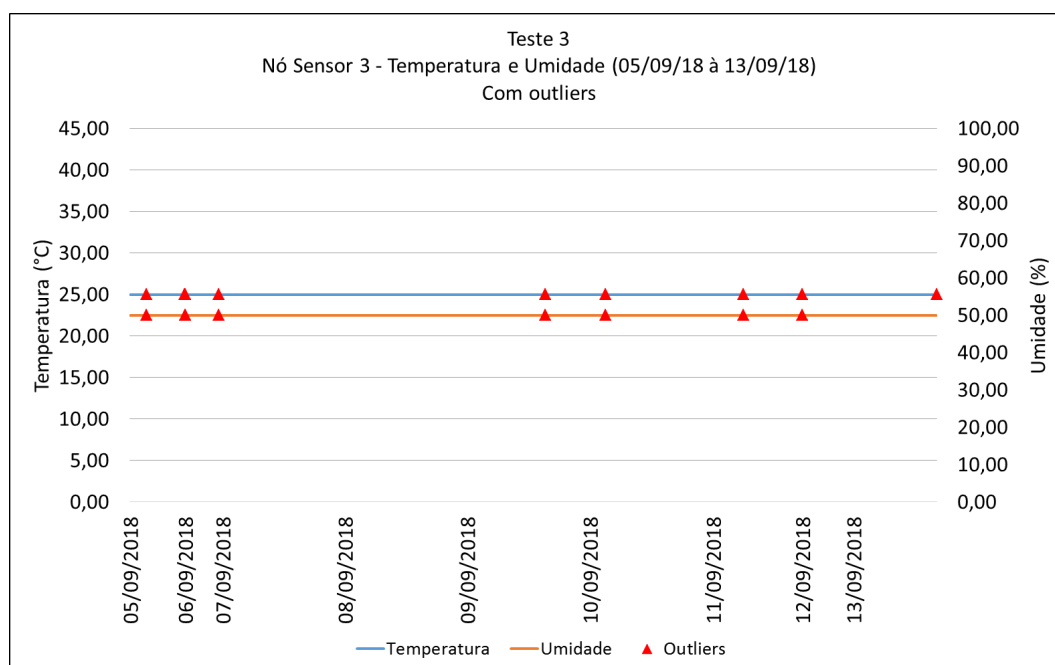
O comportamento do DHT22 do Nó Sensor 2, com os *outliers*, pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Houve temperaturas acima de 2000 °C, enquanto os outros valores ficaram perto de 0°C, devido à escala do gráfico.

**Gráfico 14** – Temperatura do Nó Sensor 2, no Teste 3, com *outliers*.



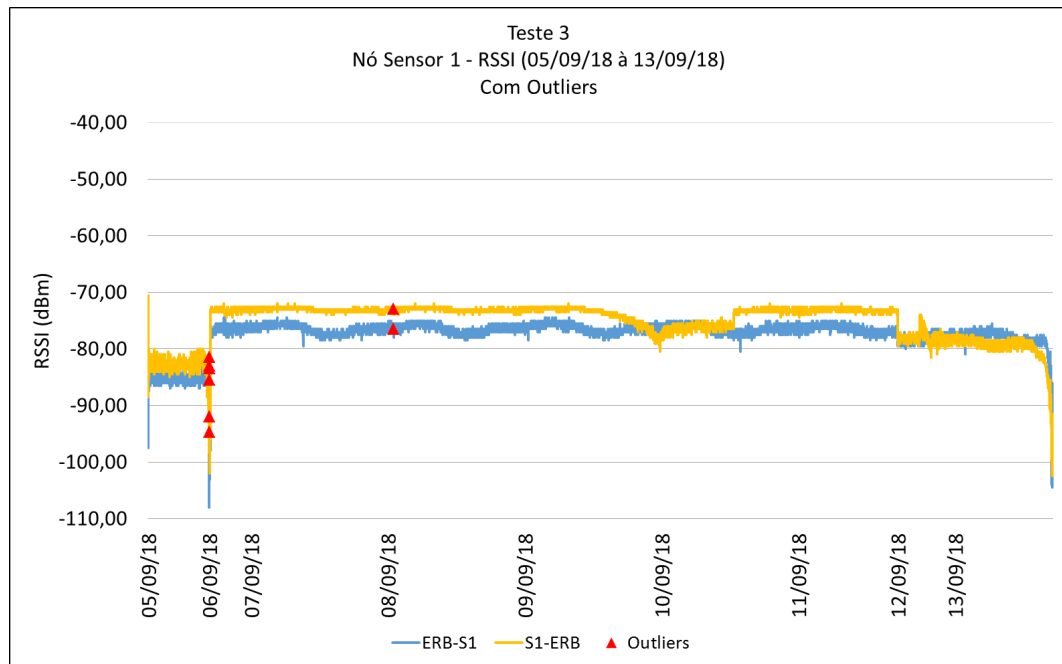
O DHT22 do Nó Sensor 3 também teve mau funcionamento, visto no Gráfico 15. A temperatura se manteve em 25°C e a umidade em 50% durante os 9 dias de teste. Foi vista a necessidade da criação de um alerta no *IoT Proxy Manager* para essas situações.

**Gráfico 15**– Grandezas do Nó Sensor 3 no Teste 3.

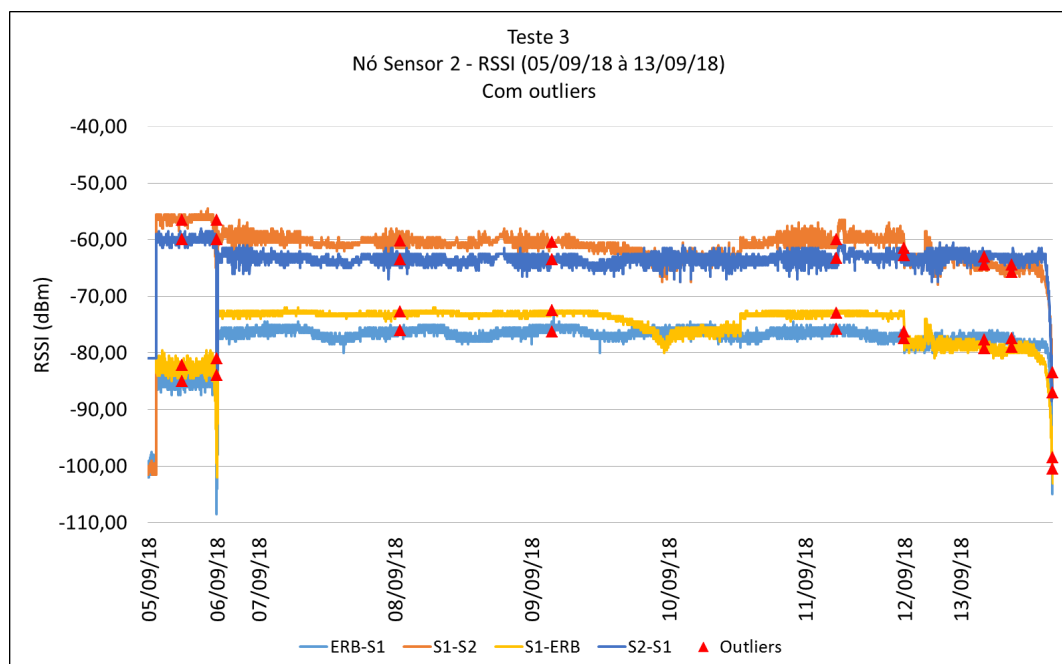


#### 6.4.2 RSSI do Teste 3

A RSSI do Nó Sensor 1 e a ERB foi a mesma nos três Nós Sensores, apresentado em azul claro para ERB-S1, com uma média de -76,90 dBm, e em amarelo a RSSI S1-ERB, tendo uma média de -74,31 dBm. O Gráfico 16 mostra a RSSI durante todo o teste. As quedas bruscas do dia 6/09 e do final do 13/09 mostram quando a bateria acabou, quanto menos energia disponível pior o sinal fica, até ele parar.

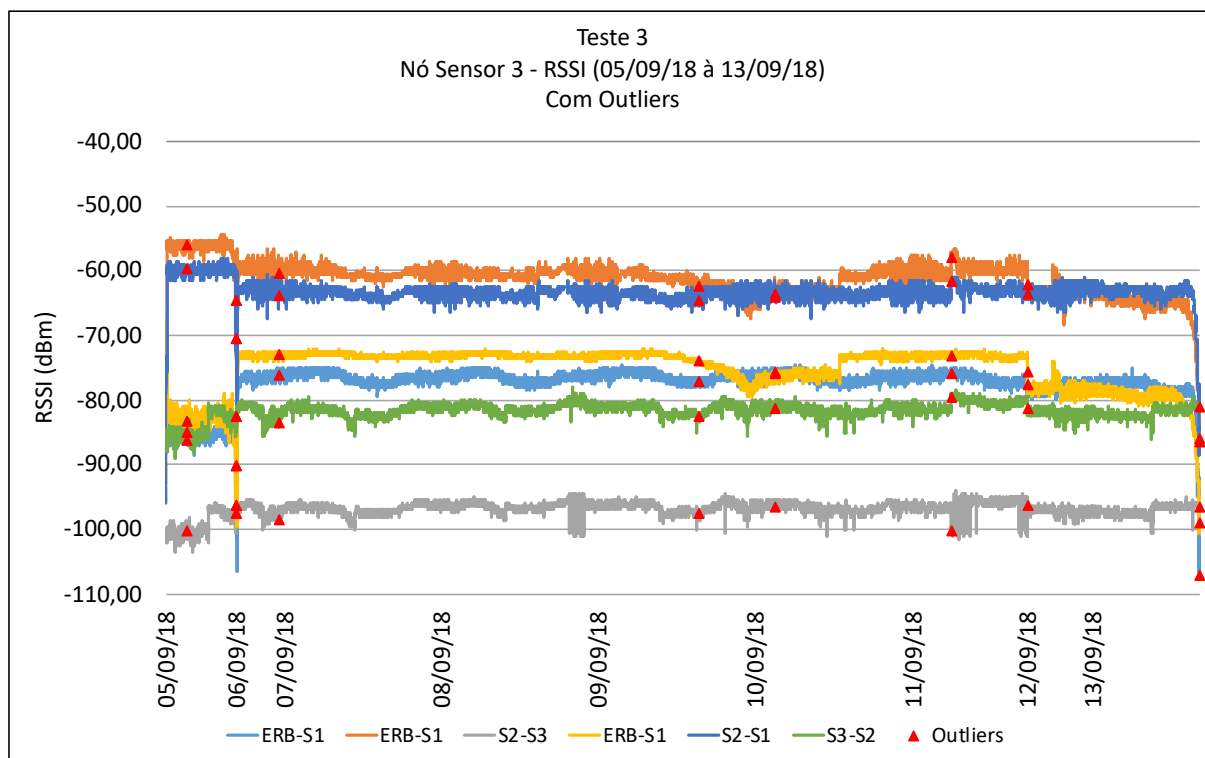
**Gráfico 16 – RSSI do Nó Sensor 1 no Teste 3.**

Como o Nó Sensor 1 era responsável pelo roteamento, a degradação do sinal é repassada para os outros Nós Sensores, resultando na mesma queda vista no Nó Sensor 1. O Gráfico 17 mostra as RSSIs, em laranja é a comunicação do Nó Sensor 1 para o Nó Sensor 2, com uma média de -60,49 dBm. E a resposta dessa comunicação está em azul escuro, com uma média de -62,41 dBm.

**Gráfico 17 – RSSI do Nó Sensor 2 no Teste 3.**

O Gráfico 18 mostra todas as RSSIs da rede. A comunicação do Nó Sensor 2 para o Nó Sensor 3, representado em cinza, teve a pior média do sistema com -96,81 dBm, já o sinal enviado do Nó Sensor 3 para o Nó Sensor 2, em verde, teve uma média de -81,59 dBm. Essa grande diferença indica que ou o transmissor do Nó Sensor 2 ou a recepção do Nó Sensor 3 estava danificado.

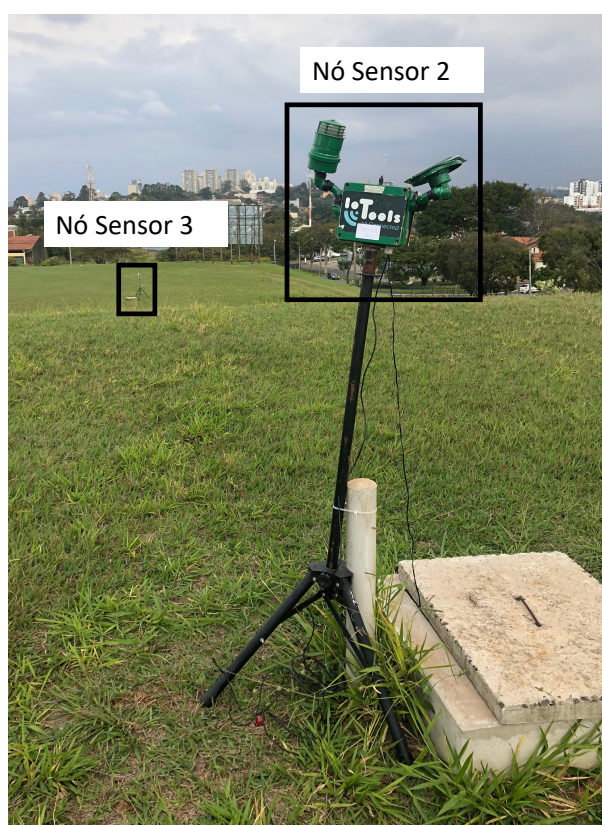
**Gráfico 18** – RSSI do Nó Sensor 3 no Teste 3.



Os cálculos das potências de recepção e do expoente de *path loss* do Teste 3 pode ser visto na Tabela 12. A distância entre o Nó Sensor 2 e o Nó Sensor 3 era a menor da rede, mas havia uma elevação entre eles, visto na Figura 42. Por isso o expoente ficou tão alto.

**Tabela 12** – Potências de recepção e expoente do *path loss* do Teste 3.

| Teste 3 | $d$<br>[m] | $P_r(d)$ [dBm] | $P_r(d)$ [dBm] | $P_r(d_0)$ [dBm] | $\eta$ |
|---------|------------|----------------|----------------|------------------|--------|
|         |            | Medida         | Calculada      | Calculada        |        |
| ERB-S1  | 166        | -76,9          | -37,6          | 6,8              | 3,8    |
| S1-ERB  | 166        | -75,6          | -34,8          | 9,6              | 3,8    |
| S1-S2   | 191        | -60,5          | -46,0          | -0,4             | 2,6    |
| S2-S1   | 191        | -63,0          | -50,7          | -5,1             | 2,5    |
| S2-S3   | 48         | -96,8          | -38,7          | -5,1             | 5,5    |
| S3-S2   | 48         | -81,6          | -38,3          | -4,7             | 4,6    |

**Figura 42** – Visada do Nó Sensor 2 no Teste 3.



## 7 CONCLUSÃO

A proposta original foi a de propor o escopo de uma engenharia de IoT. Isso foi feito utilizando três testes de campo para definir quais os requisitos dessa engenharia. Foram estabelecidas três RSSF distintas, utilizando dois protocolos, coletando grandezas, tratando os dados e os enviando para a Internet.

Por meio do primeiro teste foram vistas quais áreas são necessárias para conseguir instalar uma rede na Universidade. Cinco Nós Sensores e um Nó Repetidor foram utilizados, testando a premissa de um Nó Repetidor e definindo onde a gerência de rede e de dados foi essencial.

O Teste 2 foi mais complexo mesmo com dois Nós Sensores, o segundo protocolo foi implementado, podendo utilizar o *sleep mode*, tornando o teste mais eficiente energeticamente. Foi concluída também a necessidade do armazenamento local, pois nesse teste os dados eram enviados diretamente para a Internet. Caso o 3G falhasse, haveria perda de dados, que de fato ocorreu.

O último teste também teve uma maior duração e uma maior quantidade de pacotes, sendo possível devido a alimentação na rede de energia. Com esse teste foram definidos quais os alertas e alarmes necessários em uma rede, como o caso de um Nó Sensor coletar a mesma temperatura durante 9 dias.

Ao todo os testes foram primordiais para delinear quais os papéis do gerente e operador da rede e do engenheiro de IoT. Os pontos onde os Nós Sensores serão instalados é algo que o engenheiro de IoT precisa verificar junto com o cliente, repassando os dados para o gerente e o operador da rede. Se há algum mau funcionamento da rede, o responsável é o gerente da rede.

A Engenharia de IoT é apenas uma modalidade de outras Engenharias, é necessária uma formação em Engenharia Elétrica ou de Telecomunicações, possuindo conhecimento técnico de sensores, atuadores, tratamento de dados e comunicação sem fio.

Essa Engenharia visa a interlocução com outras áreas específicas, como indústria, agricultura, biologia e até economia, pois é um negócio que está utilizando os serviços desse engenheiro. Cada dado errado pode significar perdas significativas em uma empresa.

Em trabalhos futuros, será realizado um maior estudo sobre o  $d_0$ , a distância de referência. Também é necessário um melhor desenvolvimento do questionário e sobre o escopo de cada área atendida pelo Engenheiro de IoT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUARQOUB, A. *et al.* A Survey on Internet of Thing Enabled Smart Campus Applications. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE NETWORKS AND DISTRIBUTED SYSTEMS - ICFNDS '17, 2., 2017. Cambridge, United Kingdom. **Anais...**New York, NY: ACM, 2017. p. 1-7.

AKEELA, R.; ELZIQ, Y. Design and verification of IEEE 802.11ah for IoT and M2M applications. In: 2017 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS WORKSHOPS, PERCOM WORKSHOPS 2017, 15., 2017. Kona, Hawaii.. **Anais...**New York, NY: IEEE, 2017. p. 491-496.

AKYILDIZ, I. F.; VURAN, M. C. **Wireless Sensor Networks**. Chichester, West Sussex, UK: JohnWiley & Sons, 2010.

AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015.

ALVES, J. R. *Monitoramento de remanescentes florestais urbanos com veículo aéreo não tripulado*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

AOSONG ELECTRONICS. **Temperature and Humidity Module, DHT11**. Huangpu District, Guangzhou: Aosong Electronics, [s.d.]. Disponível em: <[http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_DHT11.pdf](http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf)>.

AOSONG ELECTRONICS. **Temperature and humidity module DHT22**. Huangpu District, Guangzhou: Aosong Electronics, [s.d.]. Disponível em: <[https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_DHT22\\_AM2302.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf)>.

ARC WIRELESS SOLUTIONS. **Standalone Panel Antenna** Denver, Colorado: ARC Wireless Solutions, [s.d.]. Disponível em: <[http://www.antennas.com/pdfs/ARC-PA0913B01\\_DS\\_090811.pdf](http://www.antennas.com/pdfs/ARC-PA0913B01_DS_090811.pdf)>.

AUGUSTIN, A. *et al.* A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. **Sensors**, v. 16, n. 12, p. 1466, 2016.

BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP. *Our History*. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/about-us/our-history>>. Acesso em: 25 set. 2017a.

BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP. *How it works*. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works>>. Acesso em: 25 set. 2017b.

BRANQUINHO, O. **Tecnologias de Redes sem Fio**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP, 2014.

BUFFHAM, M. *Is your product “Powered by Raspberry Pi”? - Raspberry Pi*. 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/blog/powered-by-raspberry-pi/>>. Acesso em: 5 jun. 2018.

CISCO SYSTEMS INC. **The Internet of Things Reference Model**. San Jose, California: Cisco Systems Inc., 2014. Disponível em: <[http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT\\_Reference\\_Model\\_White\\_Paper\\_June\\_4\\_2014.pdf](http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2018.

CPQD. *Documentação do dojot — documentação dojot 0.2.0*. 2018. Disponível em: <[https://dojotdocs-ptbr.readthedocs.io/pt\\_BR/latest/index.html](https://dojotdocs-ptbr.readthedocs.io/pt_BR/latest/index.html)>. Acesso em: 2 out. 2018.

DA CRUZ, M. A. A. *et al.* A Reference Model for Internet of Things Middleware. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 2, p. 871–883, 2018.

DÉO, A. L. B.; BRANQUINHO, O. C. Zabbix Aplicado a IoT com Foco no Mercado de Pequenas e Médias Empresas. In: BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM 2017, 3., 2017. Campinas São Paulo. **Anais...** Campinas, São Paulo: BTSym '17, 2017. p. 1-6.

DOJOT. *O que é a DoJot Tecnologias da IoT para cidades inteligentes*. 2017. Disponível em: <<http://www.dojot.com.br/sobre-a-dojot-iot/>>. Acesso em: 23 maio. 2018.

GAILLARD, G. *et al.* Service Level Agreements for Wireless Sensor Networks: A WSN operator's point of view. In: 2014 IEEE NETWORK OPERATIONS AND MANAGEMENT SYMPOSIUM (NOMS), 14., 2014. Krakow, Poland. **Anais...**New York, NY: IEEE, 2014. p. 1-8.

HAO, Y.; FOSTER, R. Wireless body sensor networks for health-monitoring applications. **Physiological measurement**, v. 29, n. 11, p. 1-43, 2008.

IEEE COMPUTER SOCIETY. **IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 15.1a: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Wireless Personal Area Networks (WPAN)IEEE Std 802.15.1-2005 (Revision of IEEE Std 802.15.1-2002)**. New York, NY: IEEE, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1490827/>>.

IEEE COMPUTER SOCIETY. **IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)IEEE Std 802.15.4-2011 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2006)**. New York, NY: IEEE, 2011.

IEEE COMPUTER SOCIETY. **IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) SpecificationsIEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012)**. New York, NY: IEEE, 2016.

IOT-OSRM. *Modelo de referência*. 2018. Disponível em: <<http://www.iot-osrm.cc/>>. Acesso em: 29 out. 2018.

IOTOOLS. *DK – IoTools*. 2017. Disponível em: <<https://iotools.com.br/produto/dk-iotools/>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

ITU-T. **TMN Management FunctionsITU-T Recommendation M.3400**. Geneva,

Switzerland: ITU-T, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-M.3400/en>>.

KLC CONECTORES. **SMA 50 Ohms**. São Paulo, SP: KLC Conectores, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.klc.ind.br/2013/produtosD.php?P=11>>.

KONKER. *Konker - A plataforma Konker*. Disponível em: <<http://www.konkerlabs.com/>>. Acesso em: 29 out. 2018.

KUMAR, S. T.; SABA, N. U.; SRIRAKSHA, T. A. An IOT Based Secured Smart e-Campus. **International Journal of Humanities and Social Science Invention**, v. 6, n. 3, p. 88–93, 2017.

L-COM. **HyperLink Wireless 900 MHz 8 dBi Professional High Performance Omni Antenna Model: HG908U-PRO**. North Andover, Massachusetts: L-com, [s.d.]. Disponível em: <[http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS\\_HG908U-PRO.PDF](http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG908U-PRO.PDF)>.

LI, L. *et al.* The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid. In: PROCEEDINGS OF THE 2011 6TH IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, ICIEA 2011, 6., 2011. Beijing, China. **Anais...**New York, NY: IEEE, 2011. p. 789-793.

MARIK, O.; ZITTA, S. Comparative analysis of monitoring system for data networks. In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA COMPUTING AND SYSTEMS (ICMCS), 3., 2014. Marrakech, Morocco. **Anais...**New York, NY: IEEE, 2014. p. 563-568.

MATTHIESEN, E. *et al.* Multi-Hop Protocol to Extend Signal Coverage. In: THE ELEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSOR TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS, 11., 2017. Rome, Italy. **Anais...** Wilmington, Delaware: IARIA, 2017. p. 37-39.

MEKKI, K. *et al.* A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. **ICT Express**, 2018.

MENEGOTTO, J. L. Sensoriamento da Edificação: Um Sistema de Localização Baseado em Beacons BLE. In: VII ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015. Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 264-274.

MINI CIRCUITS. **SMA Fixed Attenuator VAT-10+** Brooklyn, NY: Mini-Circuits, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.minicircuits.com/pdfs/VAT-10+.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017a.

MINI CIRCUITS. **SMA Fixed Attenuator VAT-30+** Brooklyn, NY, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.minicircuits.com/pdfs/VAT-30+.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017b.

OLIVEIRA, R. F. *Proposta de um Proxy Manager Para Internet das Coisas*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless communications : principles and practice**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.

RASPBERRY PI. *Raspberry Pi* 3. Disponível em:

<<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

RAZA, U.; KULKARNI, P.; SOORIYABANDARA, M. Low Power Wide Area Networks: An Overview. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 19, n. 2, p. 855–873, 2017.

STALLINGS, W.; ADDISON-WESLEY. **SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management**. 2. ed. Redwood City, California: Addison Wesley Longman Publishing Co., 1996.

TAGO. *Tago*. Disponível em: <<https://tago.io/>>. Acesso em: 23 maio. 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **850 – 950 MHz RF Front End**. Dallas, Texas: Texas Instruments, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1190.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2017<sup>a</sup>.

TEXAS INSTRUMENTS. **Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver Applications**. Dallas, Texas: Texas Instruments, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>>.

VEGETRONIX. *VH400 Rev A to Rev G: VWC to Voltage Curves*. Disponível em: <<https://www.vegetronix.com/Curves/VH400-RevA/VG400-RevA-Curves.phtml>>. Acesso em: 4 nov. 2018.

VEGETRONIX. **VH400 Soil Moisture Sensor Probes**. Riverton, Utah: Vegetronix, 2016. Disponível em: <<http://vegetronix.com/Products/VH400/>>. Acesso em: 23 maio. 2018.

WI-FI ALLIANCE. **Wi-Fi CERTIFIED™ n: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi® Networks Executive Summary**. Austin, Texas: Wi-Fi Alliance, 2009. Disponível em: <[https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/wp\\_20091006\\_802\\_11n\\_Industry\\_20120319\\_0.pdf](https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/wp_20091006_802_11n_Industry_20120319_0.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2017.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Esse questionário é apenas uma primeira versão, uma sugestão de início que pode ser aprimorada em trabalhos futuros.

### Questionamentos Rede XYZ

1. Quantos sensores serão instalados?
2. Qual canal será utilizado?
3. Qual o tipo de Antena?
4. A antena é do tipo Interna ou Externa?
5. Qual o tipo de Rádio?
6. Qual a potência ajustada de Transmissão?
7. Será realizado offset do medidor de potência?
8. Qual a taxa de transmissão?
9. Qual a potência efetiva de transmissão?
10. Será utilizado Repetidor?
11. Caso Afirmativo - Qual a distância física:
  - A) Repetidor em relação à base
  - B) Cada um dos sensores em relação ao repetidor
  - C) O Repetidor realizará alguma coleta? Qual (is)?
6. Caso Negativo - Qual a distância física:
  - A) Cada um dos sensores em relação à Base

### Para cada um dos sensores responda:

7. Os sensores são analógicos ou digitais?
8. Qual o modelo do sensor?
9. Como será a alimentação desse sensor?
  - A) Alimentação Externa (Tomada)
  - B) Alimentação Interna por bateria (Pilha)
  - C) Alimentação Externa por bateria (12V)
  - D) Alimentação Interna por bateria de Chumbo
  - E) Alimentação Interna por bateria de Lítio
10. O Sensor possui Pannel Fotovoltaico?
11. Caso Afirmativo:
  - A) Quantos Painéis?
  - B) Qual a Potência?
  - C) Qual a Tensão?
12. O sensor será Indoor ou Outdoor?
13. O sensor precisará de proteção extra? Qual a classificação de acordo com o [IP](#)?
  - A) Camuflagem
  - B) Prova d'água
14. Quais coletas serão realizadas?
15. Para cada item:

- A) Como o dado será enviado?
    - a. Digital (0-1023)
    - b. Analógico (Multiplica por 100 no envio e Divide por 100 na recepção)
  - B) Qual o tempo de coleta?
  - C) Qual o período de retenção de coletas individuais?
  - D) Qual o período de retenção de média diária de coletas?
16. Você gostaria de apresentar os dados em forma de gráficos? Quais dados e quais tipos de gráficos?
17. Você gostaria de apresentar os dados em forma de mapas? Quais mapas - Planta Baixa, Mapa para o Operador da Rede, Exibição de Links?
18. Você gostaria de agregar vários valores em uma única tela? Quais valores?
19. Você gostaria de apresentar essas telas de forma dinâmica (Slide Shows)? De quanto em quanto tempo?
20. Você gostaria de estabelecer thresholds? Quais valores e para quais métricas?
21. Você gostaria de ser alertado caso algum sensor pare de funcionar? De que maneira (E-mail, SMS, Telegram)? Após quanto tempo de inatividade?
22. Você gostaria de ser alertado caso alguma métrica atinja determinado thresholds? De que maneira (E-mail, SMS, Telegram)? Após quanto tempo de inatividade?



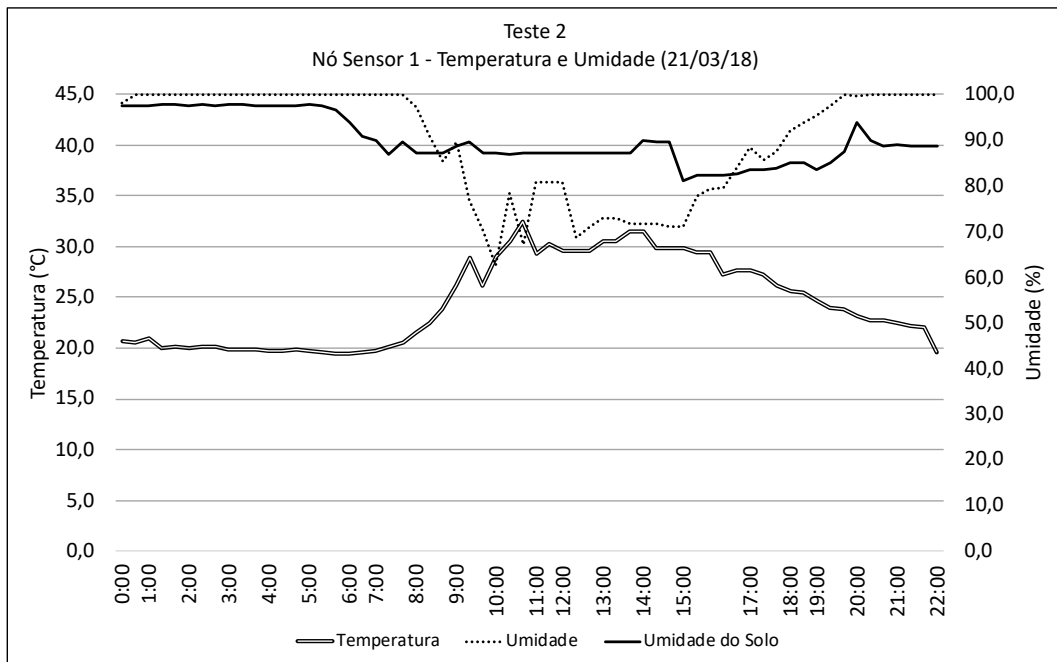
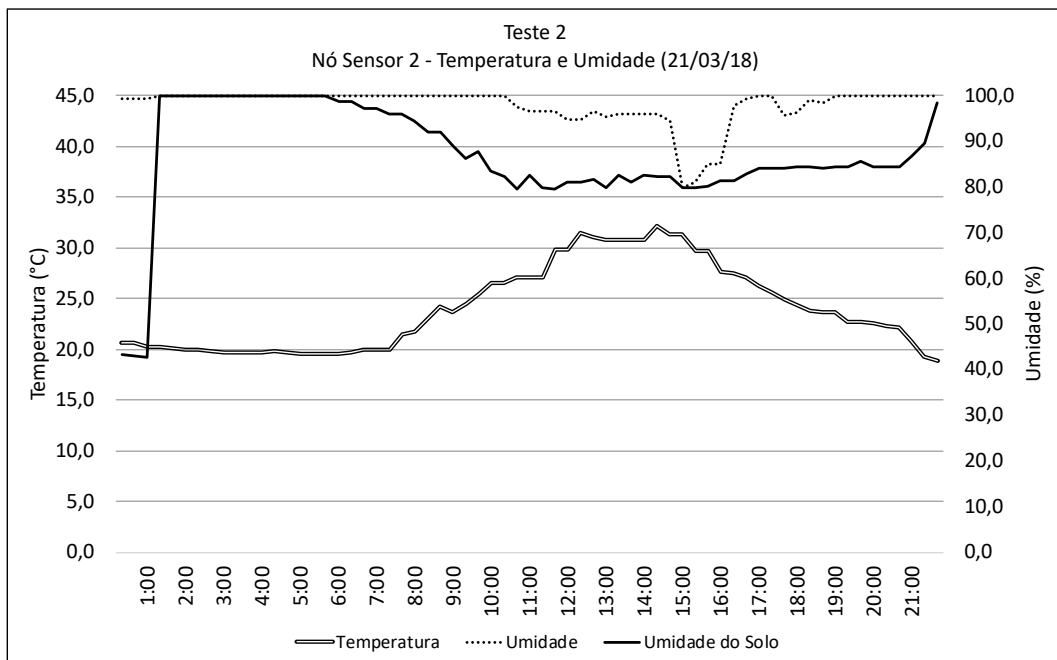
## APÊNDICE B – TESTES 2 E 3

A Tabela 13 mostra todos os horários que houve perda de pacote durante o Teste 2.

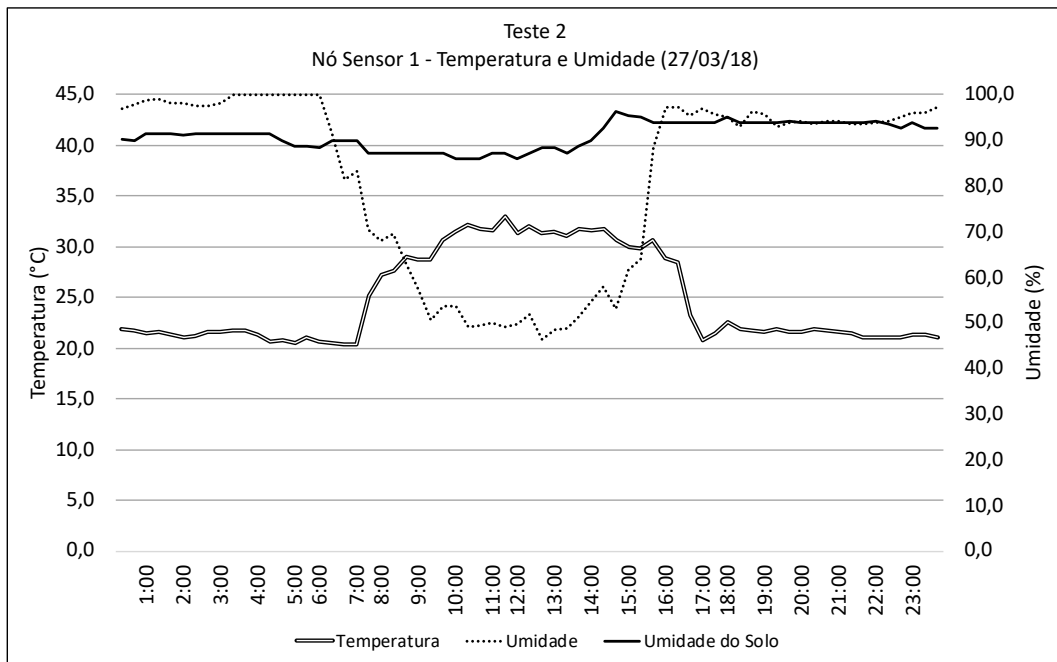
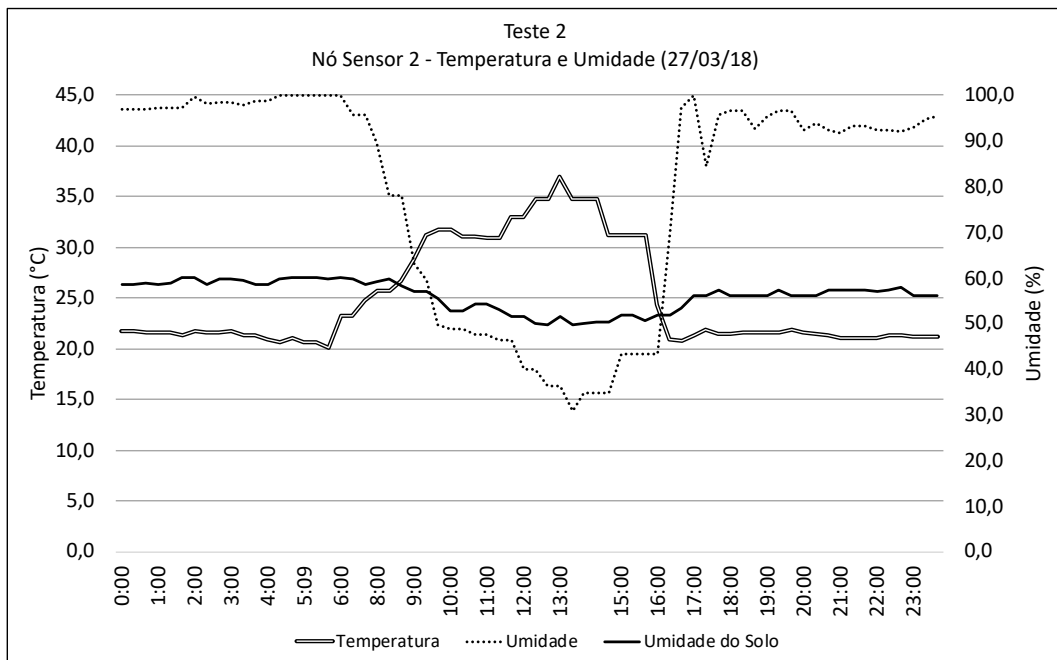
**Tabela 13 – Horário de funcionamento do Teste 2.**

|         |    | Teste 2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
|         |    | 20/3    | 21/3 | 22/3 | 23/3 | 24/3 | 25/3 | 26/3 | 27/3 | 28/3 | 29/3 | 30/3 | 31/3 | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 5/4 | 6/4 | 7/4 | 8/4 | 9/4 | 10/4 | 11/4 | 12/4 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |
| 00:00   |    |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 01:00   |    |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 02:00   |    |         | 1    | 2    |      |      | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 03:00   |    |         | 1    | 2    |      |      | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 04:00   |    |         | 1    | 2    |      |      | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 05:00   |    |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 06:00   |    |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 07:00   | 1  |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 08:00   | 1  |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 09:00   | 1  |         | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |      |     |     |     | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |   |   |
| 10:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 12:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 13:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 14:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 15:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 16:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 17:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 18:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 19:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 20:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 21:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 22:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 23:00   | 1  |         | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |      |      |      |      |     |     |     |     | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1    | 2    | 1    | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Pacotes | 49 | 41      | 62   | 65   | 55   | 58   | 45   | 47   |      |      |      |      |      |     |     |     | 1   | 39  | 40  | 64  | 48  | 61  | 65   | 65   | 67   | 64 | 67 | 56 | 57 | 66 | 64 | 65 | 65 | 20 | 24 | 20 | 20 |   |   |   |   |   |   |   |

Os Gráficos 19 e 20 estão exibindo os dados de temperatura e umidade do ar e umidade do solo dos Nós Sensores 1 e 2, medidos no dia 21/03 que teve uma precipitação de 21,08 mm. Em ambos, é possível visualizar a pequena variação dos valores das umidades, se mantendo na faixa entre 70 e 100%, a temperatura possui um comportamento padrão, sendo crescente a partir das 7 horas (nascer do Sol) e decrescente a partir das 18 horas (pôr do Sol).

**Gráfico 19 – Temperatura e umidade do Nó Sensor 1, dia 21/03.****Gráfico 20 – Temperatura e umidade do Nó Sensor 2, dia 21/03.**

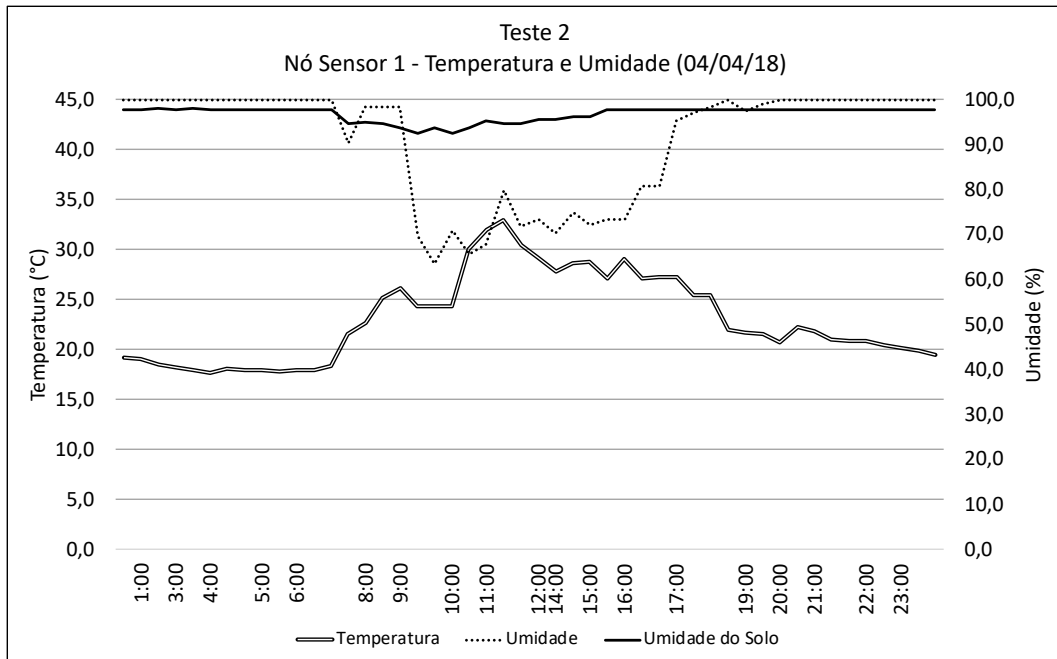
O segundo dia representado foi em 27/03, que não ocorreu precipitação. O Gráfico 21 mostra as grandezas medidas pelo Nó Sensor 1, a maior temperatura registrada foi de 33°C, a umidade do solo ficou em cerca de 90%. Já o Gráfico 22 representa o Nó Sensor 2, mostrando que há uma maior incidência solar, o seu valor máximo de temperatura foi de 37°C, e a umidade do ar chegou a 30% às 13 horas.

**Gráfico 21 – Temperatura e umidade do Nó Sensor 1, dia 27/03.****Gráfico 22 – Temperatura e umidade do Nó Sensor 2, dia 27/03.**

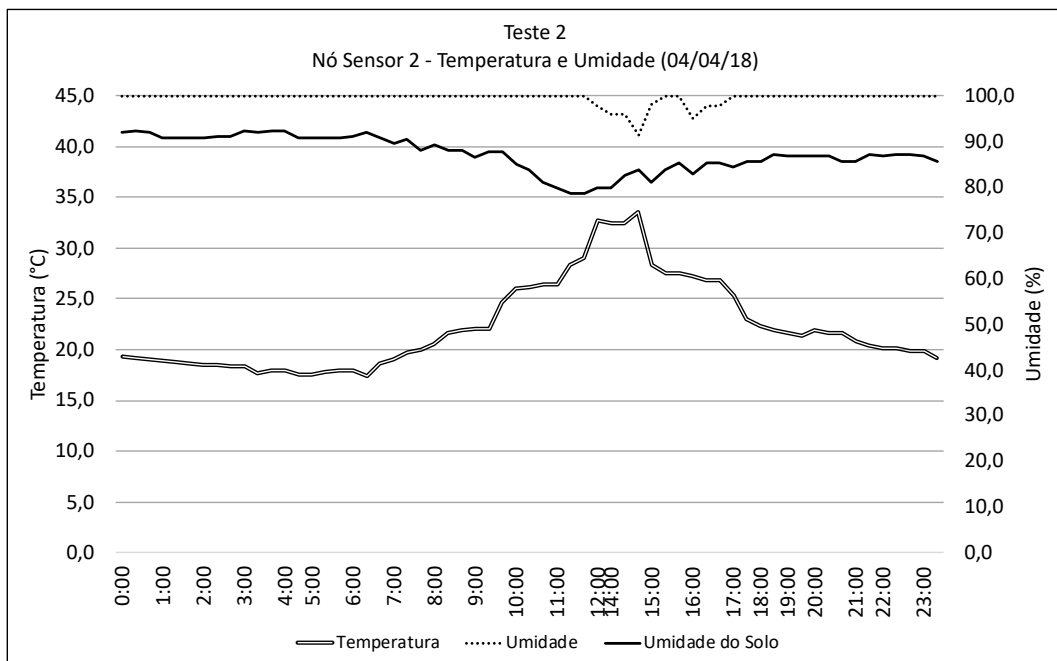
O dia com a maior precipitação foi em 04/04, com 26,92 mm, é possível ver que a partir de Abril, as temperaturas mínimas diminuíram, devido à mudança de estação. Os dados medidos pelo Nó Sensor 1 foram representados no Gráfico 23, quando a temperatura superou 30°C houve a diminuição da umidade do ar, mas devido à precipitação, ela não chegou a menos que 60%. Os dados do Nó Sensor 2

estão no Gráfico 24. Novamente houve uma temperatura maior em relação ao Nó Sensor 1.

**Gráfico 23** – Temperatura e umidade do Nó Sensor 1, dia 04/04.



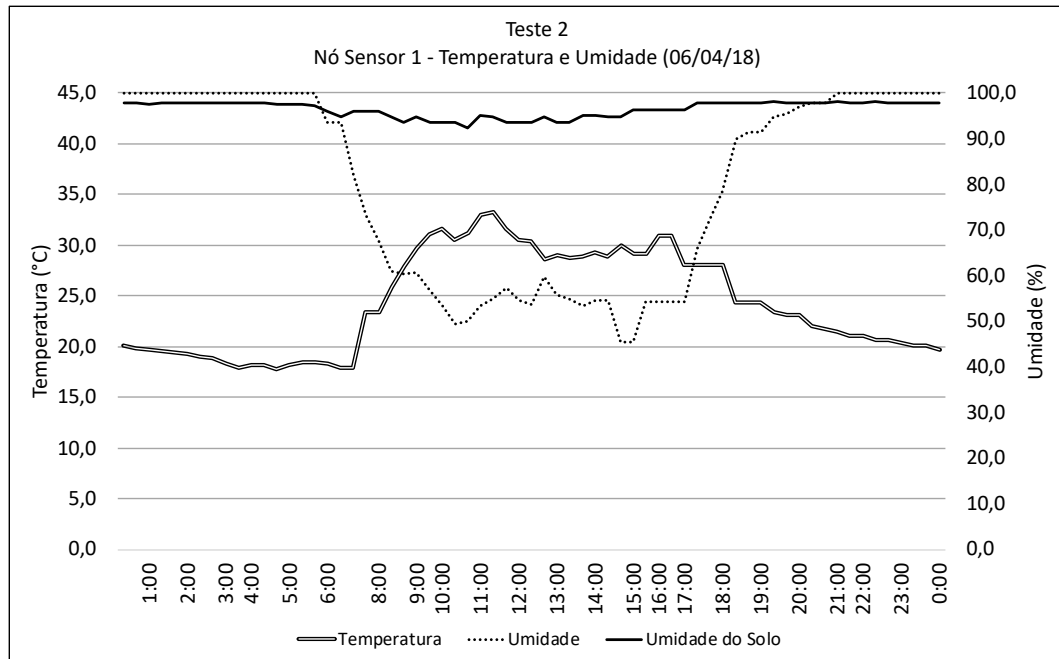
**Gráfico 24** – Temperatura e umidade do Nó Sensor 2, dia 04/04.



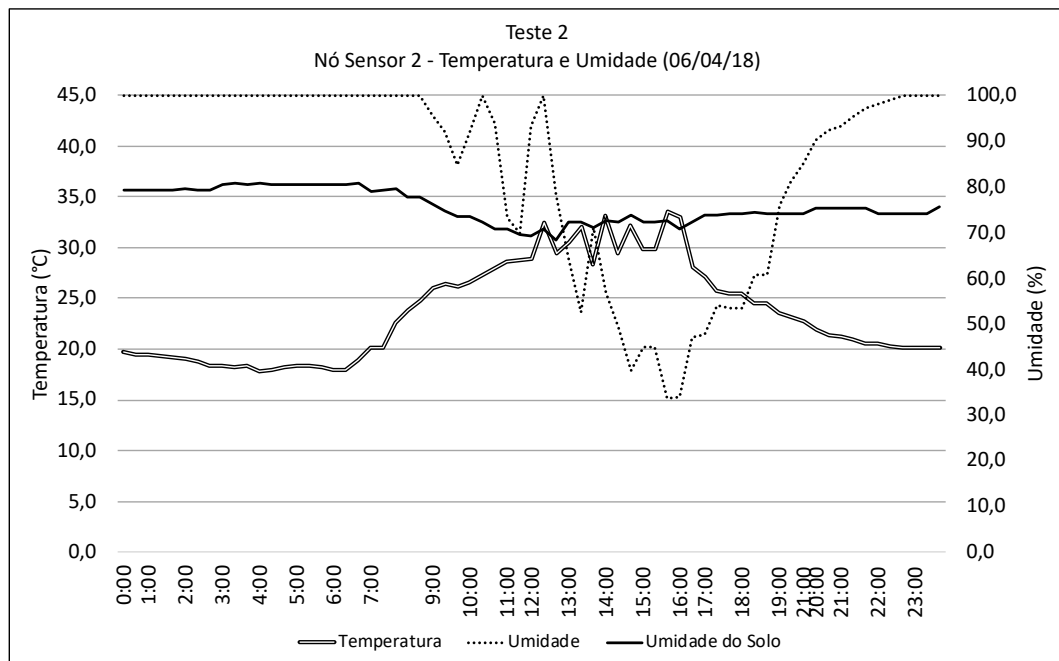
O último dia representado foi em 06/04, sem ocorrência de precipitação. As temperaturas e umidades dos Nós Sensores 1 e 2 estão representadas no Gráfico 25 e Gráfico 26, respectivamente, mostrando a correlação entre a temperatura e a

umidade do ar. Houve uma alta umidade do solo registrada nesse dia. E houve flutuações no Nó Sensor 2.

**Gráfico 25** – Temperatura e umidade do Nó Sensor 1, dia 06/04.



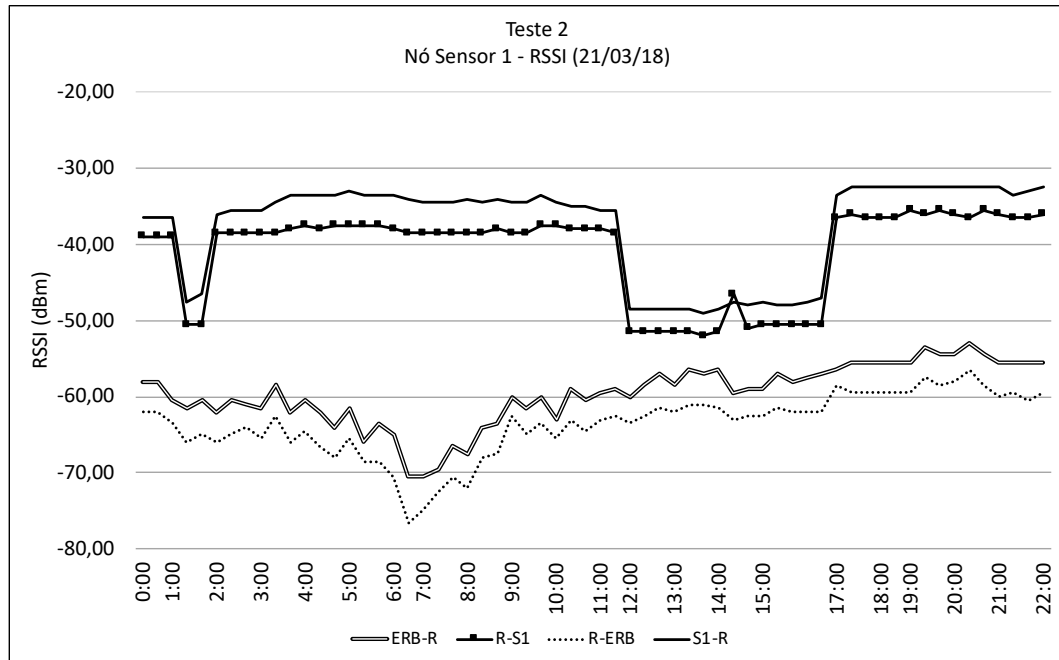
**Gráfico 26** – Temperatura e umidade do Nó Sensor 2, dia 06/04.



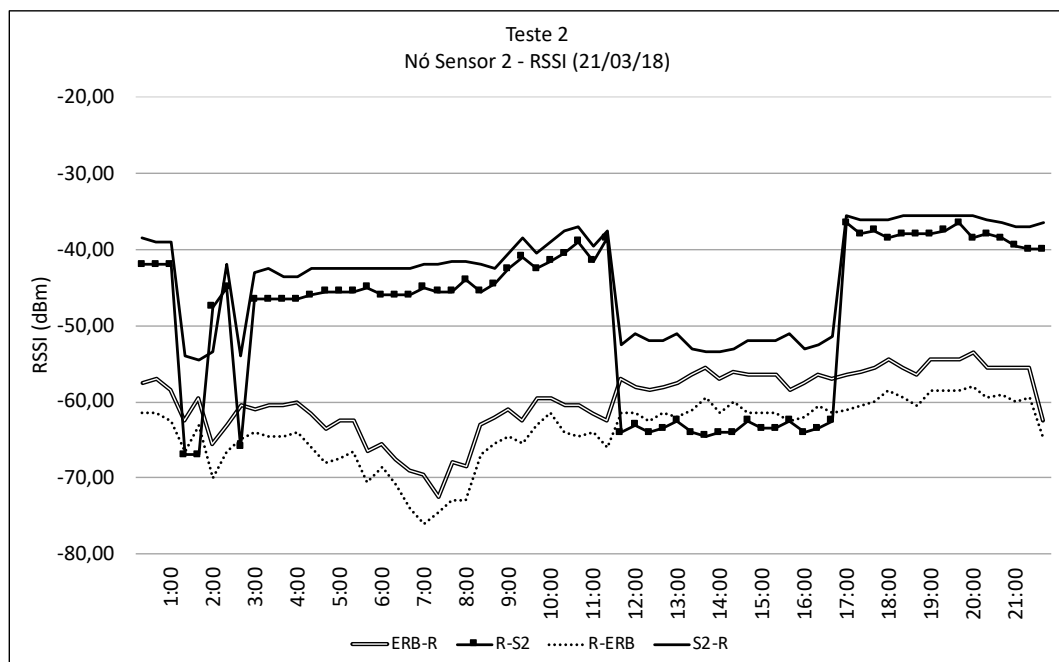
Os gráficos exibem os valores medidos nos dois Nós Sensores, nos dias 21/03, 27/03, 04/04 e 06/04. Nesse setup, haviam obstáculos entre o Nó Repetidor e a ERB, gerando uma RSSI menor do que a medida entre o Nó Repetidor e os Nós Sensores.

Os Gráficos 27 e 28 são referentes ao Nó Sensor 1 e ao Nó Sensor 2, respectivamente. O sinal recebido e enviado pelo Nó Sensor 2 foi mais instável em comparação com o Nó Sensor 1, provavelmente devido à precipitação do dia. Já as duas RSSIs medidas entre a ERB e o Nó Repetidor foram similares.

**Gráfico 27** – RSSI do Nó Sensor 1 do dia 21/03.



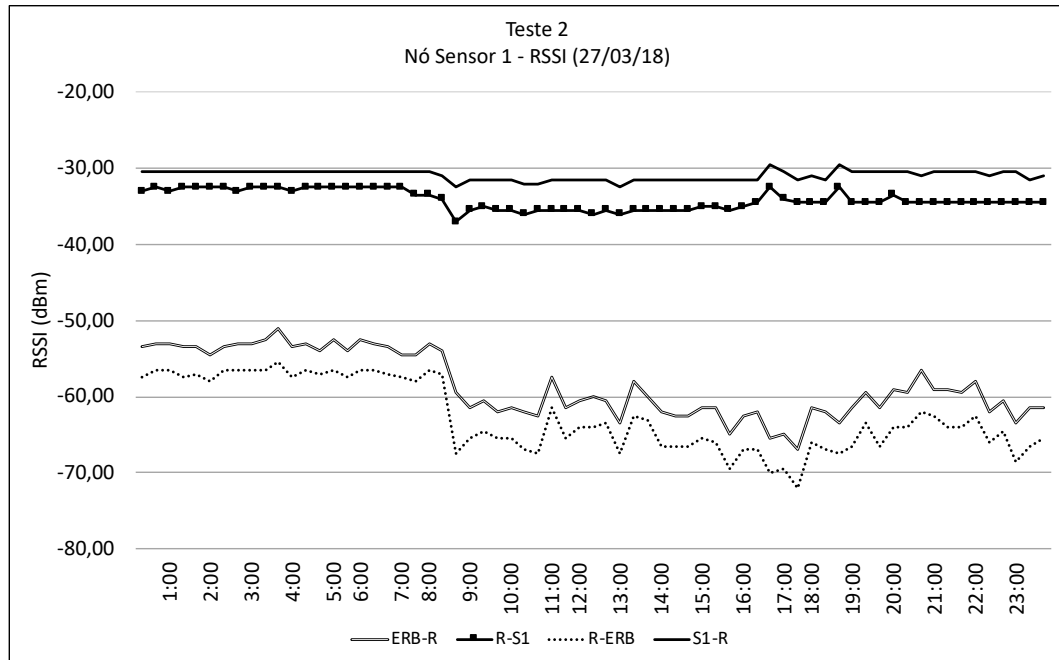
**Gráfico 28** – RSSI do Nó Sensor 2 do dia 21/03.



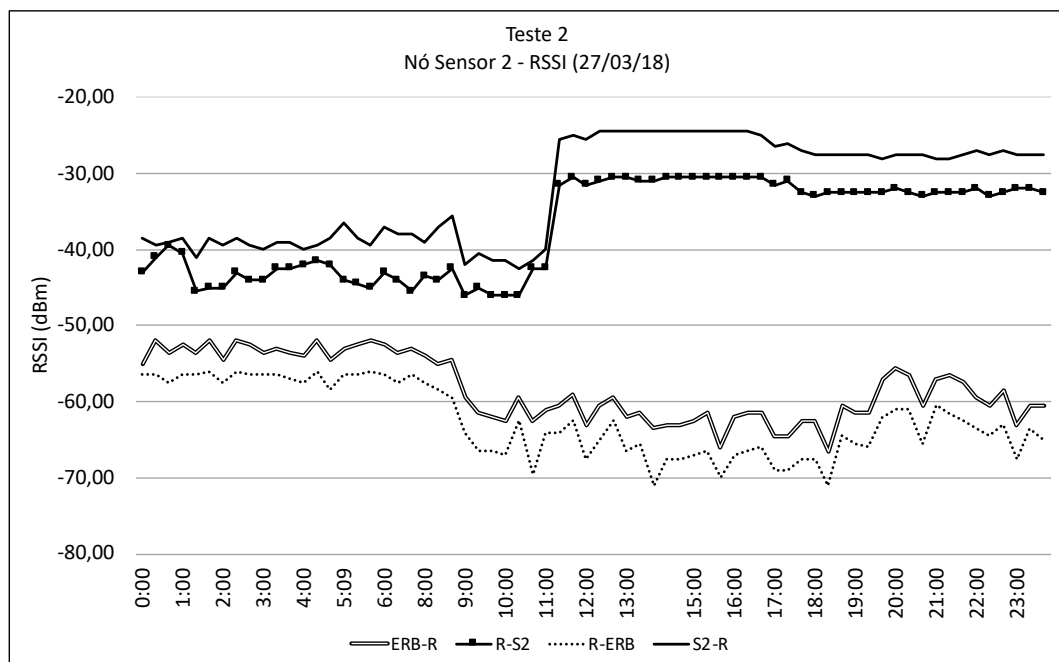
O Gráfico 29 representa as RSSIs do dia 27/03 em que não choveu. O sinal entre o Nó Repetidor e o Nó Sensor 1 (R-S2 e S2-R) foi mais estável, já entre o Nó

Repetidor e a ERB (R-ERB e ERB-R) foi similar do dia 21/03. Os indicadores de sinal do Nó Sensor 2 estão expostos no Gráfico 30. As R-S2 e S2-R tiveram uma melhoria significativa a partir das 10:17h, quase se igualando a essas métricas em relação ao Nó Sensor 1.

**Gráfico 29** – RSSI do Nó Sensor 1 do dia 27/03.

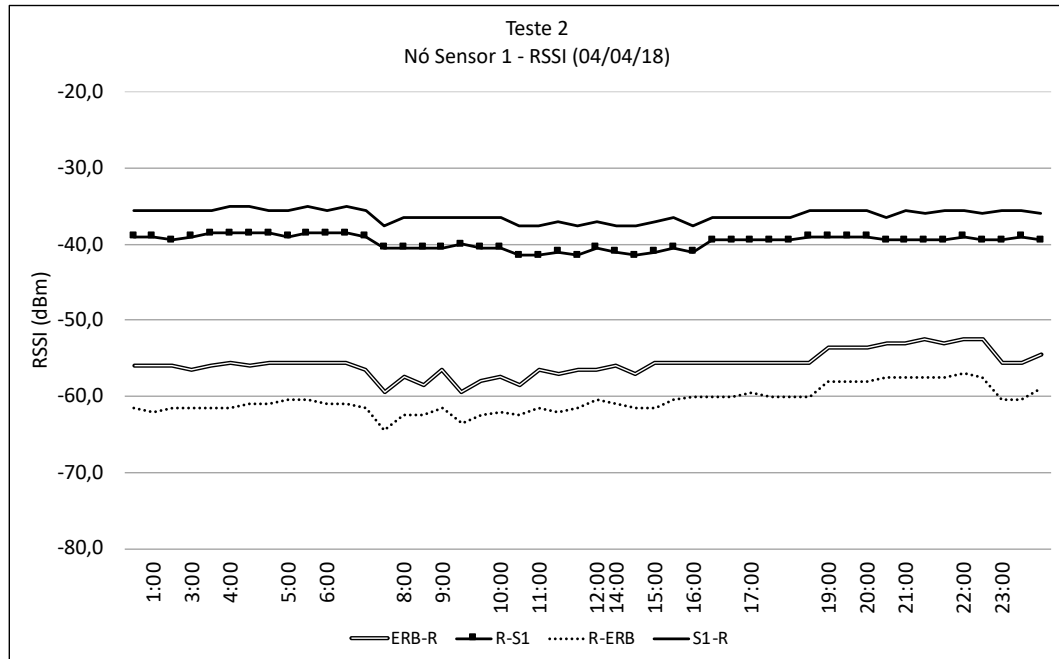


**Gráfico 30** – RSSI do Nó Sensor 2 do dia 27/03.



O Gráfico 31 é referente às RSSIs do Nó Sensor 1 durante o dia 04/04, dia com maior precipitação. É possível visualizar a piora no sinal, mas também houve uma estabilização nas medidas.

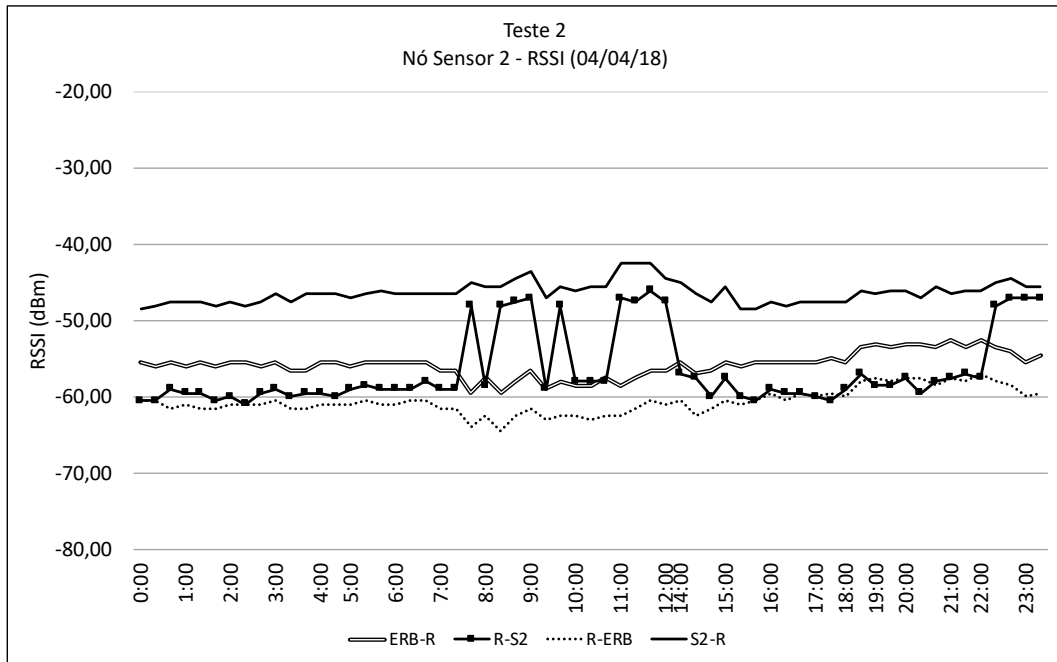
**Gráfico 31 – RSSI do Nó Sensor 1 do dia 04/04.**



Já os sinais do Nó Sensor 2, vistos no Gráfico 32, evidenciam novamente como a posição do Nó Sensor 2 o deixou mais vulnerável as mudanças climáticas. O sinal entre o Nó Repetidor e o Nó Sensor 2 apresentou uma piora e também uma oscilação.



**Gráfico 32 – RSSI do Nó Sensor 2 do dia 04/04.**



Os Gráficos 33 e 34 são referentes ao Nó Sensor 1 e 2, respectivamente, no dia 06/04. Nesse dia, que não houve precipitação, os sinais se mantiveram estáveis, há apenas uma piora nas R-S2 e S2-R no Nó Sensor 2, devido ao seu posicionamento.

**Gráfico 33 – RSSI do Nó Sensor 1 do dia 06/04.**

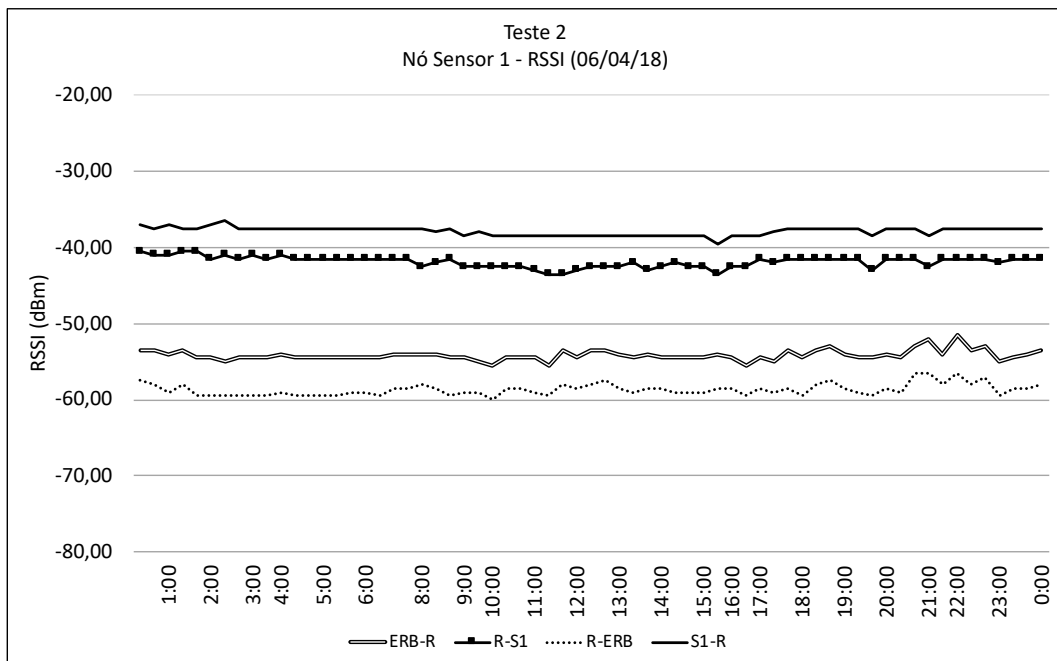
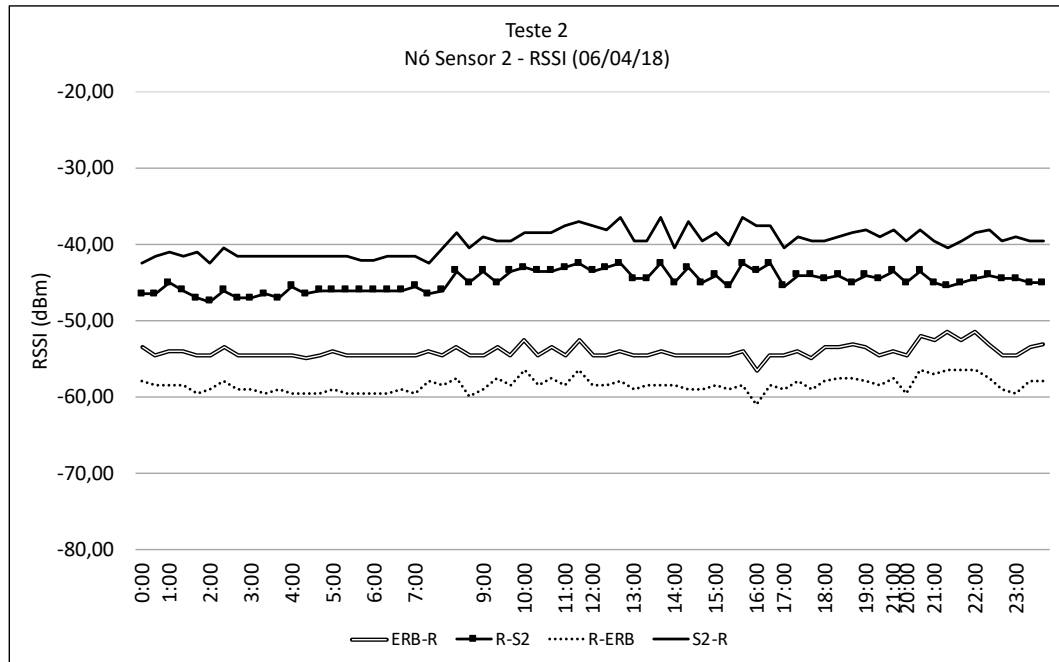


Gráfico 34 – RSSI do Nó Sensor 2 do dia 06/04.



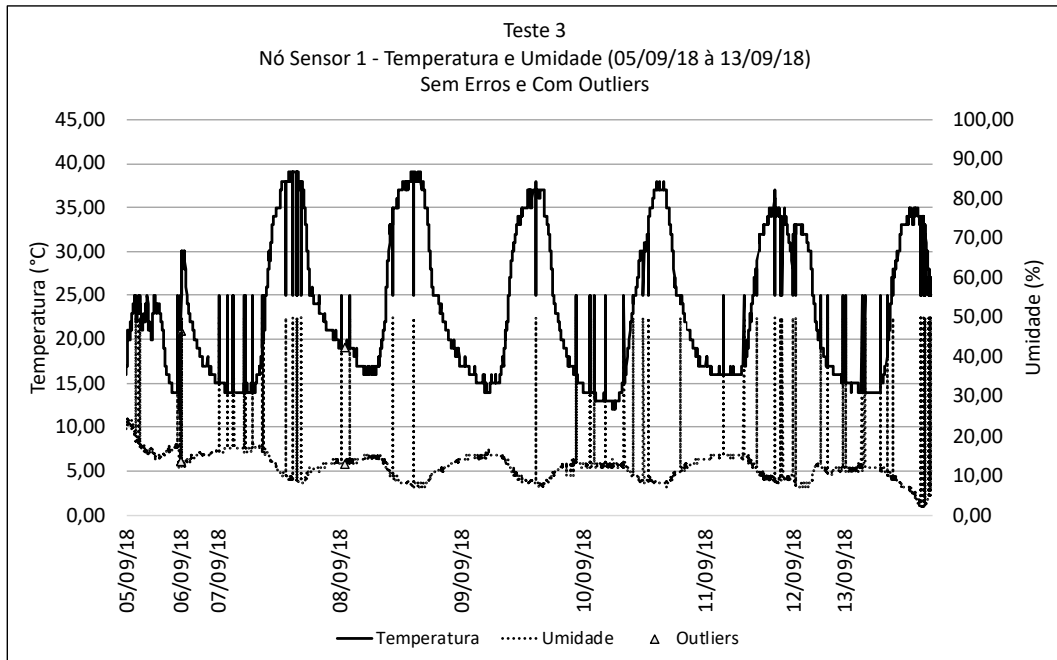
A Tabela 14 mostra todos os horários de funcionamento do Teste 3. O “X” em negrito está representando os outliers.

Tabela 14 – Horário de funcionamento do Teste 3.

|         |     | Teste 3 |     |     |        |     |      |        |      |      |        |      |      |        |      |      |        |      |      |        |      |     |        |     |      |        |      |   |   |   |
|---------|-----|---------|-----|-----|--------|-----|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|-----|--------|-----|------|--------|------|---|---|---|
|         |     | 05/set  |     |     | 06/set |     |      | 07/set |      |      | 08/set |      |      | 09/set |      |      | 10/set |      |      | 11/set |      |     | 12/set |     |      | 13/set |      |   |   |   |
| 00:00   |     |         |     |     |        |     | 1    | 2      | 3    | X    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 01:00   |     |         |     |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | X      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 02:00   |     |         |     | X   |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | X    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 03:00   |     |         |     |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | X      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 04:00   |     |         |     |     | X      |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | X | 3 |
| 05:00   |     |         |     | X   |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | X      | X    | 1 | 2 | 3 |
| 06:00   |     |         |     |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 07:00   |     |         |     |     | X      |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 08:00   |     |         |     |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 09:00   |     |         |     |     | X      |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | X | 3 |
| 10:00   | 1   | 2       | 3   |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 11:00   | 1   | 2       | 3   |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 12:00   | 1   | 2       | 3   | X   |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 13:00   | 1   | 2       | X   |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 14:00   | 1   | 2       | 3   |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 15:00   | 1   | X       | 3   |     |        |     | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | X    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 16:00   | 1   | 2       | 3   | X   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 17:00   | 1   | 2       | 3   | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 18:00   | 1   | 2       | 3   | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 19:00   | 1   | 2       | 3   | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 20:00   | 1   | 2       | 3   | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 21:00   | 1   | 2       | 3   | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 22:00   |     |         |     | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | 3 |
| 23:00   |     |         |     | 1   | 2      | X   | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1    | 2      | 3    | 1   | 2      | 3   | 1    | 2      | 3    | 1 | 2 | X |
| Pacotes | 904 | 995     | 861 | 622 | 606    | 589 | 2023 | 1976   | 1917 | 2030 | 1985   | 1917 | 2027 | 1993   | 1924 | 2026 | 1979   | 1930 | 1472 | 1440   | 1400 | 849 | 818    | 802 | 1449 | 1342   | 1305 |   |   |   |

As grandezas do Nó Sensor 1 sem o tratamento de dados está no Gráfico 35.

**Gráfico 35** – Grandezas do Nó Sensor 1 do Teste 3 sem tratamento.



O Gráfico 36 representa todas as RSSIs mostrando os *outliers*.

**Gráfico 36** – RSSI de todos os Nós no Teste 3 sem tratamento.

