

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RAFAEL AUGUSTO MARQUES SECCO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO EM
TOPOLOGIA MESH UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

RAFAEL AUGUSTO MARQUES SECCO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO EM
TOPOLOGIA MESH UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Bacharel em Computação”.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho

MEDIANEIRA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO EM TOPOLOGIA MESH UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT.

Por

RAFAEL AUGUSTO MARQUES SECCO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20h do dia 4 de Julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso de Ciência da Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho
UTFPR - Câmpus Medianeira

Prof. Me. Fernando Schutz
UTFPR - Câmpus Medianeira

Prof. Dr. Neylor Michel
UTFPR - Câmpus Medianeira

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

SECCO, R. A. M.. DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO EM TOPOLOGIA MESH UTILIZANDO DISPOSITIVOS IOT.. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

Redes de sensores sem fio comportam uma grande quantidade de sensores aplicados em um ambiente. Por meio dos parâmetros coletados pelos sensores é possível realizar análises, estudos e controles sobre as várias características físicas presentes. Para que seja possível coletar informações de sensores, é necessário utilizar algum dispositivo intermediário que possa transmitir estes dados para outros equipamentos, os dispositivos de internet das coisas IOT (*Internet of Things*) possuem estas características e se destacam pelo fato de se conectarem a Internet. A crescente presença das redes de sensores é favorecida pelas tecnologias de comunicação por rádio, ou seja, sem fio, dentre estas está compreendida a tecnologia *Wi-Fi*. A topologia de rede em malha (mesh) possibilita um melhor tráfego de dados em locais onde é escasso os pontos de acesso a rede de Internet, visto que todo o tráfego de informações percorre os seus participantes. Propõe-se com este estudo, desenvolver e avaliar uma rede Mesh de sensores utilizando o *Wi-Fi* como meio de comunicação em conjunto com o protocolo ESP-NOW.

Palavras-chave: Tecnologia e comunicação, Rede de Computadores, Sistemas de comunicação sem fio.

ABSTRACT

SECCO, R. A. M.. DEVELOPMENT OF A NETWORK OF WIRELESS SENSORS IN THE MESH TOPOLOGY USING IOT DEVICES.. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

Wireless sensor networks carry a large amount of sensors applied in an environment. Through the parameters collected by the sensors it is possible to carry out analyzes, studies and controls on the various physical characteristics present. In order to be able to collect information from sensors, it is necessary to use some intermediate device that can transmit this data to other equipment, the Internet devices of the IOT (*Internet of Things*) things have these characteristics and stand out because they connect to the internet. The growing presence of sensor networks is favored by radio communication technologies, ie wireless, including *Wi-Fi* technology. Mesh network topology enables better data traffic in Internet access points are scarce, as all information traffic traverses its participants. It is proposed with this study to develop and evaluate a mesh network of sensors using Wi-Fi as a means of communication in conjunction with the ESP-NOW protocol.

Keywords: Communication and technology, Computer networks, Wireless communication systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Relacionamento entre Computação Pervasiva, Ubíqua e Móvel.	12
FIGURA 2	– Arquitetura básica de um dispositivo IOT.	18
FIGURA 3	– Aplicações IOT.	20
FIGURA 4	– Ilustração de uma rede BSS.	23
FIGURA 5	– Ilustração de uma rede ESS.	24
FIGURA 6	– Cobertura de uma rede ESS.	24
FIGURA 7	– Exemplo de uma rede MANET	25
FIGURA 8	– Nós diretamente conectados.	35
FIGURA 9	– Nós parcialmente conectados.	36
FIGURA 10	– Nós inacessíveis.	36
FIGURA 11	– Estrutura proposta.	37
FIGURA 12	– Fluxograma de checagem de rede.	44
FIGURA 13	– Exemplo de mudança de rotas na rede Mesh.	45
FIGURA 14	– Fluxograma de leitura.	46
FIGURA 15	– <i>DashBoard</i> desenvolvido.	48
FIGURA 16	– <i>DashBoard</i> histórico de Umidade.	49
FIGURA 17	– <i>DashBoard</i> histórico de Temperaturas.	49
FIGURA 18	– Equipamentos presentes nos nós clientes: ESP32, DHT22 e Bateria LI-Ion.	51
FIGURA 19	– Sequência de teste do experimento dois.	53
FIGURA 20	– Sequência de inclusão dos nós clientes.	54
FIGURA 21	– Mudança na topologia da rede.	54
FIGURA 22	– Posicionamento dos nós para o quarto experimento.	55
FIGURA 23	– Primeiros dados obtidos no segundo experimento.	57
FIGURA 24	– Topologias de rede do segundo experimento.	57
FIGURA 25	– Posicionamento dos nós para o quarto experimento.	58
FIGURA 26	– Leituras obtidas durante o terceiro experimento.	58
FIGURA 27	– Topologias obtidas durante o experimento.	59
FIGURA 28	– Topologia para cinco nós diretamente conectados ao roteador.	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	–	Dimensões da Computação Ubíqua.	14
TABELA 2	–	Padrões IEEE 802.11 e suas características	22
TABELA 3	–	Quadro Principal do ESP-NOW.	27
TABELA 4	–	Conteúdo do Fornecedor.	28
TABELA 5	–	Exemplo de nós detectados.	40
TABELA 6	–	Tabela de comandos da classe 1XX.	41
TABELA 7	–	Tabela de comandos da classe 2XX.	41
TABELA 8	–	Tabela de comandos da classe 3XX.	42
TABELA 9	–	Tabela de comandos da classe 4XX.	42
TABELA 10	–	Dados obtidos a partir do teste de cobertura com o protocolo ESP-NOW. .	56
TABELA 11	–	Relação entre MAC e Nós no segundo experimento.	57
TABELA 12	–	Relação entre MAC e Nós no terceiro experimento.	59

LISTA DE SIGLAS

AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
BSSID	Basic Service Set Identifier
ESS	Extended Service Set
IBSS	Independent Basic Service Set
IOT	Internet of Things
Li-Ion	Lithium-ion
LMK	Local Master Key
MANET	Mobile Ad-hoc Network
PMK	Primary Master Key
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SMS	Short Message Service
SSID	Service Set Identifier
SSID	Service Set Identifier
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WMN	Wireless Mesh Networks

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	10
1.2 JUSTIFICATIVA	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 COMPUTAÇÃO UBÍQUA	12
2.1.1 Princípios da Computação Ubíqua	13
2.1.2 Cenários Ubíquos	14
2.2 REDES DE SENSORES	15
2.3 IOT	16
2.3.1 Histórico da IOT	16
2.3.2 Estruturando uma rede de dispositivos IOT	17
2.3.3 Arquitetura Básica de Dispositivos IOT	18
2.3.4 Segurança em IOT	19
2.3.5 Aplicações da Internet das Coisas	20
2.4 TECNOLOGIAS SEM FIO (<i>WIRELESS</i>)	21
2.4.1 Wi-Fi	21
2.5 ARQUITETURAS DE REDES WI-FI	22
2.5.1 Arquitetura de Infraestrutura	23
2.5.2 Conexão Ad-Hoc	25
2.6 ESP-NOW	26
2.6.1 Segurança	27
2.6.2 Quadros de Comunicação	27
2.7 REDE MESH	28
2.7.1 Estrutura de Uma Rede Mesh	28
2.7.2 Características das Redes Mesh	29
2.7.3 Arquiteturas de Rede Mesh	30
2.7.4 Desafios das redes de malha sem fio	30
2.8 TRABALHOS CORRELATOS	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 COMUNICAÇÃO ENTRE OS NÓS	34
3.2 TESTE DE COBERTURA WI-FI	34
3.3 ESTRUTURA DA REDE MESH	37
3.4 TOPOLOGIA DE REDE A SER APLICADA	38
3.5 ESTRUTURAÇÃO DA REDE MESH	39
3.6 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DA REDE MESH	40
3.6.1 1XX - Conexão	40
3.6.2 2XX - Saltos	41
3.6.3 3XX - Leituras	42
3.6.4 4XX - Checagem da Rede	42
3.7 FUNCIONAMENTO DA REDE MESH	43
3.7.1 Checagem de Rede	43

3.7.2 Solicitação das Leituras dos Sensores da rede	45
3.8 SEGURANÇA	46
3.9 PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS	47
3.9.1 <i>DashBoard</i>	48
4 RECURSOS DE HARDWARE	50
4.1 NÓS CLIENTES	50
4.2 NÓ ROTEADOR	50
4.3 COMPUTADOR	51
5 EXPERIMENTOS	52
5.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO (TESTE DE COBERTURA WI-FI)	52
5.2 SEGUNDO EXPERIMENTO (INCLUSÃO DE ROTAS E AMPLIAÇÃO DA COBERTURA DA REDE MESH)	52
5.3 TERCEIRO EXPERIMENTO (MUDANÇA DE ROTAS)	53
5.4 QUARTO EXPERIMENTO (CONCORRÊNCIA E BALANCEAMENTO)	55
6 RESULTADOS	56
6.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO (TESTE DE COBERTURA WI- FI)	56
6.2 RESULTADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO (INCLUSÃO DE ROTAS E AMPLIAÇÃO DA REDE MESH)	56
6.3 RESULTADOS DO TERCEIRO EXPERIMENTO (MUDANÇAS DE ROTAS)	58
6.4 RESULTADOS DO QUARTO EXPERIMENTO (CONCORRÊNCIA E BALANCEAMENTO)	60
7 CONCLUSÕES	61
8 TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A cada ano que se passa, os equipamentos eletrônicos se tornam cada vez mais comuns no cotidiano, desde computadores, celulares, smart TV's, entre outros dispositivos. Ao lado deste crescimento vem a popularização da Internet e a facilidade de acesso e comunicação de dispositivos eletrônicos entre si pela rede web, com o propósito principal de transmitir e receber informações dos mais variados tipos.

Com o crescimento da produção da base de conhecimento existe também o aumento da necessidade de obtenção de dados referentes ao ambiente. Estas informações fornecem características do meio ao qual é aplicado e possuem grande valor para a área da indústria, agropecuária e nas residências, por permitir a verificação e análise do local instante a instante e de forma automática.

A integração entre ambiente e sistema é estabelecida de forma natural e pró-ativa, sendo estes existentes na computação ubíqua. As funções fornecidas são implementadas com o propósito de fornecer acesso de qualquer lugar e a qualquer momento (SANTOS et al., 2011).

Uma maneira de adquirir atributos de um local é por meio da aplicação de sensores acoplados a equipamentos eletrônicos capazes de captar e posteriormente transmitir para um software, aplicativo ou banco de dados para subsequentes aplicações e análise.

Um sensor é um dispositivo capaz de responder a estímulos físicos e fornecer as medidas e características ao qual este é capaz de detectar. Cada sensor possui finalidade de avaliar uma característica específica, esta pode ser temperatura, luminosidade, presença de determinado gás, entre outros (WENDLING, 2010).

Dispositivos com a capacidade computacional de obter dados de sensores aplicados ao meio e interagir com o mesmo são denominados equipamentos de Internet das Coisas ou IOT (*Internet Of Things*), estes possuem a principal função de se conectar a *internet* para transmitir e receber informações. O conjunto destes dispositivos formam sistemas interligados entre si que compõem ecossistemas com componentes biológicos, materiais e urbanos que possuem papel de capturar, processar, armazenar, transmitir e apresentar informações (LACERDA; LIMA-MARQUES, 2015).

O agrupamento de vários sensores que se comunicam por rádio frequência formam

uma RSSF (Rede de Sensores sem Fio). Nesta formação os dispositivos trabalham de forma autônoma, distribuída e cooperativa (ALMEIDA, 2015). Essa rede possibilita obter uma variedade de dados sobre um fenômeno a ser avaliado e de forma que não é necessário interconectar todos os dispositivos por meio de cabos.

A rede Mesh, também denominada rede em malha sem fio, possibilita a conexão entre diversos dispositivos sem fio para a troca de informações e tirar o melhor proveito do alcance do sinal emitido (BREUEL, 2004). Este tipo de rede também pode ser utilizada para monitorar ambientes por meio de sensores.

Para que seja possível enviar dados de forma sem fio é necessário utilizar métodos de transmissão que operem por meio de ondas de rádio (BRANQUINHO, 2014). Entre estas tecnologias sem fio está contida o Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). (ARAUJO, 2003).

Em geral em redes Wi-Fi utiliza-se o protocolo TCP/IP para realizar a comunicação entre os equipamentos, porém existem outros, como por exemplo o ESP-NOW, que segundo (ESPRESSIF-SYSTEMS, 2016), serve para comunicação de forma simplificada e eficiente entre dispositivos de controle remoto, luzes inteligentes e sensores.

Neste contexto a atual pesquisa busca estudar técnicas que viabilizam o emprego da tecnologia *wireless* (sem fio) na estruturação de redes de sensores sem fio em topologia Mesh, que possam ser utilizadas em qualquer ambiente, principalmente locais onde não seja viável a estruturação de uma rede cabeada.

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma rede de sensores sem fio com topologia Mesh que possibilite que dispositivos IOT possam adquirir dados de um ambiente e os transmitir de forma eficiente para um aplicativo, por meio da tecnologia sem fio *Wi-Fi*. Esse objetivo geral pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- Avaliar as possíveis técnicas de aplicação da rede Mesh;
- Determinar quais dispositivos formarão a rede;
- Definir quais sensores serão aplicados ao ambiente;
- Definir um ponto de acesso de entrada de dados;
- Desenvolver uma aplicação que irá receber os dados coletados;
- Avaliar a solução obtida.

1.2 JUSTIFICATIVA

Dispositivos IOT geram grande volume de dados quando empregados com a finalidade de monitoramento de ambientes e de equipamentos.

Controlar e monitorar um ambiente faz com que este seja analisado de forma eficiente e de maneira automatizada através dos atributos coletados sobre o local aplicado.

As redes em malha sem fio, surgiram da constatação de que as redes sem fio poderiam ter sua distância final reduzida no acesso à *internet* por meio da associação entre os integrantes da mesma, viabilizando o consumo eficiente da banda (BREUEL, 2004).

A dificuldade de transmitir estas informações é definida pela falta ou incapacidade de permanecer conectado em um ponto de acesso estável de *Wi-Fi* ao ponto principal de armazenamento. O enfraquecimento do sinal de rádio utilizada pelos dispositivos *Wi-Fi* ocorre, principalmente, pelo fato de que a frequência de transmissão de uma RSSF é de 2,4 GHz, sendo esta absorvida por itens que apresentam água em sua composição, como plantas, por exemplo (TERUEL et al., 2012). Este mesmo problema se estende a outras tecnologias que trabalham na mesma frequência.

Não é em todo o ambiente que é possível inserir uma estrutura fixa e cabeada para efetuar análises e monitoramento. O cabeamento deve ser priorizado onde este é possível de ser aplicado, caso contrário, em locais onde não é viável a estruturação por meio de cabos, a tecnologia sem fio se torna mais aconselhada (BRANQUINHO et al., 2005).

As redes sem fio sustentam o comprometimento do acesso à informação em qualquer lugar. Esta promessa difundiu os serviços de voz e dados fundamentados em tecnologias sem fio (NUGGEHALLI et al., 2006).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As seções seguintes consistem no referencial teórico do tema escolhido. Serão apresentados nestes tópicos: Conceitos de Computação Ubíqua, estruturação de redes de sensores, conceitos de IOT, definições de redes Mesh e por fim serão apresentados os trabalhos correlatos recentes.

2.1 COMPUTAÇÃO UBÍQUA

A Computação Ubíqua abrange um modelo computacional no qual existe a distribuição espacial do processamento ao longo de um ambiente por meio de diversos dispositivos heterogêneos (COSTA et al., 2008).

Esta forma de computação abrange duas necessidades distintas para sua caracterização, a descentralização e a imergibilidade observável em ambientes distintos. A caracterização do modelo ubíquo de computação é somente existente dado a união entre dois conceitos, a Computação Pervasiva e a Computação Móvel (SILVA et al., 2015). A Figura 1 ilustra a forma de como a computação ubíqua é composta.

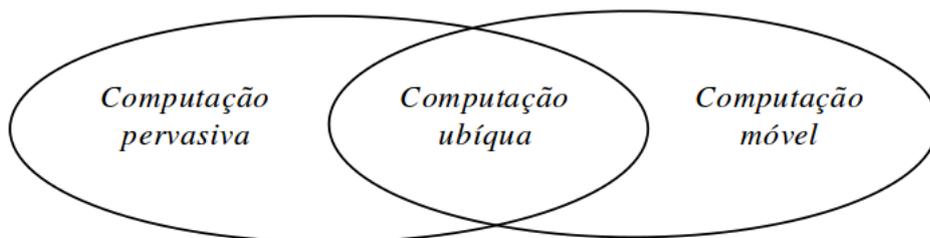


Figura 1 – Relacionamento entre Computação Pervasiva, Ubíqua e Móvel.

Fonte: (ARAUJO, 2003)

Computação pervasiva é definida como invisível a olho nu, mas é perceptível à presença no espaço (ZHAO; WHANG, 2010).

Pode-se citar como exemplo uma casa inteligente onde há a presença de vários atuadores e sensores que funcionam de forma simultânea e que possibilitem a inferência e controle sobre aquele ambiente.

Do outro lado a Computação Móvel, se caracteriza pelo acesso aos dados de qualquer lugar e que permite alteração da posição do mesmo durante a sua utilização (LAAD et al., 2010). Celulares e tablets são exemplos práticos e comuns da Computação Móvel.

2.1.1 Princípios da Computação Ubíqua

Na computação ubíqua estão presentes três princípios: Diversidade, Descentralização e Conectividade (HANSMANN et al., 2001).

Diversidade: Os dispositivos ubíquos possuem finalidade específica e bem definida diferentemente dos equipamentos computacionais genéricos. Muitos destes podem apresentar propriedades bem parecidas quanto à sua aplicação, mas se diferenciam baseado em suas limitações.

Descentralização: Equivalentemente a um sistema distribuído, existem encargos diferentes para cada participante do sistema. A colaboração entre os dispositivos concebe um ambiente inteligente para a aplicação definida.

Conectividade: Apresenta o aspecto de conexão contínua quanto a distância. Neste princípio as aplicações e usuários movem-se juntos e de maneira transparente dentro de uma rede heterogênea, geralmente redes sem fio.

De posse do conceito de computação ubíqua, agora é de suma importância observar as características principais de cada tipo de computação e compará-las entre si. (LYYTINEN; YOO, 2002) conceitua mobilidade e grau de embarcamento (inteligência) como sendo as principais características a serem comparadas entre os três tipos de computação. A Tabela 1 apresenta o comparativo dentre os três tipos de computação dado as características de mobilidade e grau de embarcamento.

Equipamentos ubíquos regularmente possuem baixa capacidade de armazenamento, processamento e recursos computacionais dado ao motivo que estes dispositivos possuem tamanho reduzido devido à necessidade para a portabilidade. Estas limitações exigem que todos

Tabela 1 – Dimensões da Computação Ubíqua.

	Computação Pervasiva	Computação Móvel	Computação Ubíqua
Mobilidade	Baixo	Alto	Alto
Nível de Embarcamento	Alto	Baixo	Alto

Fonte: Adaptado de Lyytinen e Yoo (2002)

os dados sejam transmitidos para dispositivos que possuam maior capacidade computacional e desta forma unificar e agilizar o processo (AUGUSTIN et al., 2008).

2.1.2 Cenários Ubíquos

Um cenário ubíquo tem o objetivo de integrar continuamente tecnologias e o ambiente, auxiliando o usuário em suas tarefas cotidianas. Neste ambiente as aplicações permanecem acessíveis e funcionais indiferentemente da localização (BARBOSA et al., 2008).

Warren (2010) descreve cinco características que são presentes em todo cenário ubíquo típico:

- **Invisibilidade:** Quanto mais a tecnologia estiver presente, menos observável esta deve ser, ou seja, ser onipresente.
- **Pró-atividade:** Ser capaz de prever o intuito ao qual é proposto.
- **Sensibilidade ao Contexto;** O sistema deve ser capaz de obter dados sobre o meio, já que estas informações representam o objetivo de todo o processamento.
- **Interfaces Naturais:** Proporcionar facilidades entre a comunicação do homem com a máquina. Neste contexto deve-se buscar meios para reconhecer formas naturais de linguagem utilizadas de comunicação entre seres, tais como, gestos, voz e até o olhar.
- **Descentralização:** Dividir as ações designadas entre os recursos que compõem o sistema. Esta divisão é necessária devido as limitações de recursos dos dispositivos ubíquos, onde estes devem ser portáteis, possibilitarem movimentação e também pelo fato de atender necessidades específicas previamente designadas.

O agrupamento de vários colaboradores com funções específicas, possibilita que o sistema se torne mais complexo e robusto.

2.2 REDES DE SENSORES

Dado a computação ubíqua, uma forma simples de transmitir e interligar vários dispositivos espacialmente distintos e que realizem comunicação entre si e de maneira sem fio é a RSSF (Rede de Sensores Sem Fio).

Uma rede de sensores pode ser uma rede sem fio que compreende uma grande quantidade de sensores pequenos e móveis utilizados para obter medidas sobre as características físicas do ambiente empregado (HAC, 2003). Todos os parâmetros coletados pelos sensores são enviados para um ponto central de armazenamento de dados (base de dados).

Cada ponto pertencente a esta rede pode coletar distintos tipos de informações que facilitam o entendimento do ambiente observado, comumente denominado nó.

Não necessariamente vários sensores que colem o mesmo dado podem fornecer um parâmetro adequado ao que se deseja observar, para esta situação deve-se estudar caso a caso e identificar quais tipos são apropriados para o estudo.

Para (AUGUSTIN et al., 2008) e (BREUEL, 2004) são necessários três componentes principais para se estruturar uma rede de sensores:

- Sensores;
- Protocolo de Rede;
- Aplicação.

De forma básica os sensores apresentam papel fundamental e essencial de coletar medidas. O protocolo de rede é a forma de como os dispositivos desta rede se comunicam e a maneira ao qual transmitem os dados entre si. Por fim a aplicação é a ferramenta utilizada para avaliar e processar os dados coletados pelos nós da rede.

A estrutura de uma rede de sensores pode ser dividida em estática e dinâmica (AUGUSTIN et al., 2008). Na formação estática a quantidade de nós e a localização de cada um é de grande valor. Esta organização pode ser utilizada onde existe diferenciação de medidas mesmo que seja em um mesmo ambiente, um exemplo seria o monitoramento de luminosidade em dois pontos diferentes e específicos de uma residência, mesmo que estejam próximos, a posição de cada um não deve ser alterada.

Por outro lado a organização dinâmica não considera a localização e a quantidade de nós presentes no fenômeno observado, neste modelo cada sensor pode obter uma medida diferente da outra, já que não exista ou não seja necessário observar as oscilações da mesma característica.

Para definir qual tipo de organização, é necessário realizar uma avaliação detalhada

sobre os fenômenos e/ou características que serão avaliadas, como também determinar em quais posições e pontos geográficos devem estar situados para então determinar qual modo de organização a ser utilizada.

A introdução de uma rede de sensores em um ambiente fará com que este se torne inteligente, possibilitando verificar, observar e armazenar de maneira autônoma os aspectos físicos do ambiente através dos parâmetros a serem avaliados.

2.3 IOT

Atzori et al. (2010) define dispositivos IOT (*Internet of Things*) como sendo equipamentos tais como tags RFID (*Radio-Frequency IDentification*), sensores, atuadores, celulares que possuem a capacidade de se comunicar entre si para alcançar objetivos comuns.

CASAGRAS (2009) define uma rede IOT como uma associação de objetos físicos e virtuais por meio da Internet, que se comunicam e possuem a capacidade de aquisição, coleta e transmissão de dados. Cada dispositivos possui uma identificação individual e dispõe da capacidade de sensoriamento.

Diferentemente de uma rede de sensores que possuem a finalidade principal de coletar parâmetros e os repassar para um computador central, dispositivos IOT podem coletar informações, interagir com o ambiente e os seres nele presente (VERMESAN et al., 2009).

Qualquer tipo de equipamento pode se tornar comunicável e *on-line*, somente é necessário escolher a funcionalidade a ser integrada e o tornar computável.

Outro ponto a ser avaliado é que um aparelho comunicável pela *Internet*, ou seja IOT pode se comunicar não somente por redes sem fio, mas também por cabos.

2.3.1 Histórico da IOT

O primeiro vestígio do conceito de IOT, surge em 1990, quando John Romkey apresentou na INTEROP¹ de 1989 uma torradeira elétrica controlada via Internet. Ela se

¹Feira Anual de tecnologia organizada pela IBM.

comunicava por rede com um computador que a controlava. Um ano mais tarde o mesmo projeto foi rerepresentado, mas desta vez o pão a ser torrado era adicionado por um braço robótico na torradeira.

Segundo Weiser (2002) muitos dos dispositivos e equipamentos do cotidiano comum seriam conectados à Internet de vários locais e de aspecto quase invisível para o ser humano ao ponto de se tornarem independentes e naturalmente presentes. Venkatesh (1996) posteriormente previu que ações como preparação de um prato ou a realização da compra dos itens faltantes de um estoque seriam efetivamente automatizadas e controladas pela Internet.

Em 1999, Kevin Ashton, expôs em uma de suas apresentações o termo Internet das coisas, nesta apresentação ele propôs a utilização do sistema RFID para localizar e cadastrar produtos dentro de uma cadeia de suprimentos (ASHTON, 2009).

Em 2005, a UIT² divulgou um relatório indicando que a Internet das Coisas poderia conectar vários tipos de equipamentos como: RFID, rede de sensores, sistemas embarcados e entre outros (ITU-T, 2012).

Ainda em 2005, foi iniciado a comercialização em larga escala do Nabaztag, sendo o primeiro objeto inteligente que tinha a função de receber a previsão do tempo, alerta de e-mails, informar relatório do mercado de ações, notícias, despertador e reproduzidor MP3.

Em 2018, a quantidade de aparelhos conectados que estão em uso ultrapassa 17,8 bilhões, sendo 7 bilhões são IOT e 10,8 bilhões outros dispositivos que possuem conexão. A previsão é de um aumento de dez por cento até o ano de 2025 e uma média de crescimento de 300 milhões anual (LUETH, 2018).

2.3.2 Estruturando uma rede de dispositivos IOT

LLC (2013) define que para iniciar a implantação e estruturação de uma rede IOT e maximizar os benefícios é necessário seguir quatro princípios:

1. **Definir os dados a serem obtidos pelo sensor:** Determinar quais informações devem ser extraídas dos sensores, observando quais processos podem ser aprimorados com estes conhecimentos.
2. **Construir uma base de rede e segurança de IOT:** Uma rede IP proporciona performance, confiabilidade e interoperabilidade essencial para se conectar IOT com a rede web. Assegurar confiabilidade e proteção na solução e na comunicação através da

²União Internacional de Telecomunicações.

autenticação e identidades únicas são essenciais.

3. **Coletar a maior quantidade de dados possível:** Dados capturados de sensores são bem pequenos, mas se a quantidade de sensores for grande, o volume de dados será elevado. Com uma maior quantidade de dados, as possibilidades de análise e conseqüentemente resultados são ampliadas, podendo estes, futuramente responder novos questionamentos. A coleção desta grande quantidade de dados é conhecida por *big-data*³. Analisar e estruturar uma estratégia sobre estes dados se torna fundamental.
4. **Revisar o tamanho e a escala da IOT:** Saber determinar a quantidade e localização é fundamental para maximizar a funcionalidade da rede. A distância entre os dispositivos deve ser assegurada para que haja comunicação entre eles e permitir a coleta das características o mais adequado possível.

2.3.3 Arquitetura Básica de Dispositivos IOT

Santos et al. (2016) estabelece que um dispositivo IOT necessita basicamente de quatro itens. A Figura 2 apresenta as categorias de aplicações:

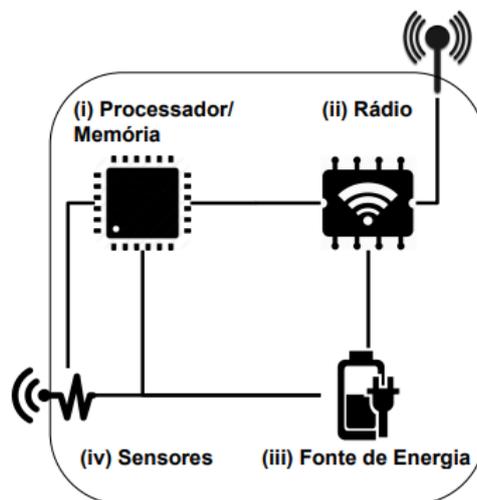


Figura 2 – Arquitetura básica de um dispositivo IOT.

Fonte: (SANTOS et al., 2016)

³Grande quantidade de dados armazenados utilizada para extração de conhecimentos.

1. **Unidade(s) de processamento/memória:** Presença de memória interna, microcontrolador e conversor analógico-digital. Neste tipo de equipamento os microcontroladores não possuem alto poder computacional e regularmente são acompanhados de memória externa. A memória interna é utilizada para armazenar dados e programas. Já o conversor analógico-digital é necessário para receber sinais de sensores;
2. **Unidade(s) de comunicação:** fornecer um canal de comunicação, sendo com ou sem fio. Regularmente meios sem fio são limitados devido à baixa potência, ao qual reduz o alcance do dispositivo;
3. **Fonte de Energia:** tem o papel de fornecer energia para todos os componentes presentes no dispositivo. Este pode ser uma fonte de energia ligada à rede elétrica, baterias ou também por meios alternativos, como o solar;
4. **Unidade(s) de sensor(es)/atuador(es):** proporcionam o monitoramento de um ambiente. Os sensores são capazes de obter valores de grandezas físicas como temperatura, umidade, luminosidade. Atuadores são dispositivos que realizam ações a partir de instruções manuais, elétricos ou mecânicos.

2.3.4 Segurança em IOT

Muitas das soluções IOT desenvolvidas e produzidas não apresentam o mínimo de segurança necessária. Tais problemas tem origem na heterogeneidade e escalabilidade desses dispositivos na rede (ZHANG et al., 2014).

Mesmo que dispositivos IOT tais como: lâmpadas, câmeras, geladeiras, entre outros; possam aparentar dispositivos inofensivos e com ausência de inteligência, estes se conectam com outros equipamentos mais inteligentes. Estes dispositivos tem sido utilizados como porta de entrada para acessar outros equipamentos maiores, como computadores e servidores, devido a baixa segurança presente (JUNIOR et al., 2017).

2.3.5 Aplicações da Internet das Coisas

As aplicações IOT possibilitam inúmeras aplicações dado que qualquer dispositivo eletrônico ou não pode se tornar acessível e conectável. Para DIAS (2016) e Mancini (2017) os equipamentos IOT podem ser divididos em dez aplicações distintas. A Figura 3 apresenta as categorias de aplicações.

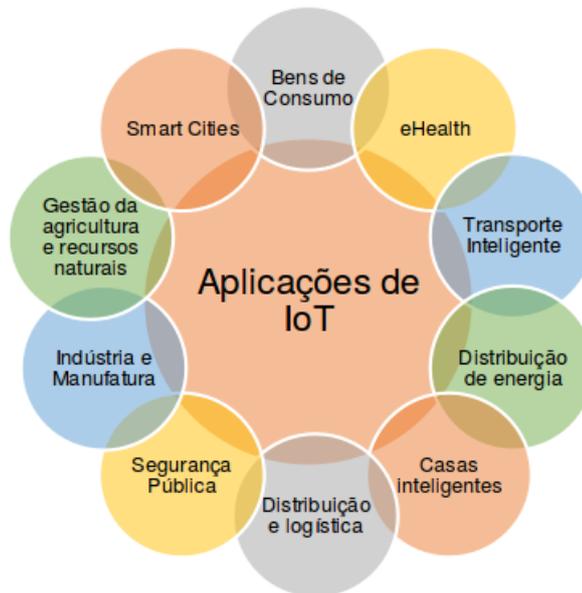


Figura 3 – Aplicações IOT.

Fonte: (MANCINI, 2017)

As aplicações podem ser subdivididas em dez categorias:

- **Bens de consumo:** Bens utilizados e adquiridos pelos consumidores, como *smartphones*, *smarthouses*⁴ e smart TV;
- **eHealth:** Dispositivos para cuidar da saúde, como exemplo: controle de batimentos cardíacos e monitoramento de pacientes em hospitais;
- **Transporte inteligente:** Geração de rotas inteligentes e monitoramento de automóveis.
- **Distribuição de Energia (Smart Grids):** Sistema de distribuição e transmissão inteligente de energia que interliga instalações residenciais e subestações;
- **Casas Inteligentes:** Casas que possuem equipamentos inteligentes que possibilitam o controle automático do ambiente residencial;
- **Distribuição e Logística:** Rastreabilidade e gerenciamento de distribuição e inventário;

⁴Casas automatizadas e inteligentes.

- **Segurança Pública:** Acompanhamento da segurança pública e estruturas de construções de utilidade pública;
- **Indústria e Manufatura:** Gerenciamento dos processos industriais, para proporcionar economia de energia, redução de consumo de matéria prima e controle de poluição;
- **Gestão da agricultura e dos recursos naturais:** Monitoramento ambiental e rastreamento de produtos agrícolas;
- **Smart Cities:** Toda a tecnologia aplicada em uma cidade para prover uma melhor qualidade de vida e redução de custos públicos. Entre estes estão energia, transporte e comunicação.

2.4 TECNOLOGIAS SEM FIO (*WIRELESS*)

As tecnologias de comunicação sem fio se interligam por meio de ondas eletromagnéticas, o que diferencia cada uma delas é a forma de modulação do sinal através da amplitude, frequência e fase (BRANQUINHO, 2014). A amplitude determina a magnitude/potência de um sinal. A frequência determina a taxa de ocorrências deste sinal por um determinado tempo. Por fim, a fase indica se um determinado sinal apresenta deslocamento em relação ao tempo.

Prover comunicação e conectividade de qualquer lugar e em qualquer instante são princípios presentes nos serviços que oferecem meios a transmitir dados e voz. Não somente as redes telemóveis de alto alcance se tornaram presentes e acessíveis, mas também redes de média e curta distância surgiram para promover a interação com vários dispositivos (ARAUJO, 2003).

Dentre as tecnologias de médio e curto alcance estão: *Wi-Fi*, *Blueooth*, *Zigbee*, *LTE*⁵ (*Long Term Evolution*), entre outros. A seguir será abordada a tecnologia *Wi-Fi*.

2.4.1 Wi-Fi

O conjunto 802.11 foi definido em 1997 pelo IEEE para a estruturação de redes locais

⁵Padrão de rede de médio alcance utilizado na comunicação de celulares.

e de médias aplicações. A divisão em categorias é feita levando em conta as características de alcance e taxa de transferência presentes nas tecnologias sem fio (LUGLI; SOBRINHO, 2012). A tabela 2 apresenta os padrões presentes no padrão 802.11.

Tabela 2 – Padrões IEEE 802.11 e suas características .

Padrão	Frequência	Taxa de Dados	Distância
802.11b	2.4GHz	máx. 11Mbps	50 metros
802.11g	2.4GHz	máx. 54Mbps	50 metros
802.11a	2.4GHz	máx. 54Mbps	50 metros
802.11n	2.4GHz e 5GHz	máx. 300Mbps	400 metros
802.11ac	5GHz	máx 1.300Mbps	*em desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de KUROSE e ROSS (2010) e Stefanuto et al. (2016).

O nome Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) foi estabelecido pela *Wi-Fi Alliance*⁶ como marca registrada para o conjunto 802.11, que possui como principal objetivo de normatizar e padronizar as tecnologias sem fio utilizadas na comunicação entre computadores.

Equipamentos que fornecem acesso à rede Wi-Fi são denominados ponto de acesso. Cada ponto que fornece conexão Wi-Fi transmite três informações principais que são:

- **Service Set Identifier (SSID):** Identificação (nome) da rede Wi-Fi que é disseminada. (CUNCHEA et al., 2014)
- **Basic Service Set Identifier (BSSID)** Representa a identificação única do ponto de acesso, sendo o mesmo que o endereço MAC⁷ do dispositivo. (CUNCHEA et al., 2014).
- **Received Signal Strength Indicator (RSSI):** Interfaces de rede de comunicação de rádio sem fio do tipo Wi-Fi emitem uma estimativas de localização na indicação da intensidade do sinal recebido. Este dado é calculado entre dois dispositivos (ZARUBA et al., 2007).

2.5 ARQUITETURAS DE REDES WI-FI

A arquitetura de um sistema computacional diz respeito ao comportamento deste para o programador, sendo os aspectos relacionados com a execução lógica (STALLINGS, 2010).

O Wi-Fi pode estruturar basicamente dois tipos de arquiteturas de redes sem fio, o modo de infraestrutura e o modo ad-hoc (ANTUNES, 2012).

⁶Grupo de indústrias que promovem a tecnologia Wi-Fi e que certifica equipamentos que possuem os padrões definidos.

⁷Identificação única utilizada em dispositivos de rede cabeadas ou sem fio.

2.5.1 Arquitetura de Infraestrutura

A arquitetura de infraestrutura é o modelo mais popular quando se diz respeito sobre conexões Wi-Fi, neste formato os clientes (laptops, celulares ou tablets) se conectam a um ponto de acesso AP que centraliza a conexão com a *Internet* e com os outros dispositivos conectados na rede.

Esta topologia de conexão se divide em duas categorias: *Basic Service Set* (BSS) e *Extended Service Set* (ESS).



Figura 4 – Ilustração de uma rede BSS.

Fonte: (EDUARDO, 2011)

O BSS é composto por várias estações e apenas um ponto de acesso sem fio, nesta configuração as estações somente se comunicam com o ponto de acesso. Nesta composição apenas um SSID (Service Set Identifier) Wi-Fi é propagado (ANTUNES, 2012). A Figura 4 apresenta um exemplo da estrutura BSS.

Já o ESS é composta por vários BSS's, ou seja existe a expansão ilimitada da rede por meio de redes sem fio menores (BARAN, 2018). A Figura 5 apresenta um exemplo da topologia ESS.

É importante salientar para que esta arquitetura funcione, é necessário definir em cada ponto de acesso levando em conta as características dos aparelhos (potências de transmissão e ganhos das antenas) e do ambiente (existência de barreiras, refletores, e presença de ruído) (SOBRAL, 2013). Esta análise garante que o conjunto de BSS's forme uma cobertura de sinal uniforme sobre todos os AP's da rede. A Figura 6 apresenta esta cobertura de sinal obtida.

Além da análise sobre as características do ambiente e dos equipamentos deve-se

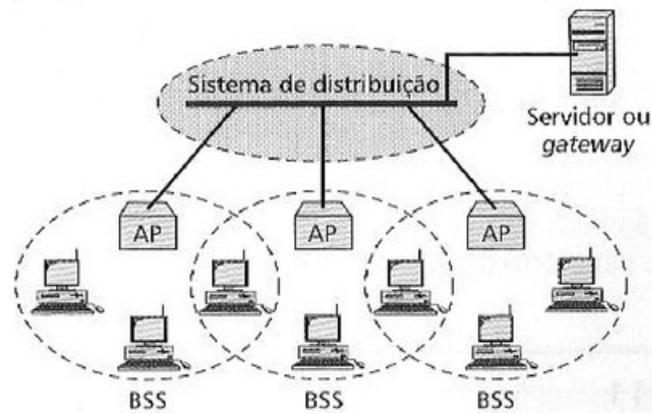


Figura 5 – Ilustração de uma rede ESS.

Fonte: (SOBRAL, 2013)

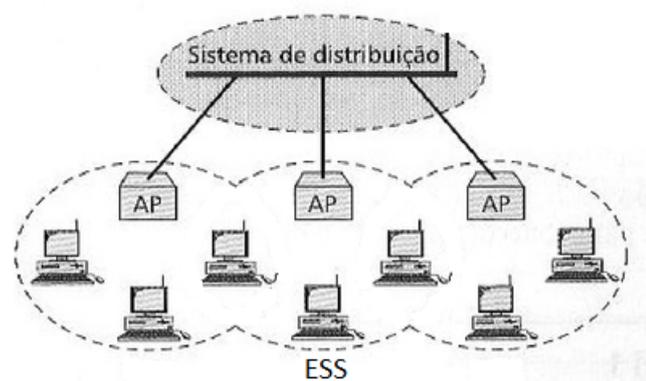


Figura 6 – Cobertura de uma rede ESS.

Fonte: Adaptado de Sobral (2013).

mesclar os canais de operação.

2.5.2 Conexão Ad-Hoc

A topologia *Ad-Hoc* ou Conjunto de Serviços Básicos Independentes do inglês *Independent Basic Service Set (IBSS)* é formada por no mínimo duas estações que possuem conexão Wi-Fi 802.11 que transmitem dados diretamente para os seus destinatários. Diferentemente do modo de infraestrutura, neste tipo de conexão não é necessário um ponto centralizador da rede para intermediar e controlar as conexões (BARAN, 2018).

Redes Ad-Hoc sem fio são indicadas para cenários onde se torna inviável a estruturação de uma rede fixa, por exemplo uma rede cabeada em um ambiente muito úmido ou que não possua estrutura física para acomodar os dispositivos (ANTUNES, 2012).

Devido à presença da rede sem fio nos equipamentos que compõe esta topologia, estes dispositivos podem se mover livremente dentro do ambiente sem a preocupação em perder a conexão estabelecida.

Este tipo de conexão também é conhecido como rede MANET (*Multihop Ad-Hoc Network*). A Figura 7 ilustra a estruturação de uma rede MANET .

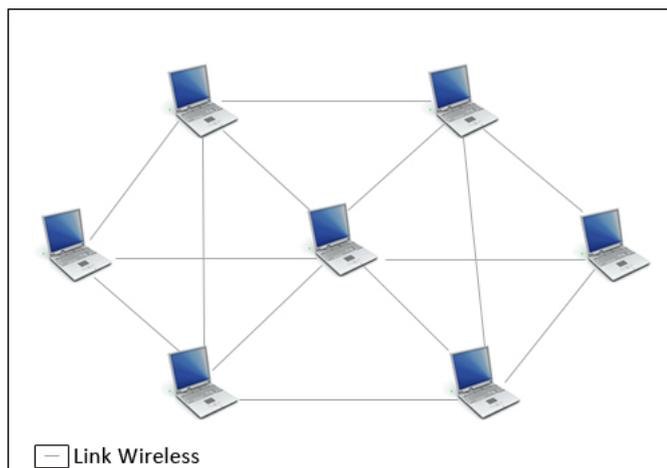


Figura 7 – Exemplo de uma rede MANET

Fonte: (EDUARDO, 2011)

2.6 ESP-NOW

O ESP-NOW é uma tecnologia de comunicação *Wi-Fi* rápida com transmissão de pacotes curtos desenvolvida pela *Espressif Systems*. Este é ideal para luzes inteligentes, dispositivos de controle remoto, sensores e outras aplicações (ESPRESSIF-SYSTEMS, 2016).

Esta tecnologia de comunicação utiliza criptografia CCMP⁸ em todas as mensagens transmitidas, obtendo uma solução de comunicação segura.

O ESP-NOW possibilita a comunicação entre dispositivos *Wi-Fi* da empresa *Espressif Systems*, como o ESP8266 e ESP32. Segundo *Espressif-Systems* (2016), alguns dos recursos presentes no protocolo são:

- Comunicação *unicast*⁹ encriptada e não encriptada;
- A carga útil de até 250 bytes pode ser transportada;
- A função de retorno de chamada de envio que pode ser configurada para informar a camada de aplicação do sucesso ou falha da transmissão.

Limitações do protocolo:

- Broadcast não é suportado;
- Pares criptografados limitados, sendo 10 para o modo Estação (*Station*), 6 para o modo *SoftAP* ou *SoftAP + Station*
- Pares descriptografados limitados ao máximo de 20, incluindo pares criptografados;
- A carga útil é limitada a 250 bytes.

O modo de operação Estação (*Station*) permite que os elementos se comuniquem sem emitir identificações, ou seja, é um modo de operação que se conecta a pontos *Wi-Fi* sem a emissão de identificação da rede SSID. Já o modo *SoftAP* cria pontos de conexão de rede *Wi-Fi*, emitindo assim o SSID da rede.

O modo *SoftAP + Station* é a combinação dos dois modos descritos anteriormente, permitindo assim que o dispositivo que o executa crie um ponto de acesso *Wi-Fi* e se conecte a outro ponto de acesso.

⁸Método de cifragens de bloco que evita que a mesma chave seja usada para criptografia e autenticação.

⁹Comunicação direcionada a somente um destino.

2.6.1 Segurança

No ESP-NOW todo dispositivo mantém uma chave mestre primária (*Primary Master Key* (PMK)) e várias chaves mestres locais (*Local Master Key* (LMK)) (ESPRESSIF-SYSTEMS, 2016). A chave primária é utilizada para criptografar as chaves locais através do algoritmo AES-128, já as LMK's são as chaves utilizadas na comunicação com outros dispositivos, sendo uma chave para cada. Se nenhuma PMK for definida, uma chave PMK padrão é utilizada para gerar as LMK's. O número máximo de LMK's é seis.

2.6.2 Quadros de Comunicação

O ESP-NOW usa quadros de ação específicos do fornecedor para transmitir dados. Este define o formato padrão utilizado entre os equipamentos que os interpretam. O formato do quadro principal especificado pelo fornecedor é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Quadro Principal do ESP-NOW.

Cabeçalho MAC	Código de Categoria	ID de Organização	Conteúdo do Fornecedor	FCS
1 byte	3 bytes	7~255 bytes		

Fonte: Adaptado de Espressif-Systems (2016).

- **Cabeçalho MAC:** Endereço MAC de origem e destino da mensagem;
- **Código de Categoria:** O campo Categoria é definido para o valor (127), indicando a categoria específica do fornecedor;
- **ID de Organização:** O Identificador da Organização contém um identificador exclusivo (0x18fe34), que são os primeiros três bytes de endereço MAC aplicado pela *Espressif*;
- **Conteúdo do Fornecedor:** O Conteúdo Específico do Fornecedor contém o campo específico do fornecedor, este é apresentado na Tabela 4.
- **Frame Check Sequence (FCS):** Código de checagem de pacote que possibilita detectar erros em quadros de dados.
- **Elemento ID:** O campo ID do elemento é definido com o valor (221) indicando o elemento específico do fornecedor.
- **Comprimento:** comprimento total do Identificador da Organização, Tipo, Versão e Corpo.

Tabela 4 – Conteúdo do Fornecedor.

Elemento ID	Comprimento	ID de Organização	Tipo	Versão	Corpo
1 byte	1 byte	3 bytes	1 byte	1 byte	0~250 bytes

Fonte: Adaptado de *Espressif-Systems (2016)*.

- **ID de Organização:** O Identificador da Organização contém um identificador exclusivo (0x18fe34), que são os primeiros três bytes de endereço MAC aplicado pela *Espressif*.
- **Tipo:** O campo Tipo é definido com o valor (4) indicando ESP-NOW.
- **Versão:** O campo Versão é definido para a versão do ESP-NOW.
- **Corpo:** O corpo contém os dados a serem transmitidos.

2.7 REDE MESH

A rede Mesh é a sucessora do modelo de conexão da rede *Ad-Hoc*, devido a ausência de pontos centrais de conexão, sendo que o *backbone*¹⁰ é formado pelos elementos que se comunicam diretamente (ANTUNES, 2012).

A rede Mesh, conhecida como WMN (*Wireless Mesh Networks*) é uma das novas aplicações definido pela IEEE no protocolo 802.11. A conexão deste tipo de rede forma uma malha sem fio para conectar os dispositivos localmente dispersos a fim de trocar informações.

As redes Mesh e as redes móveis *Ad-Hoc* (*Mobile Ad-Hoc* ou *MANET*) se diferenciam pelo fato de que os nós clientes das redes Mesh não são obrigatoriamente roteadores de sinal da rede e assim a dificuldade de formar as pontas das redes são reduzidas. De outro ponto ambas se coincidem pelo fato de possuírem comunicação sem fio e possuir topologia dinâmica (Aguiar, et. al, 2008).

2.7.1 Estrutura de Uma Rede Mesh

Aguiar et al. (2008) caracteriza que em uma rede Mesh existem dois tipos principais

¹⁰Termo designado para identificar a rede principal por onde os dados de todos os clientes da *Internet* passam.

de nós:

- **Roteador Mesh:** Possui funcionalidades de roteador, gateway e bridge e também prover comunicação com outros tipos de redes através das interfaces presentes, como por exemplo comunicar com a rede cabeada. Para poder fornecer estas funcionalidades é necessário um maior poder computacional, portanto normalmente um computador é designado para este papel.
- **Cliente Mesh:** Também denominado nó, este, pode enviar pacotes para os outros membros da rede, mas não pode realizar os papéis dos roteadores Mesh, tais como bridge ou gateway devido à presença de uma única interface de rede.

2.7.2 Características das Redes Mesh

Akyildiz et al. (2005) indica que as redes mesh possuem algumas características:

- **Rede sem fio *multi-hop*:** Possui objetivo de estender o alcance da cobertura das redes sem fio sem sacrificar a capacidade do canal de comunicação. Isso é obtido através da aplicação de vários pontos que se interligam e se comunicam por meio de repasse de dados.
- **Capacidade de auto-fomação, autorecuperação e auto-organização:** As WMNs melhoram o desempenho da rede, devido à arquitetura de rede flexível onde sua configuração e implantação são fáceis e tolerantes a falhas. Por meio desse recurso a rede pode crescer gradualmente conforme necessário.
- **Mobilidade:** Os roteadores regularmente apresentam mínima mobilidade, enquanto os cliente podem ser estacionários ou móveis. A topologia e a conectividade da rede dependem do movimento dos pontos presentes na rede. Isso impõe desafios adicionais nos protocolos de roteamento, bem como na configuração e implementação da rede.
- **Vários tipos de acesso à rede:** As WMN's permite a integração com outras rede sem fio, sendo assim fornece acesso aos serviços de redes distintas.
- **Restrições de consumo de energia:** Esta dependência é definida pelo tipo de malha a ser aplicada. Roteadores não possuem restrições quanto ao consumo de energia. No entanto os clientes podem necessitar de um gerenciamento do recurso energético, ainda mais em redes de sensores sem fio, onde a eficiência é principal preocupação.
- **Compatibilidade e interoperabilidade com outras redes sem fio:** Possibilitar a

interação entre tecnologias, como Wi-Fi, Zig-Bee e redes celulares.

- **Infraestrutura sem fio:** As redes em malha sem fio consistem em um *backbone* sem fio. Este fornece grande cobertura, conectividade e robustez. No entanto a conectividade depende das contribuições entre os usuários finais da rede, o que pode não ser confiável.
- **Integração:** As WMN's permitem a integração de várias redes existentes, como redes celulares e rede de sensores, por meio de *gateway/bridge* dos roteadores mesh. Dentro da rede os usuários tem acesso a serviços presentes nas outras redes através da infraestrutura sem fio. A integração de distintas redes sem fio se comportam como o *backbone* da internet, uma vez que a localização física dos nós da rede se torna menos importante do que a capacidade e a topologia da rede.

2.7.3 Arquiteturas de Rede Mesh

Agregando os dois tipos de nós Mesh com outros equipamentos que possuem interface de rede não Mesh, é possível compor três arquiteturas (AKYILDIZ et al., 2005):

- **Arquitetura Cliente:** Nesta arquitetura existe somente a presença de nós clientes, estes estabelecem as conexões entre si, assumindo simultaneamente o papel de cliente e de roteador.
- **Arquitetura Infra-Estruturada:** Diferentemente da arquitetura cliente, esta viabiliza a conexão de equipamentos de diferentes tecnologias de transmissão por meio da presença de roteadores mesh que interliga toda a estrutura principal da rede.
- **Arquitetura Híbrida :** Composta tanto pelos clientes e roteadores Mesh, esta arquitetura viabiliza a comunicação entre os próprios clientes da rede, tanto quanto a outros dispositivos através da rede formada pelos roteadores mesh.

2.7.4 Desafios das redes de malha sem fio

Jubil e Rigi (2014) estabelecem que além da confiabilidade, as redes Mesh devem proporcionar outras características para fornecer melhoras em seu desempenho:

- **Antenas Direcionais:** As antenas omnidirecionais tem menor custo menor e maior facilidade de instalação. Já as antenas direcionais reduzem a interferência entre trnmissões simultâneas e possibilitam a redução de potência das transmissões.
- **Mobilidade:** As WMN's só suportam uma maior mobilidade através da troca de frequência emitida.
- **Potência de Transmissão Variável:** Possibilitar alterações da potência emitida pelo transmissor é visto como uma autonomia presente no link de comunicação.
- **Política de gerenciamento de energia:** Dispositivos WMN's frequentemente possuem baterias como fonte de energia para o seu funcionamento, limitando assim o seu funcionamento contínuo. O gerenciamento do consumo de energia é chave para estender o funcionamento rede, este processo é obtido controlando os componentes de hardware presentes.
- **Autenticação:** Todo ponto inicialmente deve se autenticar para posteriormente compor a rede. Esta ação impede o acesso de dispositivos/usuários que não são partes do serviço.
- **Privacidade:** Os utilizadores da rede mesh sem fio se preocupam com a privacidade das informações trafegadas. A rede deve se proteger de sniffing e ou leituras indevidas durante os nós intermediários.

2.8 TRABALHOS CORRELATOS

PECHOTO et al. (2013) desenvolveu o projeto e-Noé que realiza o monitoramento de um leito de um rio com a finalidade de evitar enchentes. Durante a extensão do rio são posicionados vários nós compostos por sensores de pressão, condutividade e turbidez, e um XBee¹¹; a união de vários desses nós estabelecem uma rede de sensores sem fio (RSSF) que repassam as informações entre si, ou seja, estruturando uma rede mesh que encaminha todos os dados coletados para um servidor. Caso seja detectado uma situação de alteração no nível da água, mensagens SMS de alertas são encaminhadas para os números de telefones previamente cadastrados no sistema, para informar tal condição.

Bueno e Nalon (2016) propõem o desenvolvimento de um projeto que utiliza um sistema sem fio em rede mesh para gerenciar os postes de iluminação, sendo assim possível reduzir os gastos de iluminação pública através do controle da potência das luzes presentes

¹¹Marca registrada de uma família de módulos de rádio da empresa Digi International

nestes postes. O conjunto se mostrou eficiente na sua aplicação e viável de ser utilizado.

Silva et al. (2017) realiza um estudo sobre a aplicação da topologia mesh em redes do tipo ZigBee¹², na aplicação foi possível realizar interações com os equipamentos controlados pela rede mesh, tais como ligar e desligar lâmpadas, controlar a intensidade luminosa de um ambiente e detectar movimento. A cobertura de atuação do sistema sem fio foi ampliada devido as propriedades de comunicação ponto a ponto entre os dispositivos aplicados.

Caetano e Gonçalves (2019) propõem um sistema de identificação de falhas em postes de iluminação pública que se comunicam por *Wi-Fi* estabelecendo uma rede mesh. Em cada poste é instalado um nó que verifica os seguintes casos: iluminação em horários errados e problemas com as lâmpadas dos postes; estas informações são transmitidas entre os nós (postes) e caso em alguma anomalia seja detectada, é encaminhado um SMS contendo as informações sobre a ocorrência para um número pré-estabelecido.

¹²Conjunto de especificações utilizadas para prover comunicação sem-fio com ênfase na baixa potência, taxa de transmissão e custo de implementação.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são apresentados os métodos a serem utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

O trabalho foi composto por sete etapas:

- **Etapa 1 (Definir qual protocolo de comunicação Wi-Fi):** Neste item é apresentado qual o protocolo de comunicação *Wi-Fi* utilizado para transmitir as informações na rede Mesh. A Seção 3.1 exibe maiores detalhes;
- **Etapa 2 (Análise de cobertura da tecnologia sem fio Wi-Fi com protocolo ESP-NOW do dispositivo ESP32 Dev Kit):** Inicialmente será avaliado a distância máxima em que os dispositivos IOT utilizados podem se comunicar pelo meio *Wi-Fi* utilizando o protocolo ESP-NOW. Este parâmetro é essencial para poder verificar o alcance máximo em que o sinal sem fio emitido pode atingir outro dispositivo da rede. Esta área é definida pela distância máxima entre dois equipamentos utilizados na rede proposta. A Seção 3.2 detalha como serão efetuados os experimentos.
- **Etapa 3 (Estruturar a rede mesh a ser utilizada):** Neste passo será montada a estrutura física a ser utilizada nos próximos passos até o final deste trabalho. A Seção 3.3 especifica com maior nível de detalhamento a estrutura;
- **Etapa 4 (Topologia de rede):** Como os elementos estarão distribuídos na rede sem fio. A Seção 3.4 apresenta maiores detalhes sobre a topologia a ser empregada;
- **Etapa 5 (Desenvolver a estratégia de conexão entre os nós da Rede Mesh):** Nesta etapa serão desenvolvidos os passos para que a rede Mesh seja estruturada e a comunicação seja estabelecida. A Seção 3.5 especifica a estratégia;
- **Etapa 6 (Definir o protocolo de mensagens a ser utilizado entre os nós da rede):** Neste passo são definidos os conjuntos e formatos das mensagens que irão viabilizar a comunicação entre os dispositivos *Wi-Fi*. A Seção 3.6 apresenta o protocolo interno da rede Mesh.
- **Etapa 7 (Funcionamento da rede Mesh):** Este passo determina como a rede Mesh funciona em aspecto geral. A Seção 3.7 exibe maiores detalhes sobre este processo;
- **Etapa 8 (Incluir segurança sobre a rede Mesh):** Neste passo serão implementadas e

configuradas as definições de segurança da rede Mesh. Essa inclusão garante que os dados possuam origem e destino corretos para a entrega, evitando o acesso indevido dos dispositivos deste estudo. A Seção 3.8 aponta as estratégias de segurança;

- **Etapa 9 (Desenvolver a aplicação de monitoramento e Armazenamento de Dados):** Nesta etapa será desenvolvida a aplicação a ser utilizada para armazenar os dados coletados e possibilitar o monitoramento destes. A Seção 3.9 apresenta com maior detalhe a aplicação elaborada.

3.1 COMUNICAÇÃO ENTRE OS NÓS

A comunicação entre os nós é efetuada por meio do protocolo ESP-NOW e gerenciada pelo algoritmo a ser desenvolvido e integrado nos nós (microcontroladores) da rede mesh. O protocolo ESP-NOW é bem mais simplificado e compacto em comparação com o protocolo TCP/IP tradicional, devido ao fato de não necessitar de IP's, máscara de rede e/ou *Gateway*, somente do endereço MAC dos dispositivos. Nem mesmo o *handshake*¹ triplo do TCP é utilizado para estabelecer as comunicações.

3.2 TESTE DE COBERTURA WI-FI

O alcance máximo do sinal Wi-Fi será mensurado por meio da utilização de dois dispositivos IOT (ESP32 Dev Kit) que estarão conectados e trocando dados através do protocolo ESP-NOW. Um deles permanecerá imóvel e um segundo se moverá em linha reta tendo lado contrário do primeiro, até a distância onde a conexão entre eles ainda seja possível.

O teste de cobertura será realizado em campo aberto para assim obter o alcance máximo sem a interferência de barreiras físicas que podem prejudicar o experimento e o parâmetro a ser obtido. Este experimento não se torna eficaz em locais que possuam barreiras físicas em vista ao estudo de Ferreira e Montanha (2017), dado que a variação dos objetos

¹Processo de reconhecimento mútuo entre dois equipamentos antes de estabelecerem comunicação.

presentes em um local e a composição destes, influenciam diretamente na potência do sinal Wi-Fi transmitido.

A distância a ser encontrada irá fornecer o valor de raio de cobertura do sinal Wi-Fi do dispositivo IOT utilizado. De posse deste valor é possível assegurar a área máxima limitada pelos sinais sem fio do tipo Wi-Fi.

Mediante os valores dos raios encontrados é possível deparar-se com três cenários diferentes quanto à conectividade dos nós clientes em relação ao nó roteador:

- **Diretamente Conectados:** Neste caso todos os nós clientes estão a uma distância até o nó roteador menor ou igual em comparação aos nós clientes presentes. Isto significa que todos os nós clientes irão enviar seus dados diretamente ao nó roteador. A Figura 8 apresenta este cenário.
- **Parcialmente Conectados:** Neste contexto alguns nós clientes estão inclusos no alcance do nó roteador e os outros sob as coberturas destes. Este faz necessário a presença dos nós intermediários que repassarão todos os dados dos outros nós até o nó roteador e também pelo inverso. A Figura 9 apresenta este cenário.
- **Não Conectados:** Este cenário se aplica onde nenhum dos nós clientes consegue se conectar ao nó roteador, por estarem fora do alcance do sinal sem fio. A Figura 10 apresenta este cenário.

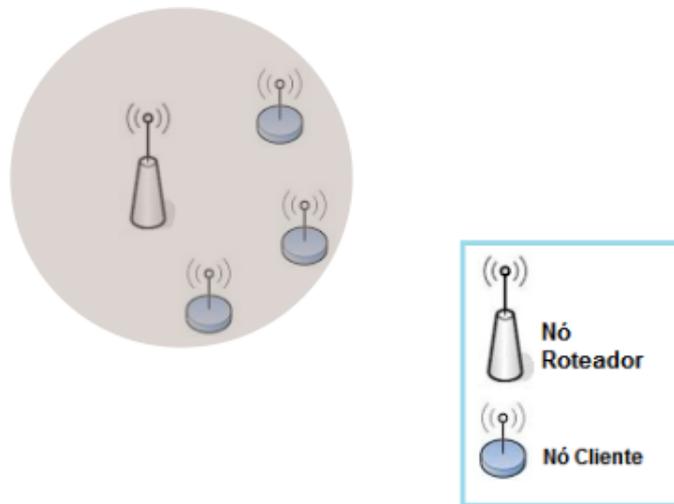


Figura 8 – Nós diretamente conectados.

Fonte: Adaptado de SANTOS (2009).

Se torna inviável analisar os cenários: Diretamente conectados e Não conectados, pois no primeiro caso, todas as conexões seriam estabelecidas diretamente com o nó roteador e não seria necessário utilizar a técnica de rede mesh. De outro lado quando nenhum dos nós cliente consegue se conectar ao nó roteador, nenhum dado é armazenado, inviabilizando a análise de

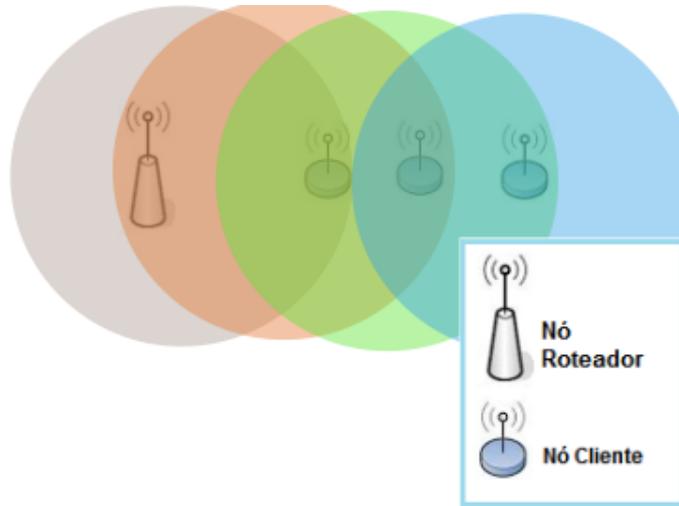


Figura 9 – Nós parcialmente conectados.
Fonte: Adaptado de SANTOS (2009).

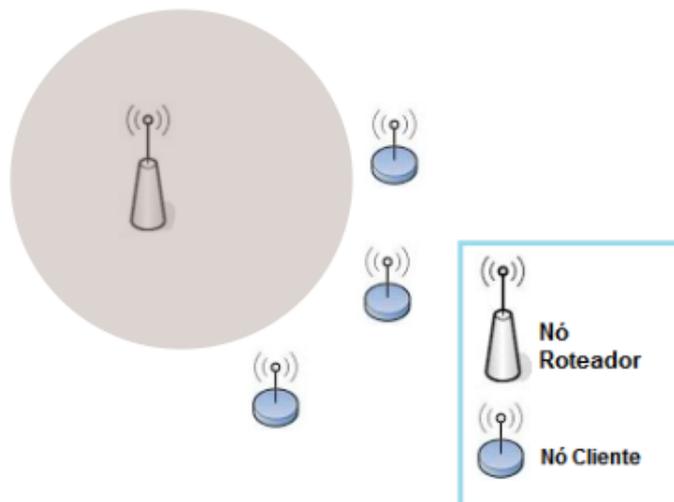


Figura 10 – Nós inacessíveis.
Fonte: Adaptado de SANTOS (2009).

dados onde a rede se aplica. Já o cenário parcialmente conectado permite o surgimento de várias rotas, de forma a possibilitar a aplicação viável da topologia Mesh.

3.3 ESTRUTURA DA REDE MESH

A composição do sistema será dado pela aplicação de cinco nós clientes, um nó roteador e um computador. Os nós ficarão a uma distância variada, considerando as limitações da tecnologia sem fio presente nos equipamentos IOT, dado que a proposta é que os equipamentos possam se mover, formando novas rotas. O único nó que permanecerá imóvel será o nó roteador para prover a conectividade com os demais equipamentos. A Figura 11 apresenta a estrutura a ser utilizada.

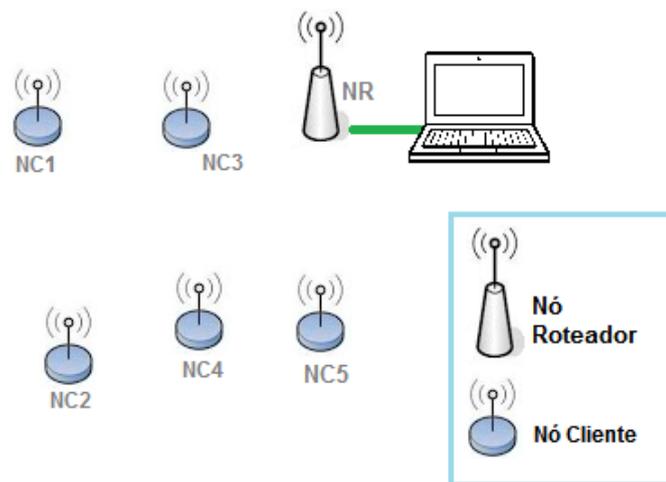


Figura 11 – Estrutura proposta.

Fonte: Adaptado de SANTOS (2009).

A disposição dos componentes como é demonstrada na Figura 11, faz referência a união de duas arquiteturas de rede Wi-Fi, a arquitetura de infraestrutura, mais especificamente a rede BSS (Seção 2.5) e a arquitetura Ad-Hoc (Seção 2.5).

Da rede BSS é extraída a ideia de possuir apenas um ponto centralizador de dados, denominado de nó roteador, mas não pelo fato de centralizar e intermediar as conexões de toda a rede. Da outra arquitetura é retirada a maneira com que os nós clientes podem se comunicar e transmitir seus dados, ou seja, entre si. Unindo estes dois conceitos é possível obter a arquitetura

Híbrida de redes mesh (Seção 2.7).

Nesta rede somente o nó que trabalha como roteador, estabelece conexão Wi-Fi com a rede mesh que possui SSID "ESPNOW-CLI", e ao mesmo tempo é um ponto de acesso Wi-Fi da rede de SSID "ESPNOW-ROOT" que fornecerá conexão ao computador, onde será armazenado os dados coletados. Este receberá os dados dos outros pontos da rede mesh e irá enviar cada um por meio de pacotes UDP ao computador.

Os nós clientes irão se interligar juntamente com o nó roteador para formar a rede mesh. Esses possuem duas funcionalidades principais que são, coletar os dados dos sensores e retransmitir os dados dos outros nós.

3.4 TOPOLOGIA DE REDE A SER APLICADA

A topologia a ser empregada na rede mesh proposta é a árvore devido a não existência de múltiplos caminhos em que os pacotes possam percorrer. Esta topologia evita que várias mensagens idênticas (*broadcast*) sejam transmitidas e garante um caminho estável e o mais curto possível.

A tentativa em evitar mensagens por *broadcast* é dada pelo fato de que quando um ponto específico da rede Wi-Fi encaminha qualquer pacote de dados, todos os outros a sua volta o replicam até que seja alcançado o seu destino. Neste processo são gerados infinitos pacotes que permanecessem em transição ou em *loop*, mesmo depois que um desses tenha alcançado o seu destino final. Esta atividade consome os recursos de todos os elementos da rede e realiza um possível conflito com outros pacotes que estejam trafegando.

Cada nó se comunica exclusivamente com um nó do nível acima e com os nós que se estabeleceram como filho deste. Nesta rede, cada nó possibilita que no máximo dois nós se estabeleçam a ele. A vantagem da utilização desta estrutura se dá pelo fato de que os dados transmitidos possuem rotas definidas e assim não realizando *broadcast*.

Na disposição em árvore os nós possuem níveis (número de saltos) e quantidade máxima de ramificações. O número de saltos permite a rastreabilidade da distância dentro da rede, devido que nem todos os elementos podem estar dentro da área do sinal Wi-Fi de todos os pontos da rede. A quantidade máxima de ramificação em cada nó, garante a distribuição das conexões entre os participantes da rede, evitando sobrecarga e reduzindo o caminho ao destino final, este parâmetro será idêntico em todos os pontos da rede mesh.

3.5 ESTRUTURAÇÃO DA REDE MESH

A estruturação da rede Mesh é realizada baseado na detecção dos elementos (pontos) presentes nela. Este processo é efetuado pelos elementos que ainda não estão conectados e por aqueles que estão em busca de novos pontos para se restabelecerem, seguindo alguns passos para participarem da rede proposta, estes são descritos nos próximos parágrafos.

1. **Escaneamento Wi-Fi:** Inicialmente é realizada uma busca Wi-Fi de todos os dispositivos que estejam ao alcance e emitindo o SSID com o prefixo de nome equivalente ao da rede mesh definida, nesse caso com o nome “ESPNOW”. Isto possibilita detectar tanto o nó roteador de SSID “ESPNOW-ROOT” quanto os nós clientes de SSID “ESPNOW-CLI” da rede Mesh.

Desta busca são armazenados os SSID, BSSID e RSSI dos dispositivos encontrados. O BSSID diz respeito a identificação única do dispositivo, este no protocolo Wi-Fi é o MAC. O RSSI apresenta a perda de sinal entre dois dispositivos Wi-Fi. Este valor é utilizado como forma de saber a proximidade entre os dispositivos, este dado no entanto não indica a direção que ambos estão dispostos, já que o sinal emitido pelos dispositivos utilizados é omnidirecional².

2. **Ordenar lista pelo nível RSSI:** Todos os dispositivos encontrados durante a busca Wi-Fi são ordenados crescentemente conforme o nível RSSI de cada um e armazenados em memória.
3. **Solicitar Número de Saltos:** Em seguida, o nó que deseja adentrar a rede solicita o número de saltos de todos os nós detectados. Este número indica quantos nós estão entre o ponto solicitado e o computador de destino. Caso um nó não responda a requisição, este já é removido da lista neste passo.
4. **Atualizar Lista em Memória:** Em seguida ao recebimento do número de saltos de cada nó, a lista é novamente ordenada, mas nessa etapa a ordenação se dá ao número crescente de número de saltos, assim tem-se na lista a ordem que considera os melhores pontos para tentar se conectar e definir a sua rota fixa. Esta nova ordenação é realizada pois não é regra que o ponto mais próximo seja aquele que possui menor número de saltos, a Tabela 5 apresenta um exemplo.
5. **Realizar Conexão:** Finalmente, respeitando a ordem da lista de nós resultante do passo anterior, o nó que deseja entrar na rede mesh solicita conexão um a um, isso acontece até que receba resposta positiva e assim este nó é armazenado como filho do ponto que

²Propagação das mesmas propriedades ou sinais em todas as direções

respondeu afirmativamente e este ao mesmo tempo é salvo como rota de destino daquele que agora foi aceite. Caso o nó que receba a solicitação de conexão esteja com o número máximo de conexões já estabelecida, este irá responder negativamente. Em caso de ausência de resposta, são realizadas cinco tentativas, após a última tentativa, este será descartado da lista e a tentativa se dará ao próximo item da lista. Caso o nó que deseja se conectar não receba nenhuma resposta afirmativa à solicitação de conexão dos outros nós presentes na lista, este irá aguardar 10 segundos e em seguida será reiniciado para começar uma nova busca e tentativa de conexão.

Tabela 5 – Exemplo de nós detectados.

SSID	RSSI	BSSID	Número de Saltos
ESPNOW	-25	F8-2B-9B-63-8D-E9	1
ESPNOW	-15	AE-52-D0-D9-9A-5B	2
ESPNOW	-10	6F-3F-69-2A-8E-7B	3

Fonte: Aatoria Própria.

A rede mesh só se forma caso algum nó roteador for detectado, devido que este é o único nó que já inicia o seu funcionamento emitindo o SSID especificado de maneira visível, os outros nós só passam a emitir tal identificação de maneira visível após estabelecerem conexão com algum nó da rede, ou seja, ao final destas etapas.

3.6 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DA REDE MESH

O protocolo de comunicação é formado pelos comandos descritos a seguir. Estes são inclusas nos pacotes transmitidos pelo protocolo ESPNOW como conteúdo de *payload*³.

3.6.1 1XX - Conexão

Os comandos da classe 1XX são utilizados para estabelecer a conexão entre dois nós da rede. O Comando 101 se compõe com a senha da rede mesh, este é utilizado para solicitar

³Carga de dados em uma transmissão/comunicação.

conexão a um outro nó, caso o nó que recebe a requisição possua vaga (quantidade de conexões associadas a este nó seja menor do que a quantidade máxima definida) disponível para esta solicitação, este irá responder com o comando 102, caso o contrário, este irá retornar 103 ao requerente da conexão.

Tabela 6 – Tabela de comandos da classe 1XX.

Prefixo	Dados	Instrução
1 0 1 -	XXXXX	Solicitar Conexão.
1 0 2		Resposta – Conexão Aceita.
1 0 3		Resposta - Conexão Negada.
XXXXXX - Senha de Conexão de 5 Bytes.		

Fonte: Autoria Própria.

3.6.2 2XX - Saltos

Os comandos da classe 2XX são referentes ao número de saltos de cada ponto da rede. A instrução 201 requer a senha de conexão da rede mesh, esta é enviada para solicitar o número de saltos (distância até o destino final) de um nó da rede. A resposta é composta pelo número de saltos do dispositivo.

Tabela 7 – Tabela de comandos da classe 2XX.

Prefixo	Dados	Instrução
2 0 1 -	XXXXX	Solicitar Número de Saltos.
2 0 2 -	YYYYY	Resposta – Número de Saltos.
XXXXXX - Senha de Conexão de 5 Bytes.		
YYYYYY - Número de Saltos do nó atual [0-99999].		

Fonte: Autoria Própria.

3.6.3 3XX - Leituras

Os comandos da classe 3XX dizem respeito às leituras dos sensores de cada item da rede mesh. A instrução 301 é enviada para solicitar a leitura de um nó. Como retorno tem-se a instrução 302 seguido da leitura do sensor, neste em específico existe a presença do byte opcional “!” que indica que um ponto não possui mais níveis abaixo do ponto atual, ou, que todos os nós abaixo daquele já enviaram os seus dados.

Tabela 8 – Tabela de comandos da classe 3XX.

Prefixo	Dados	Instrução
3 0 1		Solicitar Leitura.
3 0 2 - !	MAC - Salto - Dados	Resposta – Leitura.

!-Indicador de ausência de filhos, ou fim de leitura dos filhos.
 MAC - No Formato "XX:XX:XX:XX:XX:XX"
 Salto - Número de saltos do nó até o destino final [000-255].
 Dados - 224 Bytes para os dados sobre os sensores;

Fonte: Autoria Própria.

3.6.4 4XX - Checagem da Rede

As instruções da classe 4XX se referem a checagem dos nós da rede, nesta ação cada ponto verifica quais os elementos estão ou não disponíveis. Esta checagem garante que as rotas entre os nós sejam mantidas e funcionais e alteradas caso algum item não esteja mais respondendo ou acessível.

Tabela 9 – Tabela de comandos da classe 4XX.

Prefixo	Instrução
4 0 1	Solicitar Checagem.
4 0 2	Resposta – Checagem Recebida.

Fonte: Autoria Própria.

3.7 FUNCIONAMENTO DA REDE MESH

Para manter a rede funcional e estável, será definido o tempo de um minuto entre leituras de cada nó da rede. Dentre este intervalo foi dividido em seis intervalos de dez segundos, inicialmente é enviado a requisição de leituras dos sensores (3XX - 3.6) e nos outros a seguir são enviados comandos de checagem de integridade da rede (4XX - 3.6).

Cada ponto da rede, exceto o roteador, após receber uma solicitação de leitura ou checagem de rede do nível acima, define um tempo máximo de quinze segundos de espera de uma nova solicitação, atingido este tempo, o nó entra no processo de busca de um novo ponto para se conectar. Neste processo, as rotas dependentes deste nó, ou melhor, que se estabeleceram por meio deste nó serão modificadas independentemente, pois cada elemento irá buscar um novo ponto a se conectar.

O nó roteador é responsável por gerenciar os intervalos de tempo entre os processos de requisição de leitura e checagem de rede, é nele que estas ações são iniciadas e repassadas para os níveis inferiores. A seguir será detalhado como a checagem de rede e a leitura dos sensores ocorrem.

3.7.1 Checagem de Rede

A checagem da rede garante que durante o funcionamento da mesma, se algum ponto parar de responder, os outros nós se ajustarão automaticamente, desta forma os nós que anteriormente possuíam rota fixada que passavam ou dependiam do nó defeituoso, estes buscarão novos pontos para se estabelecer. Já o nó que previamente fornecia conexão (estava acima) ao nó faltante, verifica a ausência e libera a vaga para outro nó que deseja ali se conectar. De forma simplificada, algumas das rotas que anteriormente eram fixadas são alteradas de modo a favorecer o contínuo funcionamento da rede, seguindo assim o conceito de rede mesh.

A checagem é realizada da seguinte maneira: O nó roteador gera o pacote de checagem de rede (código 401) e o encaminha para o primeiro elemento que se estabeleceu a ele. O mesmo aguarda um intervalo de 15 milisegundos pela resposta, se não obtiver êxito, uma nova tentativa é realizada dentro do limite de cinco chances.

Caso nenhuma resposta seja recebida de um determinado elemento, este é removido

da memória do nó que está realizando a checagem, e um novo pacote é encaminhado para o próximo elemento, caso existir, respeitando as mesmas condições de tentativas descritas no parágrafo anterior, até a última conexão.

Caso o nó requerido responda a solicitação (código 402), ou seja, confirme a sua presença na rede e indicando a sua dependência daquele nó solicitante, este passa a checar as suas conexões da mesma maneira que o nó roteador realiza e o nó que solicitou a checagem passa a checar o próximo ponto a ele estabelecido.

A Figura 12 ilustra o processo de checagem da rede em vista dos elementos que estão realizando ela, ou seja, nós que estão checando as conexões estabelecidas nele. Considera-se filhos os nós diretamente conectados a um ponto da rede que necessitam deste para se comunicarem com a rede Mesh.

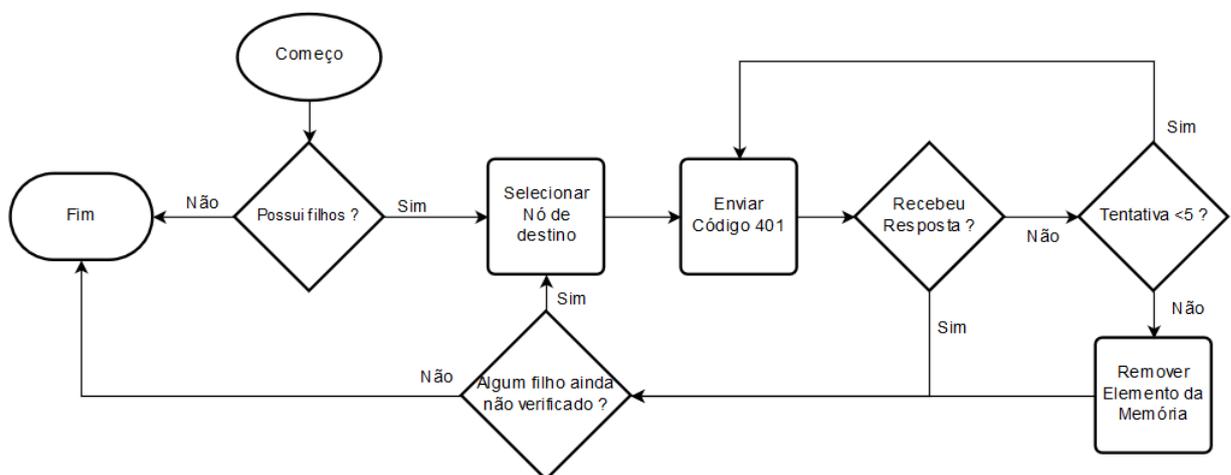


Figura 12 – Fluxograma de checagem de rede.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 13 apresenta um exemplo de como as rotas podem ser modificadas. Neste todos os elementos da rede só possibilitam que dois dispositivos se conectem em cada ponto da rede.

Inicialmente o nó A possui dois nós (D e E) a ele estabelecido e por algum motivo este nó A interrompe o seu funcionamento normal, deixando de responder as solicitações do nó roteador e isolando os dois nós inferiores da rede mesh. Neste momento o nó Roteador percebe que o nó A está ausente e assim o remove da sua lista de conexões. Já os nós D e E removem o nó A que anteriormente era o destino fixo de envio de dados e buscam de maneira independente novos pontos para se conectarem.

Observa-se também que o nó D conseguiu se conectar a um ponto melhor do que possuía anteriormente, ou seja, reduziu a sua distância até nó roteador. Isso foi possível devido

ao fato de que possivelmente o nó roteador estaria ao alcance do nó D e possuía uma vaga de conexão, que anteriormente pertencia ao nó A.

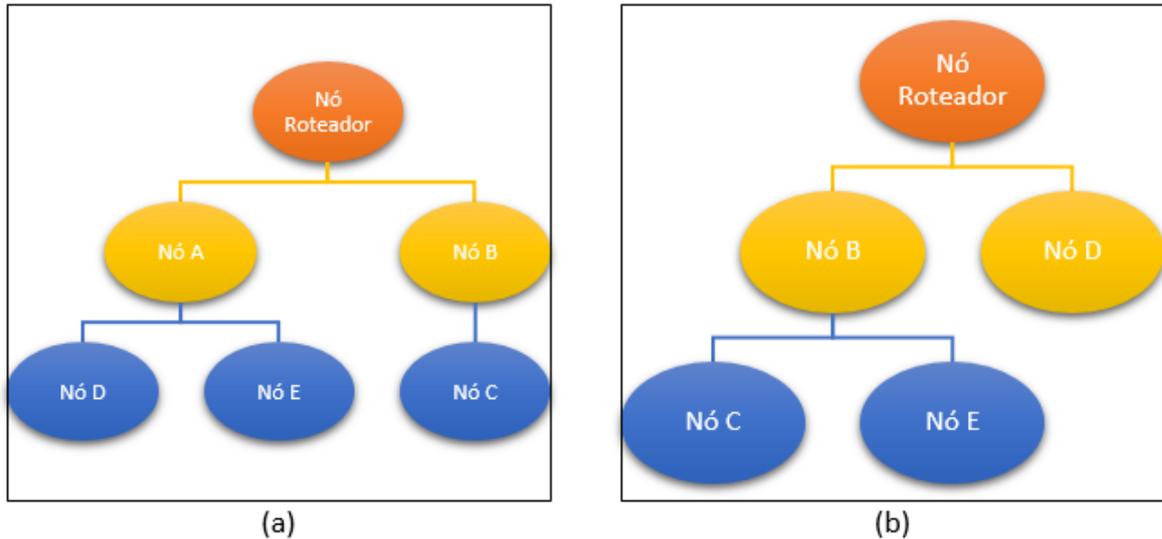


Figura 13 – Exemplo de mudança de rotas na rede Mesh.

Fonte: Autoria Própria.

3.7.2 Solicitação das Leituras dos Sensores da rede

Diferentemente da checagem de rede, este processo é realizado da mesma forma que um percurso de pré-ordem utilizada em árvores binárias, ou seja, quando a raiz inicialmente é lida e em seguida a sub-árvore da esquerda e em seguida a sub-árvore da direita.

Para o melhor entendimento e semelhança com o percurso em pré-ordem considera-se que os elementos estão dispostos na ordem de estabelecimento de conexão, ou seja, os elementos que se conectam primeiro estarão mais a esquerda nas figuras.

A Figura 14 ilustra o processo de leitura dos nós da rede em vista dos elementos que estão solicitando as leituras do nós diretamente conectados a eles. Considera-se filhos os nós diretamente conectados a um ponto da rede que necessitam deste para se comunicarem com a rede Mesh.

O nó roteador inicialmente irá gerar o pacote de requisição de dados (código 301) e irá encaminhar para o primeiro elemento que se estabeleceu a ele, irá aguardar um intervalo de

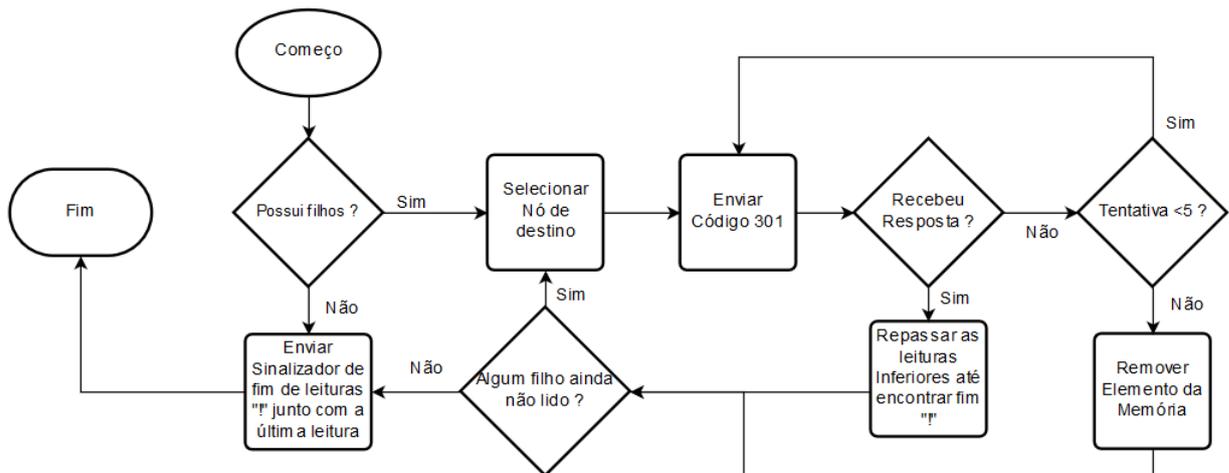


Figura 14 – Fluxograma de leitura.

Fonte: Autoria Própria.

15 milissegundos pela resposta, se não obtiver nenhuma resposta uma nova tentativa é realizada dentro de cinco tentativas.

Se nenhuma resposta for recebida de um elemento, este será removido da memória do nó que está realizando a solicitação e um novo pacote irá para o próximo elemento se existir, respeitando as mesmas condições de tentativas descritas no parágrafo anterior até a última conexão.

Caso o nó responda a solicitação (código 302), ou seja, confirmando a sua presença na rede e indicando a sua dependência daquele nó solicitante, este passará a solicitar os dados da mesma maneira que o nó roteador faz.

3.8 SEGURANÇA

Dentro dos comandos utilizados na rede, somente a solicitação de número de saltos "2XX"(3.6) e solicitação de conexão "1XX"(3.6) necessitam enviar a senha padrão da rede. Após estabelecida a conexão, não é necessário enviar qualquer outro tipo de checagem para garantir privacidade, dado que os dados transmitidos são todos criptografados pelo método CCMP⁴ presente no protocolo ESPNOW.

Para ampliar a quantidade máxima de conexões simultâneas entre os dispositivos

⁴Algoritmo de criptografia desenvolvido para o meio Wi-Fi

ESP32, não será configurado nenhuma chave PMK presente o ESP-NOW, assim a chave padrão será utilizada para que mais elementos possam se comunicar.

Todos os participantes da rede também possuem senha de conexão para o *Wi-Fi*, esta será igual em todos os elementos da rede. Esta senha é necessária devido ao fato de que cada dispositivo ao entrar na rede Mesh se torna um ponto de acesso.

Como segurança complementar, dentro do protocolo a ser desenvolvido, cada elemento deve possuir a senha de autenticação da rede Mesh.

3.9 PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

Para receber os dados obtidos na rede mesh, será configurado em um computador um servidor a partir da API Node-Red. O serviço será responsável por:

- receber todos os dados coletados pelos nós da rede mesh;
- realizar as transformações nos dados recebidos por meio dos fluxos de dados pré-programados;
- encaminhar as informações para o banco de dados e *dashboard*.

As informações dos integrantes da rede são encaminhadas pelo nó roteador por meio de um pacote de dados do protocolo UDP⁵ contendo os dados coletados e a identidade do nó de origem (MAC).

No mesmo computador que será utilizado como servidor também será instalado o banco de dados e o *dashboard*⁶. O banco de dados *MySQL* será utilizado para armazenar as informações obtidas. Já o *dashboard* será elaborado utilizando as ferramentas presentes na API Node-Red, visto que na mesma é possível realizar tanto o controle de dados quanto a elaboração da página web para visualização e controle de projetos IOT.

⁵Protocolo de rede simples.

⁶Interface de visualização de dados.

3.9.1 DashBoard

Na interface do *dashboard* é possível acompanhar as leituras do nós clientes da rede Mesh. De cada nó é possível avaliar a data e hora do último pacote recebido, o endereço MAC do elemento, o valor da temperatura e umidade. A Figura 15 apresenta o *dashboard* elaborado.

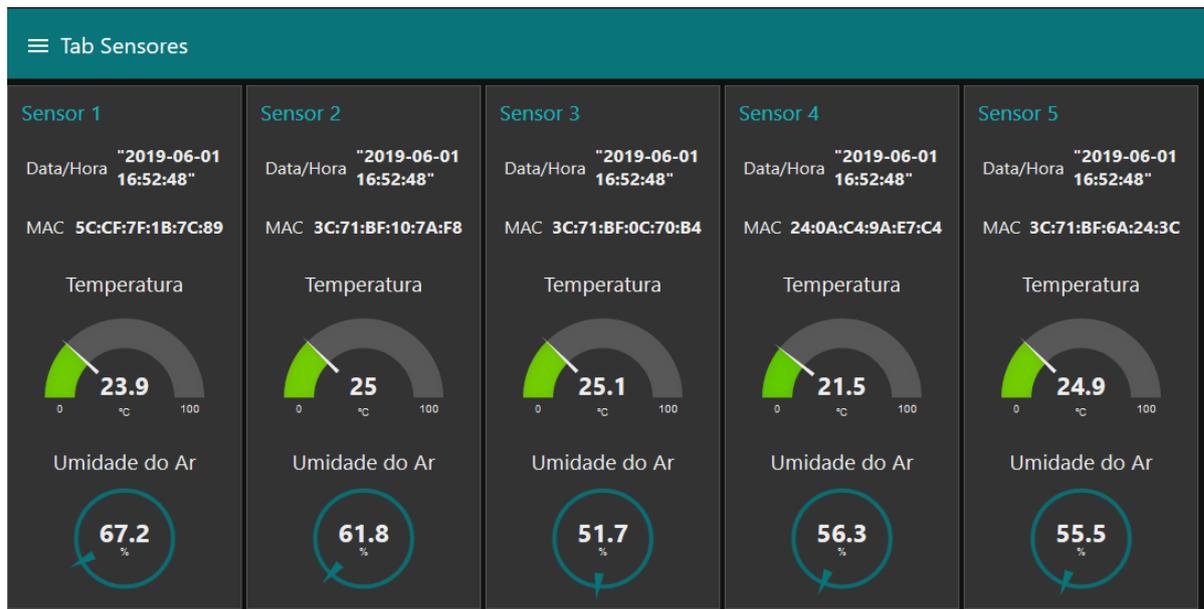


Figura 15 – DashBoard desenvolvido.

Fonte: Autoria Própria.

Também é possível avaliar o histórico das temperaturas e umidades coletados, por meio de gráficos. A Figura 16 apresenta o histórico de umidade e a Figura 17 apresenta o histórico de temperaturas.

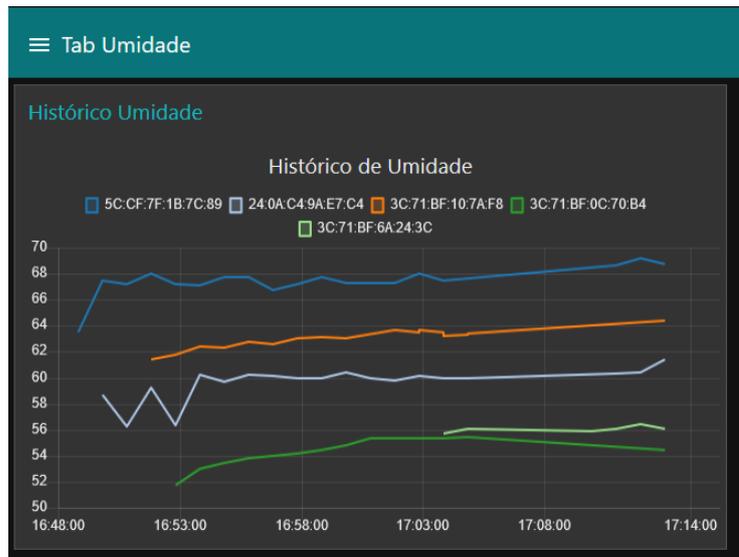


Figura 16 – Dashboard histórico de Umidade.

Fonte: Autoria Própria.

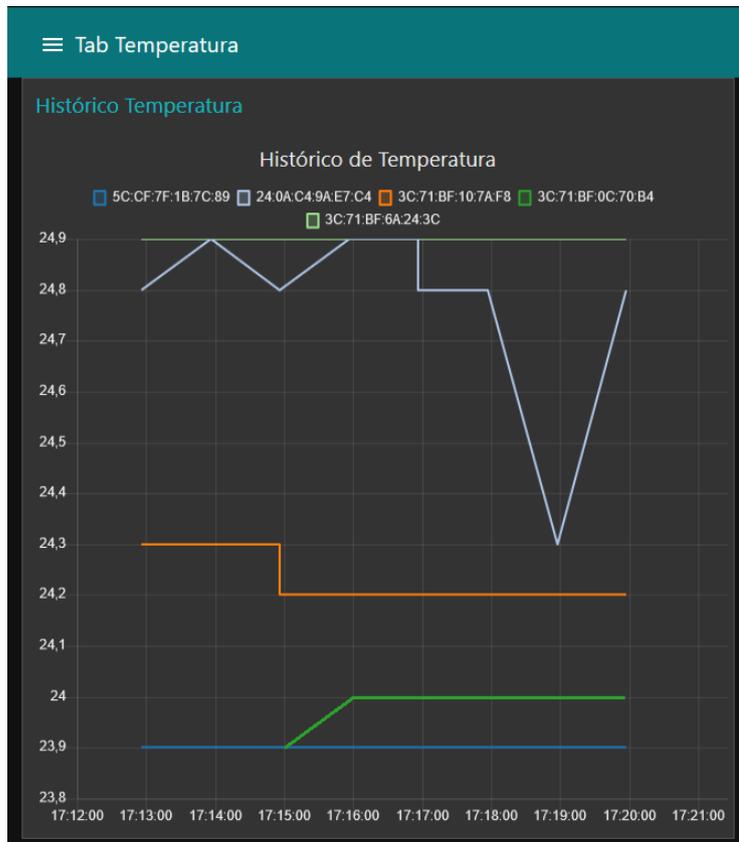


Figura 17 – Dashboard histórico de Temperaturas.

Fonte: Autoria Própria.

4 RECURSOS DE HARDWARE

Neste capítulo serão apresentados os materiais necessários para a estruturação e desenvolvimento do projeto proposto. Inicialmente é apresentado a composição dos integrantes da rede mesh e por fim a estrutura para arquivar os dados coletados.

4.1 NÓS CLIENTES

Cada nó cliente será formado pelos seguintes componentes:

- Uma placa de desenvolvimento ESP32 Dev Kit;
- Uma bateria de Li-Ion (*Lithium-ion*) modelo 18650;
- Um Sensor DHT22;

Os nós clientes por meio da utilização da bateria e da placa de desenvolvimento ESP32 poderão estar dispostos livremente pelo ambiente e assim captar os dados de várias localizações diferentes.

A escolha em utilizar a placa de desenvolvimento ESP32 é devido a presença da tecnologia Wi-Fi a ser utilizada nos experimentos.

Foi escolhido utilizar baterias do tipo LI-ION, pela facilidade de recarga, grande capacidade de corrente e pelo baixo custo de aquisição.

A Figura 18 ilustra os componentes que estarão presentes nos nós clientes.

4.2 NÓ ROTEADOR

O nó roteador será formado pelos seguintes componentes:

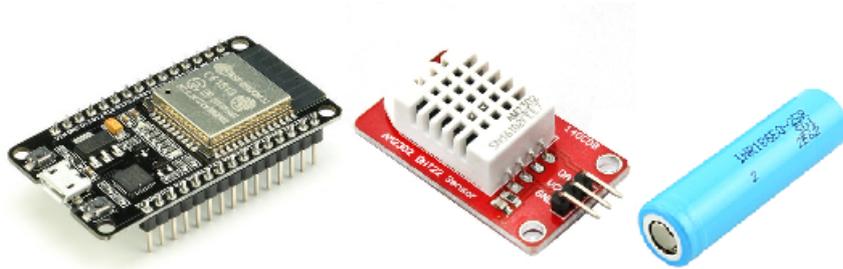


Figura 18 – Equipamentos presentes nos nós clientes: ESP32, DHT22 e Bateria LI-Ion.

Fonte: Aatoria Própria.

- Uma placa de desenvolvimento ESP 32 Dev Kit;
- Um cabo micro USB (*Universal Serial Bus*);

O nó roteador não necessita de baterias visto que sua alimentação será dada através do cabo USB que estará plugado ao computador.

4.3 COMPUTADOR

Um computador será utilizado para executar a ferramenta de programação *Node-Red* e o banco de dados *MySQL*. Este deve possuir uma interface USB que será utilizada para fornecer energia ao nó roteador.

5 EXPERIMENTOS

Para avaliar a solução desenvolvida neste trabalho, é proposto realizar quatro experimentos, um para testar o alcance do sinal Wi-Fi, e três para analisar capacidade de auto-organização dos nós da rede Mesh.

5.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO (TESTE DE COBERTURA WI-FI)

Este primeiro experimento refere-se ao teste de cobertura Wi-Fi descrita na seção 3.2.

Juntamente com o ESP 32 que irá se mover em linha reta, um celular com o aplicativo *Google Maps* na função GPS¹ irá acompanhar realizando a metragem da distância percorrida. O teste é finalizado quando é encontrado o limite máximo onde que os dispositivos ainda permanecem trocando mensagens.

Para obter um parâmetro mais adequado, três repetições serão realizadas, sendo que em cada teste o par de ESP32 será substituído. Isto garante com maior precisão o limite de alcance do sinal Wi-Fi em conjunto com o protocolo ESP-NOW. O parâmetro encontrado neste experimento será utilizado para posicionar os elementos nos próximos experimentos.

5.2 SEGUNDO EXPERIMENTO (INCLUSÃO DE ROTAS E AMPLIAÇÃO DA COBERTURA DA REDE MESH)

Com base na metragem obtida no experimento anterior, foram utilizados três ESP 32 Dev Kit já previamente programados, sendo um deles como nó roteador e os outros dois como

¹Sistema de posicionamento global utilizado para obter localização no planeta terra por meio de satélites.

nós clientes.

Inicialmente o nó roteador (Nó R) é energizado e permanece aguardando os nós se conectarem a ele. Ilustrado na Figura 19(a).

Em seguida um nó cliente (Nó A) é posicionado a uma distância que esteja fora do alcance do sinal do nó roteador. Neste momento é esperado que o nó A não se estabeleça como uma conexão ao nó roteador, pois está fora do alcance do mesmo. Ilustrado na Figura 19(b).

Seguindo o método de estruturação de rede mesh proposta, o nó A permanece inacessível e invisível da rede até o momento em que algum outro nó pertencente a esta, emita o SSID específico da rede dentro do alcance do nó A.

Na sequência um outro nó cliente (Nó B) é posicionado dentro do raio de alcance do nó roteador e do nó A. A partir desta inclusão, o nó B se conecta ao nó roteador, e passa a emitir o SSID definido, possibilitando que o nó A se conecte a ele. Ilustrado na Figura 19(c).

Finalmente para testar a flexibilidade da rede, o nó A é movido para fora do raio de atuação do nó B e dentro do raio de atuação do nó roteador. Ilustrado na Figura 19(d).

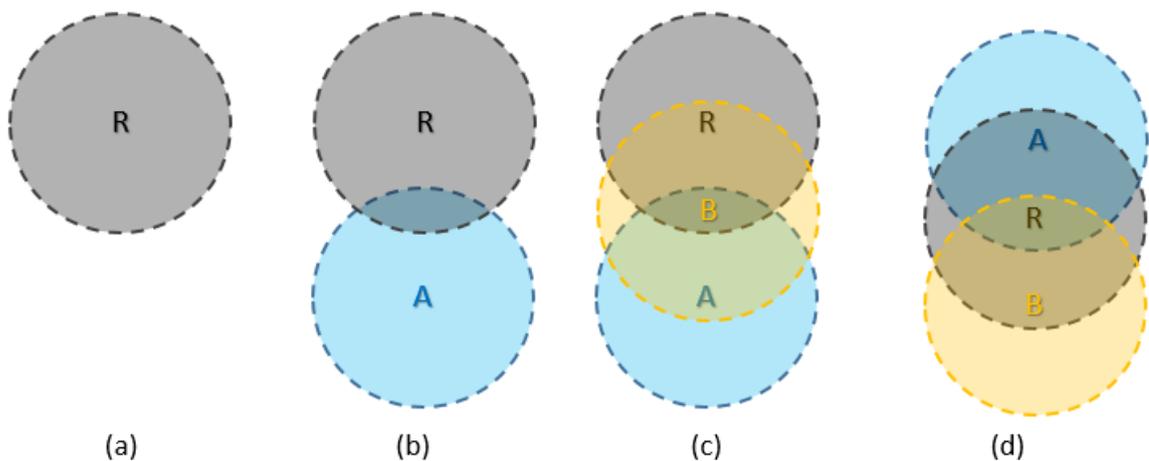


Figura 19 – Sequência de teste do experimento dois.

Fonte: Autoria Própria.

5.3 TERCEIRO EXPERIMENTO (MUDANÇA DE ROTAS)

Este experimento é composto por três nós clientes (A, B e C) e um nó roteador (Nó R).

O nó roteador é ligado e na sequência são inseridos os nós clientes na seguinte ordem: A, B e C; e considerando as seguintes regras de organização:

- O nó A permanece dentro do alcance do nó roteador;
- O nó B permanece dentro do alcance do nó A;
- O nó C é posicionado dentro do alcance dos nós A e B.

A Figura 20 ilustra a sequência de inclusão dos nós clientes.

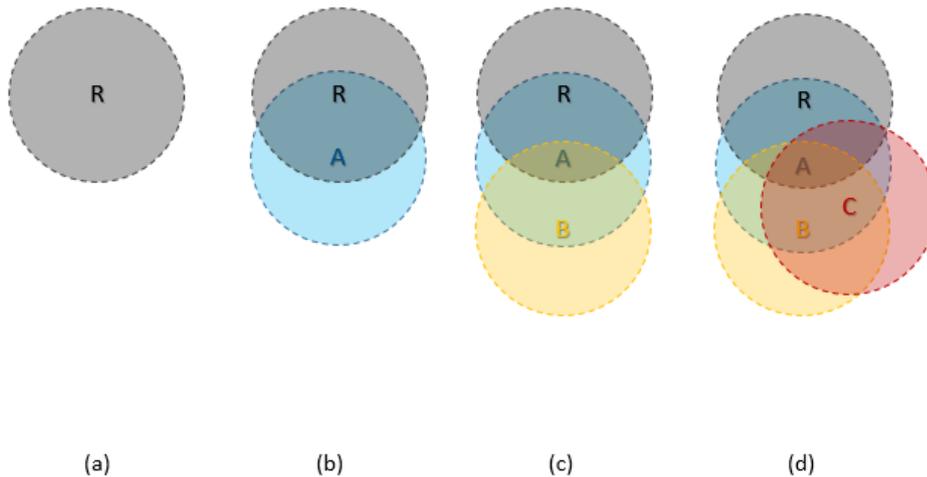


Figura 20 – Sequência de inclusão dos nós clientes.

Fonte: Autoria Própria.

Após os dispositivos se estabelecerem na rede, o nó A tem a sua posição modificada para fora do alcance do nó B e ainda dentro da cobertura do nó roteador. Esta mudança afeta o nó B, dado que este anteriormente se estabeleceu ao nó A, e passa a se conectar diretamente ao nó C. A Figura 21 apresenta a disposição obtida anteriormente e o novo arranjo.

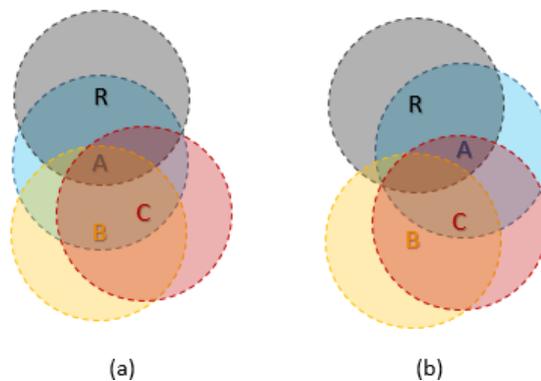


Figura 21 – Mudança na topologia da rede.

Fonte: Autoria Própria.

5.4 QUARTO EXPERIMENTO (CONCORRÊNCIA E BALANCEAMENTO)

Este experimento é composto por um nó roteador e quatro nós clientes. Todos os nós clientes devem estar inseridos na cobertura do nó roteador, isto permite que várias rotas possam ser formadas e obtidas. Para avaliar as diferentes topologias possíveis dentro deste cenário, duas repetições serão realizadas. A Figura 22 explicita a disposição dos elementos para este experimento.

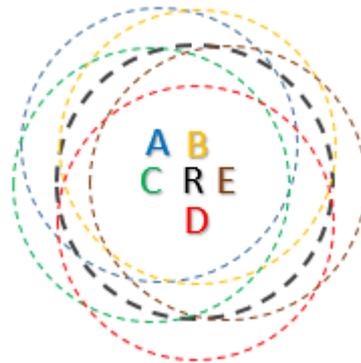


Figura 22 – Posicionamento dos nós para o quarto experimento.

Fonte: Autorial Própria.

Neste experimento todos os nós clientes serão energizados ao mesmo tempo, isto possibilita o teste de concorrência entre eles, dado que todos possuem distâncias quase semelhantes com o melhor ponto de conexão, sendo este o nó roteador.

6 RESULTADOS

Nas seções a seguir são apresentados os resultados obtidos pela aplicação dos experimentos descritos no capítulo 5.

6.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO EXPERIMENTO (TESTE DE COBERTURA WI-FI)

Do primeiro experimento obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 10 – Dados obtidos a partir do teste de cobertura com o protocolo ESP-NOW.

Teste	Alcance (metros)
Teste 1	152,3 m
Teste 2	156,7 m
Teste 3	155,4 m

Fonte: Aatoria Própria.

Dos ensaios obtém-se o raio de alcance médio de 154,8 metros entre dois ESP 32 Dev Kit utilizando o protocolo ESP-NOW na tecnologia Wi-Fi como canal de comunicação. A partir do valor de raio encontrado é possível obter uma área de alcance de $75.243,94 m^2$.

6.2 RESULTADOS DO SEGUNDO EXPERIMENTO (INCLUSÃO DE ROTAS E AMPLIAÇÃO DA REDE MESH)

Ao inserir o segundo nó cliente (Nó B) entre os nós roteador e nó A, tanto o dispositivo B, quanto o A, se conectaram na rede Mesh. Isto foi possível pois o elemento B se estabelece

com o roteador e passa atuar como ampliador de abrangência da rede mesh, sendo este o meio com que o nó A encontra para também adentrar na rede Mesh.

Após a inserção do segundo nó na rede, ambos os pontos da rede começaram a transmitir a suas informações. A Figura 23 apresenta as primeiras leituras coletadas.

ID	MAC	Salto	Temperatura	Umidade	Data-Hora
1	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,5	74	2019-05-24 10:27:47
2	5C:CF:7F:55:1D:1F	2	23,8	74	2019-05-24 10:27:47

Figura 23 – Primeiros dados obtidos no segundo experimento.

Fonte: Autoria Própria.

Com base no número de saltos é possível obter a topologia da rede no estado. A Figura 28(a) apresenta esta topologia. A Tabela 11 apresenta a relação de endereço MAC e identificação dos nós na topologia.

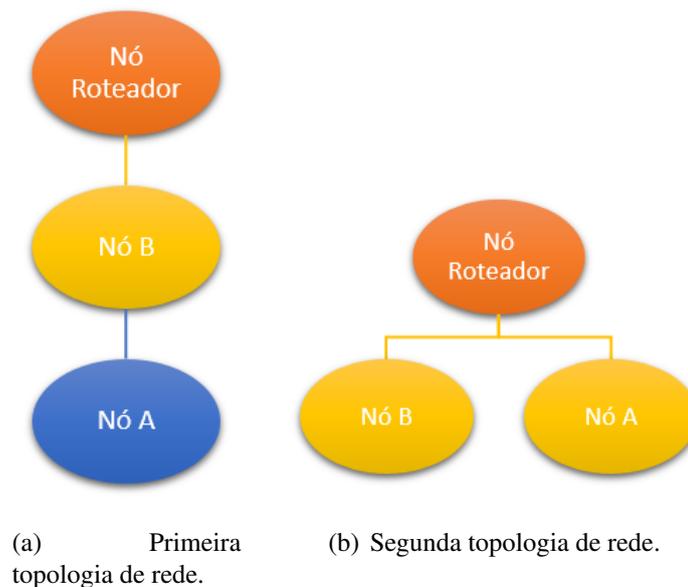


Figura 24 – Topologias de rede do segundo experimento.

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 11 – Relação entre MAC e Nós no segundo experimento.

MAC	Nó Referente
5C:CF:7F:1B:7C:89	Nó B
5C:CF:7F:55:1D:1F	Nó A

Fonte: Autoria Própria.

Após a alteração de posição do nó B, é possível verificar que a topologia da rede também muda. Esta alteração pode ser observada na Figura 25 na quinta e sexta leitura obtida. A nova topologia é ilustrada na Figura 28(b).

ID	MAC	Salto	Temperatura	Umidade	Data-Hora
1	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,5	74	2019-05-24 10:27:47
2	5C:CF:7F:55:1D:1F	2	23,8	74	2019-05-24 10:27:47
3	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,5	74	2019-05-24 10:28:47
4	5C:CF:7F:55:1D:1F	2	23,8	74	2019-05-24 10:28:47
5	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,5	74	2019-05-24 10:29:47
6	5C:CF:7F:55:1D:1F	1	23,8	74	2019-05-24 10:29:47

Figura 25 – Posicionamento dos nós para o quarto experimento.

Fonte: Autorial Própria.

6.3 RESULTADOS DO TERCEIRO EXPERIMENTO (MUDANÇAS DE ROTAS)

Logo após todos os nós clientes terem sido ligados, foi possível obter a topologia da rede através das leituras enviadas ao banco de dados. A Figura 26 apresenta os dados coletados durante o experimento. A Tabela 12 apresenta a relação de endereço MAC e identificação dos nós na topologia.

ID	MAC	Salto	Temperatura	Umidade	Data-Hora
27	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23	63	2019-05-24 10:40:23
28	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,2	63	2019-05-24 10:41:23
29	5C:CF:7F:55:1D:1F	2	23	63	2019-05-24 10:41:23
30	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,2	63	2019-05-24 10:42:23
31	5C:CF:7F:55:1D:1F	2	23	63	2019-05-24 10:42:23
32	3C:71:BF:10:7A:F8	3	23,5	63	2019-05-24 10:42:23
33	5C:CF:7F:1B:7C:89	1	23,2	63	2019-05-24 10:43:23
34	3C:71:BF:10:7A:F8	2	23,5	63	2019-05-24 10:43:23
35	5C:CF:7F:55:1D:1F	3	23	63	2019-05-24 10:43:23

Figura 26 – Leituras obtidas durante o terceiro experimento.

Fonte: Autorial Própria.

Dos dados coletados é possível obter a topologia da rede no instante que foram enviados, a terceira formação é obtida pelos registros de ID's 30, 31 e 32 e é apresentada na

Figura 27(a).

Tabela 12 – Relação entre MAC e Nós no terceiro experimento.

MAC	Nó Referente
5C:CF:7F:1B:7C:89	Nó A
5C:CF:7F:55:1D:1F	Nó B
3C:71:BF:10:7A:F8	Nó C

Fonte: Autoria Própria.

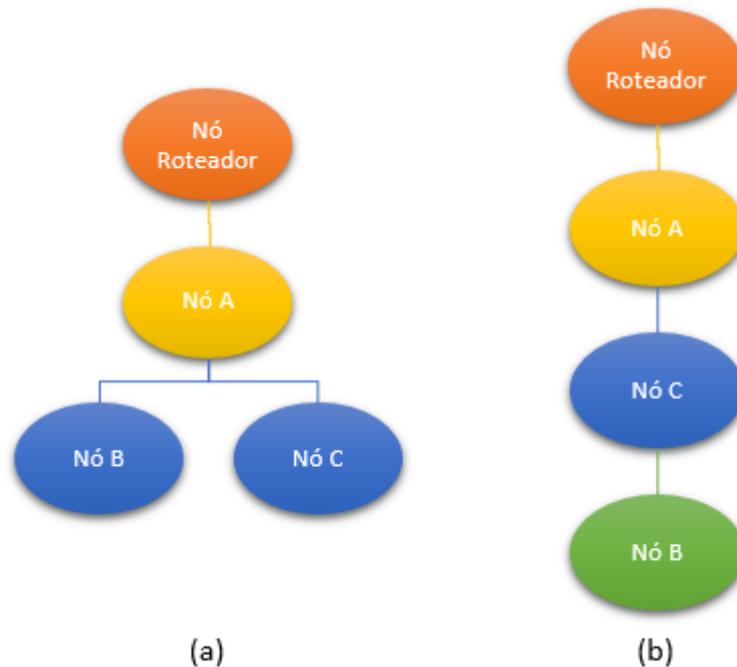


Figura 27 – Topologias obtidas durante o experimento.

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que a cada novo nó na rede, um novo registro é enviado com os demais a cada minuto e em cada um deles é presente a leitura de cada sensor ativo na rede Mesh.

A partir da mudança do Nó A, a topologia da rede mudou. Isto pode ser observado pelos registros de ID's 33, 34 e 35 da Figura 26. A nova organização da rede resultante é apresentada na Figura 27(b).

6.4 RESULTADOS DO QUARTO EXPERIMENTO (CONCORRÊNCIA E BALANCEAMENTO)

Dado início ao quarto experimento é possível verificar que a topologia final da rede para a quantidade cinco nós clientes e com a limitação de duas conexões dependentes em cada nó segue um formato padrão. Este é composto por dois nós com número de saltos igual a um e três nós com número de saltos igual a dois. A Figura 28 apresenta este formato.

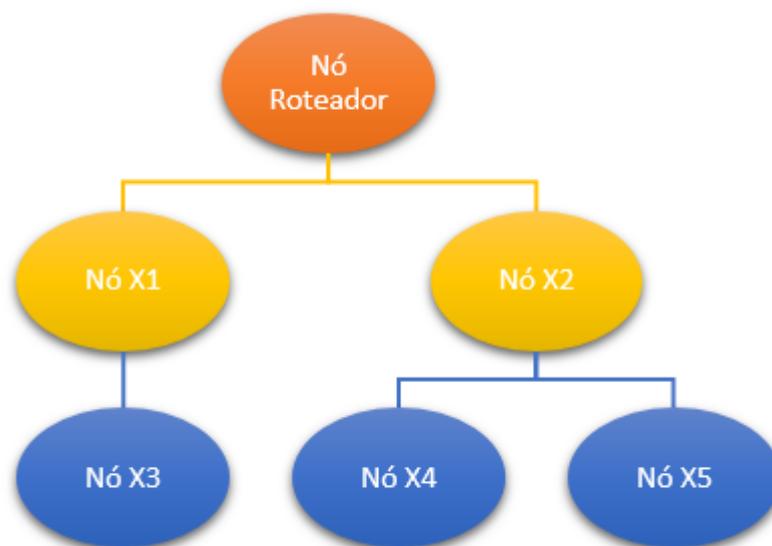


Figura 28 – Topologia para cinco nós diretamente conectados ao roteador.

Fonte: Autorial Própria.

A disposição dos elementos dentro deste formato depende unicamente da rapidez com que se consolida dentro da rede, sendo que, elementos mais ágeis se estabelecem antes do que aqueles que apresentam atraso.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pelos experimentos realizados, pode-se concluir que a agregação entre uma rede de sensores e a técnica de rede Mesh é possível e viável. Esta integração ainda possibilita a ampliação da cobertura de sinal da rede de sensores por meio da distribuição e inclusão dos elementos dentro da rede Mesh.

Também foi possível observar que a disposição dos elementos que compõem a rede, influenciaram diretamente na topologia e alcance da rede. Neste ponto elementos mais próximos proporcionam um alcance menor, enquanto elementos mais afastados possibilitam um alcance muito maior.

A metodologia utilizada para realizar a estruturação da rede Mesh se mostrou eficiente dado que todos os nós sempre buscam o melhor ponto para se estabelecerem, considerando em primeiro o número de saltos até o destino final (computador) e na sequência a proximidade entre os elementos, por meio do nível de RSSI entre os dispositivos Wi-Fi.

Juntamente com a estratégia empregada, foi possível observar que os nós modificam as suas rotas sempre que um ou mais elementos presentes na rede se tornam inacessíveis, possibilitando o funcionamento contínuo.

Os resultados obtidos deste estudo foram considerados ótimos, baseando-se que durante o funcionamento é possível movimentar os nós da rede sem que haja interrupção do serviço, esta alteração só é possível quando efetuada dentro do alcance de outro(s) nó(s) da mesma rede.

Por fim, este projeto se mostrou ideal para ser aplicado em locais onde não existe uma estrutura fixa para realizar o monitoramento do local, devido ao fato de que toda a comunicação é realizada de forma sem fio. A única limitação de aplicação deste projeto é a presença de um computador para poder armazenar os dados coletados.

8 TRABALHOS FUTUROS

Os nós da rede poderiam possibilitar que mais nós se estabelecessem a um mesmo ponto, isto faria com que a estrutura da rede fosse ampliada e reduziria ainda mais o número de saltos até o computador.

Uma possível expansão seria por meio da inclusão de mais nós roteadores, isso possibilitaria a divisão de tráfego, e uma rota alternativa, no caso de falha do nó roteador principal.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, E. S. et al. **Segurança em Redes Mesh: Tendências, Desafios e Aplicações**. 01 2008. p. 101-149 p.
- AKYILDIZ, I. F.; WANG, X.; WANG, W. Wireless mesh networks: a survey. **Computer Networks**, v. 47, n. 4, p. 445 – 487, 2005. ISSN 1389-1286.
- ALMEIDA, H. Computação Brasil - Internet das coisas. **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, v. 29, 2015.
- ANTUNES, R. A. **INSTALAÇÃO DE UMA REDE MESH METROPOLITANA UTILIZANDO O PADRÃO IEEE 802.11a E IMPLEMENTAÇÃO DO SERVIÇO VOIP (WMAN-VOIP)**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, 2012.
- ARAUJO, R. B. d. Computação ubíqua, princípios, tecnologias e desafios. **XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, 2003.
- ASHTON, K. That Internet of Things Thing. **RFID Journal**, v. 39, 2009.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: a survey. **Computer Networks**, 2010.
- AUGUSTIN, I.; FERREIRA, G. P.; YAMIN, A. C. Grade Computacional como Infra-Estrutura para a Computação Pervasiva/Ubíqua. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SBC, p. 77 – 117, 2008.
- BARAN, A. A biotelemetry system with microcontroller and integrated web server in wirelessieee 802.11b tcp/ip network. **Erciyes Universitesi fen bilimleri dergisi.**, 2018.
- BARBOSA, D. N. F. et al. Em direção a Educação Ubíqua: aprender sempre, em qualquer lugar, com qualquer dispositivo. **XI Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação**, v. 6, 2008.
- BRANQUINHO, O. C. **Tecnologias de Redes sem Fio**. 1. ed. [S.l.]: Escola Superior de Redes, 2014.
- BRANQUINHO, O. C.; REGGIANI, N.; ANDREOLLO, A. G. Redes de comunicação de dados sem fio - uma análise de desempenho. **ISA SHOW SOUTH AMERICA Feira Sul-Americana e 5 Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação.**, 2005.
- BREUEL, C. M. **Redes em Malha sem Fios**. 2004.
- BUENO, E. M.; NALON, J. A. Iluminação pública inteligente utilizando rede mesh. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 19, p. 71 – 81, 2016. ISSN 2236-6733.
- CAETANO, M. R.; GONÇALVES, E. d. S. SISTEMA DE INTERLIGAÇÃO E MONITORAMENTO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA. **Revista Científica Doctum: Multidisciplinar** , p. 1 – 50, 2019. ISSN 2448-1815.

- CASAGRAS. Casagras final report: Rfid and the inclusive model for the internet of things. p. 10–12, 2009.
- COSTA, C. A.; YAMIN, A. C.; GEYER, C. F. R. Toward a General Software Infrastructure for Ubiquitous Computing. **IEEE Pervasive Computing**, 2008.
- CUNCHEA, M.; KAAFARAB, M.-A.; BORELIB, R. Linking wireless devices using information contained in Wi-Fi probe requests. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 11, p. 56–69, 2014.
- DIAS, R. R. F. Internet das coisas sem mistérios: uma nova inteligência para os negócios. 2016.
- EDUARDO, C. **Topologias 802.11**. 2011. Disponível em: <<https://www.wlan.com.br/?p=453>>.
- ESPRESSIF-SYSTEMS. **ESP-NOW User Guide**. 1. ed. [S.l.]: Espressif Systems, 2016.
- FERREIRA, L.; MONTANHA, G. K. INTERFERÊNCIA DE SINAL WI-FI EM FUNÇÃO DE TIPOS DE BARREIRAS. **Tekhne e Logos**, v. 15, 2017. ISSN 2176 – 4808.
- HAC, A. **Wireless Sensor Network Designs**. [S.l.: s.n.], 2003. ISBN 9781405198431.
- HANSMANN, U. et al. **Pervasive Computing Handbook**. [S.l.: s.n.], 2001. ISBN 978-3-662-04318-9.
- ITU-T, I. T. U. **Overview of the Internet of things**. [S.l.], 2012.
- JUBIL, J.; RIGI, C. R. WIRELESS MESH NETWORKS: ISSUES AND CHALLENGES. **International Journal of Computer Science and Mobile Computing**, v. 3, p. 831–833, 2014. ISSN 2320–088X.
- JUNIOR, J. S.; SILVA, C. d. S. e.; XAVIER, D. D. Segurança em internet das coisas: Um survey de soluções lightweight. **Revista de Sistemas e Computação, Salvador.**, v. 7, p. 365–384, 2017.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Rede de computadores e a internet**. 5. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2010.
- LAAD, D. A. et al. Trends in Mobile Computing within the IS Discipline: A Ten-Year Retrospective. **Communication of Association of Information Systems**, v. 27, 2010.
- LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. **Perspectivas em Ciência da Informação**, scielo, v. 20, p. 158 – 171, 06 2015. ISSN 1413-9936.
- LLC, L. R. Uma Introdução à Internet da Coisas (IoT). **Série de IOT**, v. 1, 2013.
- LUETH, K. L. **State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating**. 2018. Disponível em: <<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>>.
- LUGLI, A. B.; SOBRINHO, D. G. Tecnologias wireless para automação industrial: Wireless hart, bluetooth, wisa, wi-fi, zigbee e sp-100. 2012.

- LYYTINEN, K.; YOO, Y. Issues and Challenges in Ubiquitous Computing. **Communications of The ACM**, v. 45, 2002.
- MANCINI, M. Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios. **Tekhne e Logos**, v. 8, p. 73–81, 2017.
- NUGGEHALLI, P.; SRINIVASAN, V.; RAO, R. R. Energy efficient transmission scheduling for delay constrained wireless networks. **IEEE Transactions on wireless communications**, v. 5, p. 531–539, 2006.
- PECHOTO, M. M.; UEYAMA, J.; ALBUQUERQUE, J. Porto de. E-noé: Rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos. 2013.
- SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Perspectivas em Ciência da Informação**, p. 1 – 50, 2016.
- SANTOS, H. N. D. **REDES MESH**. 2009. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/redemesh/Home/projeto-tcc>>.
- SANTOS, I. A. et al. EXEHDA-GB: Um Mecanismo para Captura e Modificação do Estado de Contextos na Computação Ubíqua. **SBC-ERAD2011**, 2011.
- SILVA, C. A. G. et al. A Study of the Mesh Topology in a ZigBee Network for Home Automation Applications. **IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS**, v. 15, p. 71 – 81, 2017.
- SILVA, E. et al. Computação ubíqua – definição e exemplos. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 23–32, 2015. ISSN 2359-3539.
- SOBRAL, M. M. **Redes de Computadores II: Diário de Aula 2013-2**. 2013.
- STALLINGS, W. **Arquitetura e organização de computadores**. 8. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2010.
- STEFANUTO, I. M.; SANTOS, J. A. M. d.; TORRES, C. T. Evolução das redes sem fio: Comparativo entre wi-fi e bluetooth. 2016.
- TERUEL, B. et al. Desempenho de rede de sensores sem fio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, scielo, v. 16, p. 1374 – 1380, 12 2012. ISSN 1415-4366.
- VENKATESH, A. Computers and other interactive technologies for the home. **Communications of The ACM**, v. 39, 1996.
- VERMESAN, O. et al. Internet of things: Strategic Reserach Roadmap. **CERP IoT - INTERNET OF THINGS EUROPEAN RESEARCH CLUSTER**, v. 2, 2009.
- WARKEN, N. Exehda-DA: Uma Contribuição ao Controle da Adaptação Na Computação Ubíqua. 2010.
- WEISER, M. The Computer for the Twenty-First Century. **IEEE Pervasive Computing**, v. 1, 2002.

WENDLING, M. **Sensores**. 1. ed. [S.l.]: Unesp-UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2010.

ZARUBA, G. V. et al. Indoor location tracking using RSSI readings from a single Wi-Fi access point. **Wireless Networks**, v. 13, p. 56–69, 2007.

ZHANG, Z. K. et al. Iot security: Ongoing challenges and research opportunities. **IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications**, p. 230–234, 2014.

ZHAO, R.; WHANG, J. Visualizing the research on pervasive and ubiquitous computing. **Scientometrics**, v. 16, 2010. ISSN 0138-9130.