

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS DE SOUZA PICUSSA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA IOT DE SENSORIAMENTO
DE UMIDADE PELO MÉTODO DIELÉTRICO POR PRINCÍPIO
CAPACITIVO**

CURITIBA
2019

MATHEUS DE SOUZA PICUSSA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA IOT DE SENSORIAMENTO
DE UMIDADE PELO MÉTODO DIELÉTRICO POR PRINCÍPIO
CAPACITIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em engenharia elétrica da Universidade Federal do Paraná como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz

CURITIBA
2019

"Para aqueles que quando criança destruíam brinquedos para entender-los, construir outros ou por pura curiosidade."

AGRADECIMENTOS

Agradeço o meu professor orientador Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz pela dedicação e comprometimento em sua orientação ao longo desses dois semestres.

Agradeço a Marrari Automação, representandos principalmente pelo Eng. Ricardo Toshiaki Yuaoca e o pelo Eng. Antônio Sérgio Beraldo, pela contribuição na minha carreira profissional, abertura e apoio em projetos inovadores e pela confiança no meu trabalho.

Agradeço em especial aos meus pais, Neuza Goncalves de Souza e Valdir Picussa, por todo amor, carinho, confiança, incentivo e oportunidades possibilitadas ao longo de toda a minha vida.

Agradeço a minha namorada, Luisa Gaspari Dias, por sempre estar presente me ajudando, apoiando e motivando, além de ser um exemplo a ser seguido, sendo engenheira, tanto na área academia quanto no mercado de trabalho pelo profissionalismo, dedicação e comprometimento.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Igor Heroso e a Caroline Bassil, por sempre estarem ao meu lado ao longo desta jornada acadêmica, mas não esquecendo dos outros amigos que durante o percurso buscaram outro caminho profissional.

Aos meus amigos Paulo Telles, Luísa Delorenzi, Flávia Giambarresi, Leandro Kanda, Thais Vieira e Marina Bonatto, obrigado por estarem presentes e me acompanharem desde o ensino médio. Vocês foram importantes desde a minha entrada na Universidade Federal do Paraná até a reta final.

RESUMO

PICUSSA, Matheus. Desenvolvimento de sistema IOT de sensoriamento de umidade pelo método dielétrico por princípio capacitivo. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso – , Universidade Federal do Paraná. CURITIBA, 2019.

Palavras-chave: Sensoriamento de Umidade; IoT; LoRa; Industria 4.0; Princípio capacitivo.

O presente trabalho refere-se ao projeto, construção e teste de protótipo portátil de um sistema de sensoriamento de umidade pelo método dielétrico por princípio capacitivo sem fio, por comunicação de longo alcance do tipo LoRa, e conectividade com Aplicativo Android por Bluetooth e com banco de dados por WiFi. Foram desenvolvidos dois protótipos para o sistema. O primeiro responsável pela leitura e configuração do sensor. A conexão com a internet, um dos preceitos da Industria 4.0 e conceito base do IoT foi realizado pelo segundo protótipo, que recebe a comunicação de longa distância do primeiro e transmite para o banco de dados IBM Watson Cloud por WiFi. Foi estudado e testado a otimização da geometria e frequência do sensor para obter melhor precisão. A partir dos dados obtidos constatou-se que quanto maior a área entre os sinais, maior a capacitância do sistema e sensibilidade a variação da capacitância parasita superficial do sistema. E que a frequência de 400KHz e 800KHz apresentaram respostas mais satisfatórias comparadas com 200KHz no quesito de tamanho de faixa de leitura, porém a última apresenta menor desvio padrão de leitura. O desenvolvimento da comunicação do sensor com microcontrolador ESP32 e transmissão de dados pelo protocolo LoRa funcionaram com percentual de sucesso de 85% para uma distância de 300m com visada obstruída.

ABSTRACT

PICUSSA, Matheus. Development of IOT system of moisture sensing by capacitive principle dielectric method. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso – , Universidade Federal do Paraná. CURITIBA, 2019.

Keywords: Moisture Sensing; IoT; LoRa; Industry 4.0; Capacitive principle.

The present work refers to the design, construction and test of a portable prototype of moisture sensing system by the dielectric method by capacitive principle wirelessly, by long-range LoRa communication, and connectivity with an Android Bluetooth Application and database over WiFi. Two prototypes were developed for the system. First is responsible for reading and configuring the sensor. The internet connection, one of the Industry 4.0 precepts and basic concept of the IoT was performed by the second prototype, which receives the long distance communication from the first and transmits it to the IBM Watson Cloud database via WiFi. Optimization of sensor geometry and frequency has been studied and tested for better accuracy of the system. From the data obtained it was found that the larger the area between the signals, the greater the capacitance of the system and the sensitivity to variation of the superficial parasitic capacitance of the system. And that the frequency of 400KHz and 800KHz presented more satisfactory responses compared to 200KHz in the reading range size, but the last has lower reading standard deviation. The development of sensor communication with ESP32 microcontroller and data transmission by LoRa protocol worked with success rate of 85 % for a 300m distance with obstructed sight.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placa de desenvolvimento Wifi Lora 32 v2 - Heltec	22
Figura 2 – Diagrama com Módulos do ESP32	23
Figura 3 – Placa sensora de umidade SSIC045 - Marrari	24
Figura 4 – Topologia em estrela	25
Figura 5 – Topologia em árvore	26
Figura 6 – Topologia mesh	26
Figura 7 – Diagrama funcional do projeto.	28
Figura 8 – Diagrama funcional do projeto do sensor.	29
Figura 9 – Esquemático do amplificador elevador.	30
Figura 10 – Esquemático do amplificador atenuador.	30
Figura 11 – Geometria padrão da placa sensora.	31
Figura 12 – Geometrias desenvolvidas para placa sensora.	32
Figura 13 – Geometrias apresentadas para leitura de umidade de solo por Manash Goswami.	32
Figura 14 – Circuito conversor lógico digital	33
Figura 15 – Circuito de controle da alimentação do sensor	34
Figura 16 – Padrão de comunicação utilizado. Baseado no Protocolo B2P	35
Figura 17 – Protótipo do nó de comunicação	36
Figura 18 – Principais telas do aplicativo	37
Figura 19 – Protótipo do nó de comunicação	39
Figura 20 – Padrões utilizados para teste de leitura	41
Figura 21 – Fórmula do desvio padrão	42
Figura 22 – Dados obtidos com a geometria 0	43
Figura 23 – Dados obtidos com a geometria 1	43
Figura 24 – Dados obtidos com a geometria 0* 12V	44
Figura 25 – Dados obtidos com a geometria 2	44
Figura 26 – Dados obtidos com a geometria 3	45
Figura 27 – Dados obtidos com a geometria 4	45
Figura 28 – Dados obtidos com a geometria 5	46
Figura 29 – Dados obtidos com a geometria 6	46
Figura 30 – Dados obtidos com a geometria 7	47
Figura 31 – Dados obtidos com a geometria 8	47
Figura 32 – Dados obtidos com a geometria 9	48
Figura 33 – Dados obtidos com a geometria 10	48
Figura 34 – Captura da tela inicial	50
Figura 35 – Captura da tela de leitura e configuração	52
Figura 36 – Captura da tela da página do IBM Cloud	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Busca no Software Publish or Perish 7</i>	16
Tabela 2 – <i>Consumo energético nó sensor</i>	49
Tabela 3 – <i>Consumo energético nó de comunicação</i>	49
Tabela 4 – <i>Dados obtidos com os testes de transmissão LoRa variando contexto e parâmetros</i>	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Analog Digital Converter, conversor analógico-digital
CI	Circuito Integrado
DAC	Digital Analog Converter, conversor digital-analógico
FFD	full function devices, dispositivos com todas funções
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de Transferência de Hipertexto
IoT	Internet of Things, internet das coisas
LoRa	protocolo Long Range
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport , Transporte de Mensagens de Telemetria por Fila
NBR	Normas Brasileiras
NoSQL	bancos de dados não relacionais
PIB	Produto interno bruto
PLL	Malha de Captura de Fase Phase-Locked Loop
PSF	ponto de saturação das fibras
RF	Radio Frequency, frequência de rádio
RFD	reduced function devices, dispositivos de função reduzidas
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, receptor/transmissor assíncrono universal

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa	15
2 – METODOLOGIA	16
2.1 Seleção do Portfólio Bibliográfico	16
3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Ambiente e Contexto	18
3.2 Métodos Para a Medição da Umidade	19
3.2.1 Métodos por Secagem	19
3.2.1.1 Método Gravimétrico	19
3.2.1.2 Método criogênico	19
3.2.1.3 Infravermelho e Micro-ondas	20
3.2.2 Métodos Elétricos	20
3.2.2.1 Métodos Resistivos	20
3.2.2.2 Métodos Capacitivos	20
3.2.3 Métodos Ópticos	21
3.3 IOT e Indústria 4.0	21
3.4 Principais Componentes	22
3.4.1 WiFi LoRa 32 V2 - Heltec	22
3.4.1.1 ESP32	22
3.4.1.2 LoRa SX1276	23
3.4.2 Sensor SSIC045	24
3.5 Topologias de Comunicação	24
3.5.1 Topologia Ponto a Ponto	25
3.5.2 Topologia em Estrela	25
3.5.3 Topologia em Árvore	25
3.5.4 Topologia Mesh	26
3.6 Banco de Dados	27
3.6.1 IBM Watson IoT	27
4 – DESENVOLVIMENTO	28
4.1 Hardware	29

4.1.1	Circuito Sensor	29
4.1.1.1	Circuito Sensor 12V	29
4.1.1.2	Geometria da Placa Sensora	31
4.1.2	Nó Sensor	33
4.1.2.1	Circuito Conversor Lógico Digital	33
4.1.2.2	Comunicação do Nó Sensor	34
4.1.2.3	Protótipo do Nó Sensor	36
4.1.3	Aplicativo Android	36
4.1.4	Nó de Comunicação	38
4.1.4.1	Protótipo do Nó de Comunicação	39
4.1.5	Firmwares de Testes	39
5	– TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
5.1	Teste das Geometrias	41
5.2	Teste do Circuitos	49
5.3	Teste do Aplicativo Android	50
5.4	Teste da Conexão com o Banco de Dados IBM	51
6	– CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	53
	Referências	54
	Apêndices	56
	APÊNDICE A–Tabela valores de média e desvio padrão obtidos	57
	APÊNDICE B–Tabelas com dados normalizado	58

1 INTRODUÇÃO

O setor madeireiro é um campo de interesse de desenvolvimento de tecnologia, pois é era um setor historicamente com baixo índice de industrialização e automação, mas esse panorama está mudando. Além de ter espaço para industrialização, é um setor que apresenta produtos de vasto uso no mercado além de ser um setor com PIB de mais de 70 bilhões de reais (IBÁ, 2018). Mesmo com uma situação geral econômica brasileira desprivilegiada, de crise econômica e de alta do dólar, acaba sendo compensada com a alta exportação já que o cambio favorece tal atividade (GAIO, 2016).

Para melhor efetividade de produção e trabalho com esse material, é importante ter tecnologia embarcada nos processos desse tipo de industria, para analisar, transmitir e armazenar os dados obtidos. Todo material com origem madeireira necessita de tratamento e controle (FLORIAN, 2011), para não perder características desejadas. A análise de umidade desse tipo de material se mostra critico em diferentes momentos.

Desde após a derrubada da madeira, durante a secagem ainda em toras, antes e depois do corte, na secagem do material produzido, assim como no transporte e venda a análise da umidade presente é crucial.

O mercado vem se tornando cada vez mais exigente em relação a precisão, confiabilidade, acessibilidade, conectividade e funcionalidade dos equipamentos. Junto com o desenvolvimento de novas tecnologias e protocolos de comunicação sem fio, barateamento de hardwares e ampliação de infraestrutura forma um ambiente com possibilidades de inovação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema IOT (Internet das Coisas) de sensoriamento de umidade pelo método dielétrico por princípio capacitivo, avaliando geometrias do sensor, com armazenamento em banco de dados e interface por aplicação.

1.1.2 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral, é essencial cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Testar circuito do sensor e geometrias para placa sensora;
- Programar o microcontrolador para comunicação sem fio de longa distância e com a interface;
- Implementar circuito e programação de comunicação entre microcontrolador e sensor;
- Desenvolver front-end da aplicação;
- Definir sistema de comunicação ao banco de dados;
- Teste de performance, validação dos sensores e do sistema de comunicação;

- Confeccionar eletrônica do protótipo;
- Analisar os resultados obtidos.

1.2 Justificativa

Sensoriamento sem fio é uma necessidade de muitas indústrias e solução de muitos problemas, por desviar de problemas mecânicos, produtivos e de distância. Além de dar a possibilidade de melhorar a qualidade, reduzir gastos de processos e possibilitar leitura antes inviáveis.

O método dielétrico por princípio capacitivo tem como vantagem a possibilidade de analisar indiretamente diferenças de características físicas do material, dessa forma é uma técnica interessante e versátil, pois possibilita o sensoriamento da umidade ou densidade de um material através da diferença de capacitância lida.

Utilizando como interface uma aplicação em um dispositivo móvel, traz vantagens e outras funcionalidades. Além de ser mais interativo, por já estar no bolso do usuário, é uma tendência do mercado. A armazenagem dos dados obtidos em um banco de dados trás a possibilidade de, em conjunto com outros dados oriundos do mesmo processo, análises de Big Data para aprimoramento do processo e levantamento de informações.

2 METODOLOGIA

O projeto se sustenta na pesquisa a respeito dos temas propostos nos objetivos para, com base nisso, desenvolver o sistema proposto. Se tratar de um projeto interdisciplinar, o qual tem como base conceitos de eletrônica e programação que são presentes no curso noturno de graduação de engenharia elétrica. Mas também apresenta conceitos básicos da área de engenharia florestal. Logo é importante para analisar o estado atual dessa área de desenvolvimento e familiarizar com os novos conceitos. Com isso, é necessário realizar a seleção de um portfólio bibliográfico para compor a fundamentação teórica do desenvolvimento do projeto.

2.1 Seleção do Portfólio Bibliográfico

O Portfólio Bibliográfico, é um conjunto de materiais científicos sobre o assunto em questão, que apresentam conceitos básicos, projetos semelhantes ou fundamentam metodologias importantes para a pesquisa.

Para construção desse portfólio, foi utilizado o software Publish or Perish 7. Ferramenta que realiza a busca no Google Scholarship, cruzando as entradas solicitadas e retornando os dados dos materiais científicos encontrados, apresentando indicadores a respeito da precedência como: quantidade de citações, índices, revista em que foi publicada, ano de publicação entre outros. Foram utilizadas as seguintes palavras chaves, presente na tabela 1, para o levantamento bibliográfico.

Tabela 1 – Busca no Software Publish or Perish 7

Busca inicial por palavras chaves			
	Palavra chave 1	Palavra chave 2	Papers encontrados
Sobre sensoramento	moisture wood	capacitive	1000
	moisture wood	instrument	998 - Descartado
	moisture wood	iot	999
	moisture wood	wireless sensor	990
	moisture wood	meters	999
Sobre comunicação sem fio e IOT	IoT	Lora	1000
	IoT	Moisture Sensor	1000
	IoT	Moisture	980 - Descartado
	Low Power Wide Area Network	-	980 - Descartado
	Low Power Wide Area Network	Sensor	980
Sobre Banco de dados	database	iot	1000
	database	Low Power Wide Area Network	980

Autoria própria (2019)

A partir da análise dos resultados obtidos com as palavras chaves, foram descartadas 3 listas, por terem desviado do foco interessado ou ter sido englobado por outra combinação de palavras. A lista de combinações para pesquisa pode ser vista na tabela B.

Realizando a filtragem do material científico encontrado com a busca realizada, foram utilizados os seguintes critérios: conceito da revista em que foi publicada, número de citações e título dos artigos. Com essa análise, foram separados os seguintes um determinado número de artigos, os quais os resumos foram lidos para selecionar os mais relevantes para a pesquisa. Por fim foram lidos as introduções e conclusões dos artigos que foram os selecionados para serem lidos na íntegra além embasar o desenvolvimento do projeto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ambiente e Contexto

Grandes setores econômicos são consumidores de madeira, como a construção civil, indústrias de móveis, indústrias de embalagens são exemplos que utilizam esse material por sua característica estrutural. Também podem ser utilizados para produção de papel e outros materiais derivados como celulose e resinas. Além disso, são utilizadas para queima como fonte de energia e calor.

O relatório anual publicado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2018), que é a associação responsável pela representação institucional desse setor, apresentou que o produto interno bruto (PIB) setorial alcançou 71,1 bilhões de reais, representando 6,2% do PIB industrial no País. Sendo que atualmente 91% da produção madeireira é oriunda de plantios, número bem maior do que os 9% que são de extrativismo e acabam agredindo o meio ambiente.

Todo material lenhoso apresenta uma quantidade de água. Para ser utilizado, deve-se remover a umidade presente neste material. A umidade é uma característica que varia dependendo da espécie, idade da árvore e posição do tronco. Além dessa variação entre troncos, normalmente a água não é distribuída uniformemente na madeira.(DONATO, 2013)

Como descrito por Ricardo Jorge Klitzke (KLITZKE, 2008), a água presente na madeira pode ser classificadas em 3 formas:

- **Água livre ou capilar.** Está presente nas cavidades anatômicas e espaços intercelulares da madeira. É a água com a ligação mais fraca, sendo a primeira e a mais fácil ser removida do material, sendo possível ser até por evaporação.
- **Água de adesão ou de impregnação.** Está contida nas paredes celulares da madeira, realizando uma ligação mais forte. Existe uma ciência para remover esse tipo de água da madeira, pois é necessário uma maior quantidade de energia e sua remoção pode afetar as propriedades físicas e mecânicas do material.
- **Água de constituição.** Está quimicamente combinada com substâncias da parede celular da madeira. Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) não são encontradas isoladas em estado líquido, e sim em compostos químicos. Porém quando ocorre aquecimento, pode ocorrer degradação do composto, com um dos resultantes sendo água. Esse tipo de água não é removida, pois não nas características desejadas do material e sua remoção pode afetar propriedades físicas e mecânicas.

É necessário realizar a leitura da umidade e a secagem da madeira (FLORIAN, 2011) , principalmente pelos motivos listados a seguir:

- Reduzir a movimentação da madeira, evitando que ela contraia ou expanda.
- Reduzir riscos da proliferação de fungos e outros seres vivos.
- Reduzir o peso bruto do material.

- Aumentar resistência mecânica.
- Melhorar características tratabilidade, trabalhabilidade e de isolamento.

O ponto em que é removida toda água livre do material, restando apenas água de adesão e de constituição, é chamado de ponto de saturação das fibras (PSF). O PSF é uma situação importante, pois a partir dela, quando em geral resta em torno de 30% da umidade total, o material começa a sofrer mais alterações físicas, que podem alterar as características elétricas assim como apresentar rachaduras e empenos. (REMADE, 2004)

3.2 Métodos Para a Medição da Umidade

As metodologias para quantificar a umidade presente na madeira e materiais semelhantes ou derivados, são divididos em grupos por apresentarem princípios diferentes. (HARTMANN, 2000).

3.2.1 Métodos por Secagem

Primeiramente por métodos por secagem, que são aqueles que realizam a análise da quantidade de água pela perda de massa devido a perda da umidade. Esse tipo é considerado de leitura direta, por quantificar a quantidade de água diretamente e não por outro fenômeno.

3.2.1.1 Método Gravimétrico

O método gravimétrico, também conhecido por método de secagem em estufa, é descrito na norma NBR 14929:2017 (ABNT, 2017), única método normatizado no Brasil responsável por determinar a umidade da madeiras, especialmente de cavacos. O material passa por múltiplas pesagens e por um processo de secagem em estufa para remover toda água presente. Valores de temperatura e curva de secagem variam dependendo do material.

Tem como vantagem de apresentar alta precisão quando comparado com os outros métodos, porém não é instantâneo, necessita um longo período para definir o índice de umidade. Não é indicado para todos os tipos de madeira e materiais, como por exemplo, alguns materiais possuem componentes voláteis, que além de influenciar na leitura da umidade, irá alterar as características do material em análise. Além de ser um processo destrutivo, já que chega até o limite de extração de água. (GOLTZ, 2018).

3.2.1.2 Método criogênico

Diferente do método gravimétrico que utiliza calor e processo de evaporação, o método criogênico utiliza baixas temperaturas, de -20°C , e pressão negativa, de 0.12 bar, para que por sublimação a água saia do material. Se trata de um processo menos comum, pela necessidade de equipamento específico e longo tempo. Mas pode ser uma opção dependendo do material e da necessidade. (HARTMANN, 2000).

3.2.1.3 Infravermelho e Micro-ondas

Outros dois métodos por secagem são por infravermelho e micro-ondas. Ambos são menos demorados em comparação aos métodos anteriores, porém são utilizados apenas para pequenas amostras. Por infravermelho, a radiação é absorvida pelo material e é transformada em calor que causa a evaporação da água. Já o método por micro-ondas, a mudança da polaridade das ondas eletromagnéticas de alta frequência induz movimentação das partículas da água que são aquecidas devido ao atrito (HARTMANN, 2000).

3.2.2 Métodos Elétricos

Os métodos elétricos diferente dos anteriores são considerados métodos secundários. De forma indireta e não destrutiva são analisadas características elétricas que são influenciadas pela presença da água no material. Podem apresentar instantaneamente o valor de umidade caso o material em questão já tiver sido estudado e apresentar uma curva de leitura determinada.

3.2.2.1 Métodos Resistivos

Esse método consiste na medição da resistência elétrica entre dois pontos. Para realizar a medição são utilizados dois eletrodos ou agulhas para penetrar no material para garantir que o contato seja feito e o circuito resistivo fechado, além de evitar realizar uma medição completamente superficial (DONATO, 2013). São amplamente usados, de devido a facilidade de uso e custo, porém apresentam a desvantagem de possuírem uma certa imprecisão e apresentarem problemas com repetibilidade (PIZETTA, 2011).

3.2.2.2 Métodos Capacitivos

Já os métodos capacitivos, que são o foco da pesquisa e desenvolvimento desse trabalho, são aqueles que convertem a capacitância do sistema para valor de umidade. O circuito equivalente é um circuito RC paralelo, o qual se trata de um eletrodo que recebe um sinal de alta frequência, comumente de 500 kHz até 30 MHz, em contato com o material (FUCHS, 2009).

Utiliza o meio ou o material como dielétrico e essa interação, com diferentes matérias e percentuais de umidade, é responsável por causar uma variação na reatância capacitiva parasita do circuito equivalente. Dessa forma alterando sinal elétrico que pode ser analisado e comparado com a referência (FERREIRA, 2017).

É possível constatar a diferença causada pela água na capacitância do circuito, por meio da diferença de permissividade elétrica do material. A água possui permissividade relativa ao vácuo de 78,2. Já madeiras em geral possuem permissividade em torno de 1,5 e 3. Dessa forma, é possível constatar que quanto mais água estiver presente no material, maior a distorção causada devido a alta permissividade e assim é possível realizar análises para estimar o valor de umidade para cada tipo de maneira em específico.

Por se tratar de um método secundário, por si só não é a melhor maneira de estimar o percentual de umidade, é melhor utilizar um método primário para definir os percentuais e criar uma curva para o material correspondente para o sensor capacitivo.

Esse método acaba sendo bastante utilizado para determinar umidade de materiais devido ao seu custo acessível e variedade de possibilidades de aplicação (FUCHS, 2009). Além de não ser destrutivo ou agressivo ao material analisado.

3.2.3 Métodos Ópticos

Esse método tem como base a espectroscopia de reflectância, majoritariamente utilizando ondas infravermelho para analisar superficialmente as características da madeira. Por ser um equipamento mais caro e de uso específico, acaba sendo menos usual (HARTMANN, 2000).

3.3 IOT e Indústria 4.0

O termo Internet das coisas se refere a várias aplicações de interconexão digital de equipamentos na internet, que possibilita a transmissão de dados e conseqüentemente reuni-los junto com outros dados de um mesmo sistema, os quais relacionados possibilitam acesso informações antes desconhecidas e maior confiabilidade. Além de possibilitar acesso remoto, cruzamento de dados e maior taxa de transmissão e análise de dados. Como o equipamento fica responsável por leitura e transmissão dos dados, é possível torna-los mais compactos e portáteis, e o processamento dos dados podem ocorrer em um servidor. (DORSEMAINE, 2015)

Indústria 4.0 é uma expressão usada para escrever a tendência da indústria em utilizar sistemas de automação e produção com conceitos de computação na nuvem, sistemas cibernéticos e de internet das coisas (DRATH, 2014).

Listado abaixo estão presente os alguns dos princípios da indústria 4.0 (HERMANN MARIO; PENTEK, 2015):

- **Interoperabilidade.** Está presente na conexão entre os sistemas e equipamentos.
- **Descentralização.** Se trata da habilidade dos sistemas tomarem decisões de forma automática por conta própria com base nos dados adquiridos.
- **Capacidade Tempo-Real.** Os dados serem processados permanentemente em tempo-real, para que o sistema reaja instantaneamente.
- **Modularidade.** Capacidade do sistema se adaptar a variações dos requerimentos e do processo.

3.4 Principais Componentes

Subseções com descrições dos principais componentes utilizados, como microcontroladores, e outros módulos como ESP32, dispositivo LoRa, etc.

3.4.1 WiFi LoRa 32 V2 - Heltec

O Kit WiFi LoRa 32 V2, produzido pela Heltec, apresenta uma solução para desenvolvimento em IOT, sendo um módulo que com o qual é possível realizar comunicação sem fio de 3 formas diferentes: Wifi, Bluetooth e LoRa. Se trata do microcontrolador ESP32, se comunicando por SPI com o módulo SX1276. Além disso, apresenta uma memória W25Q32FV, um conversor USB-Serial CP2102, um controlador de bateria MCP73831 e um display OLED de 0,96 polegadas, mostrado na figura 1 (HELTEC, 2019).



Figura 1 – Placa de desenvolvimento Wifi Lora 32 v2 - Heltec

Fonte: Heltec, 2019

Além do ESP32 e do módulo LoRa, apresenta uma memória do tipo Flash W25Q32FV, de 32M-bit. Um conversor USB-Serial do tipo CP2102 conectado a uma porta micro USB, pela qual é realizada a gravação e depuração do microcontrolador do kit de desenvolvimento. Por fim, a eletrônica da placa está presente o C.I. MCP73831, um carregador de bateria do tipo Li-PO (íon de polímero) e um display OLED 0,96 Polegadas.

3.4.1.1 ESP32

O microcontrolador ESP32, chip produzido pela Espressif, como mostrado na figura 2, apresenta comunicação WiFi 802.11 b/g/n 2.4GHz e Bluetooth 4.2. Apresenta possibilidade de conexões com múltiplos periféricos como comunicação SPI, interface I2S e I2C, UART e barramento CAN 2.0. Além de possuir conversor digital-analógico (DAC), analógico-digital (ADC) e controle PWM (ESPRESSIF, 2019). A linguagem C é utilizada para programação.

Se trata de uma solução voltada para projetos de IOT. Por apresentar a conectividade por Wifi e Bluetooth, além de possuir acelerador de criptografia. Apresenta um gerenciamento

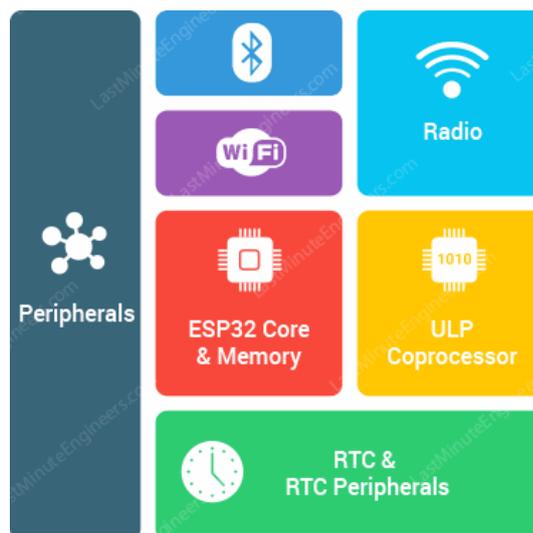


Figura 2 – Diagrama com Módulos do ESP32

Fonte: Last Minute Engineers, 2019

de consumo, se trata de um microcontrolador do tipo Ultra-Low-Power que possibilita que apenas o coprocessador de baixo consumo e os periféricos de relógio de tempo real permaneçam ligados em quanto todos outros módulos se encontram desligados, chegando ao ponto de reduzir ao consumo para 5 Microampère.

3.4.1.2 LoRa SX1276

O SX1276 é um módulo de comunicação sem fio baseado na tecnologia LoRa (Long Range, em tradução direta para português longo alcance), fabricada pelo Semtech utilizando a frequência de 915 MHz para realizar uma comunicação do tipo tipo de comunicação que já foi regulamentada pela anatel que é voltada para soluções que necessitam transmitir de baixas taxas dados para soluções em IoT em longas distâncias utilizando baixa potência (ANATEL, 2017).

Essa tecnologia LoRa está sendo testada e ampliada no Brasil em larga escala. Desde 2018 a empresa American Tower vem instalando redes de conectividade, com gateways nas capitais e principais cidades do país, do tipo LoRaWAN para estimular desenvolvedores nacionais a utilizarem a tecnologia e essa rede de comunicação (DIAS, 2018).

O LoRa SX1276, além de cumprir os requisitos necessários para transmissão e recepção indicados na resolução da Anatel, apresenta a característica ser um componente de baixo consumo energético, favorecendo um uso portátil desse componente, por apresentar funcionalidades. Mesmo com a baixa potencia de transmissão, dependendo do uso é possível alcançar até 5km de alcance em área urbana e 15 km máximo de alcance em área não urbana, acaba se destacando como uma solução para sensoriamento remoto.

3.4.2 Sensor SSIC045

O sensor SSIC045, apresentado na figura 3, é responsável por realizar a leitura da capacitância por meio de duas malhas de captura de fase (Phase-locked loop - PLL). É um componente presente em equipamentos da Marrari - Automação Industrial, porém não é vendido separadamente (MARRARI, 2019).

Apresenta comunicação UART e RS485, com tensão de funcionamento de 5V ou 12V. Demais detalhes e características elétricas são sigilosas, protegidas por segredo industrial.



Figura 3 – Placa sensora de umidade SSIC045 - Marrari

Fonte: Autoria própria, 2019

3.5 Topologias de Comunicação

Os diferentes tipos de topologias de comunicação *wireless* possuem origem na comunicação cabeada. Estratégias e lógicas foram adaptadas do contexto de redes de computadores para redes sem fio. Rede sem fio de sensores, em inglês, *Wireless sensor networks* (WSN), são redes com estrutura descentralizada em que as informações são transmitidas sem fio que seu tamanho e consumo são relevantes devido ao seu uso. Além disso, os nós de uma WSN podem ser classificados em 3 grupos principais (GANEV, 2013):

- Nós conectados ao ambiente, que realizam a leitura de sensores;
- Nós de processamento, que são responsáveis pela análise, cálculo, possíveis resumos e/ou validação dos dados obtido;
- Nós de comunicação, nos quais são feitos os roteamentos, que dependem da arquitetura da rede, conectando os demais nós a central de dados.

Dentre as topologias existentes, se destacam os seguintes métodos para estruturação de WSN.

3.5.1 Topologia Ponto a Ponto

A comunicação em linha é a mais simples, na qual os elementos estão conectados de forma que para que uma extremidade necessite comunicar com a outra extremidade, é necessário que todos os nós intermediários propagem o sinal. Em geral são compostos por elementos semelhantes, apresentando as mesmas funcionalidades (GANEV, 2013).

3.5.2 Topologia em Estrela

Já a topologia estrela adiciona os conceitos de RFD (reduced function devices) e FFD (full function devices). O primeiro é caracterizado por serem nós simplificados, que não possuem todas funções de comunicação e podem ter poder de processamento limitado. Já o segundo tipo é completo. Essa estrutura é caracterizada por possuir um nó central, que gerencia o fluxo de dados da rede, e nós periféricos que se comunicam apenas com o nó central (SALHIEH, 2001).

Como apresentado na 4, existem um nó principal, chamado de coordenador de rede (indicado na figura por NC, *Network Coordinator*), que recebe todos os outros nós periféricos e centraliza nele os dados e o fluxo de dados.

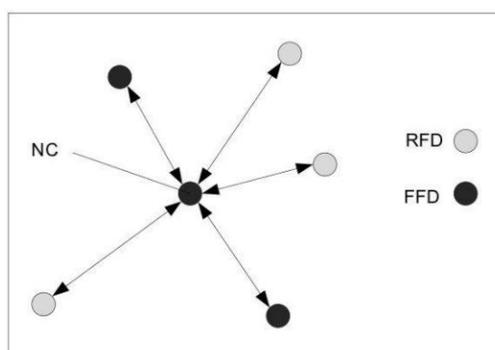


Figura 4 – Topologia em estrela

Fonte: GANEV, 2013

3.5.3 Topologia em Árvore

Diferente da topologia anterior, essa arquitetura não possui apenas um nó que recebe todo fluxo de dados. Também chamado de topologia cluster, apresenta nós que recebem os dados de nós periféricos para depois comunicar e direcionar os dados para o nó coordenador de rede. Isso é utilizado para descentralizar o processamento e aquisição de dados dos nós sensores. Como existe um limite físico de conexões que um nó pode realizar ao mesmo tempo, esse tipo de topologia é uma forma de possibilitar e organizar uma rede de comunicação grade. Como pode ser visto na 5, dois nós principais estão comunicando com os nós periféricos, sendo um deles o nó coordenador de redes (GANEV, 2013).

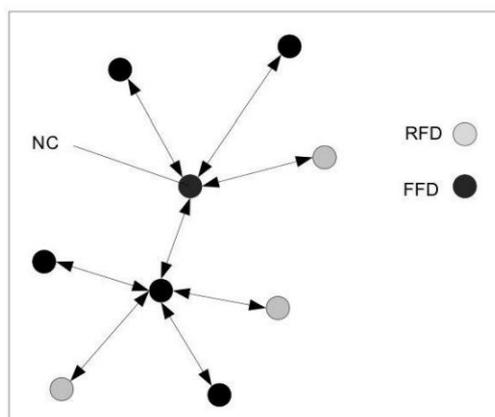


Figura 5 – Topologia em árvore

Fonte: GANEV, 2013

3.5.4 Topologia Mesh

Por fim, na topologia mesh ou malha, é necessário que a maioria nós centrais e intermediários sejam FFD, para que possam se comunicar e dessa forma traçar a melhor rota, por se tratar de um tipo de rede de múltiplos saltos. Nós sensores, como mostrado na figura 6, podem existir, mas apenas nas extremidades. Redes desse tipo possibilitam uma maior flexibilidade e podem ser configuradas para se adaptarem a falhas de comunicação e para otimização (SALHIEH, 2001).

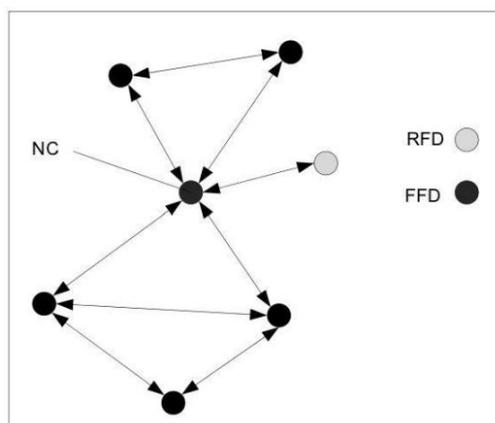


Figura 6 – Topologia mesh

Fonte: GANEV, 2013

3.6 Banco de Dados

Bancos de dados são sistemas de gerenciamento de conjuntos de arquivos, informações e dados, com o intuito de organizá-los para deixar mais eficiente a pesquisa, estudo e processamento dos dados (KORTH H.F. E SILBERSCHATZ, 1994).

Aqueles chamados de NoSQL, apresentam como característica não serem relacionais, já que os dados armazenados neles não são diretamente relacionados a outras variáveis. Por isso estão sendo utilizados em solução de IoT, além de serem flexíveis e escalonáveis (SMARTDATA, 2016).

3.6.1 IBM Watson IoT

A plataforma IBM Watson possui uma configuração de gerenciamento de sistemas de Internet das coisas em um servidor na nuvem, para uso simples e limitado por quantidade de acesso e volume de dados transmitidos são disponibilizados hospedagem gratuita para testes (IBM, 2019)

4 DESENVOLVIMENTO

O projeto é composto por dois equipamentos, o nó sensor e o nó de comunicação, apresentados no diagrama na figura 7. Foram projetados para ser utilizada em um contexto em que o material medido está presente em um pátio, e devido a dificuldade de conexão elétrica e alta re-mapeabilidade do ambiente.

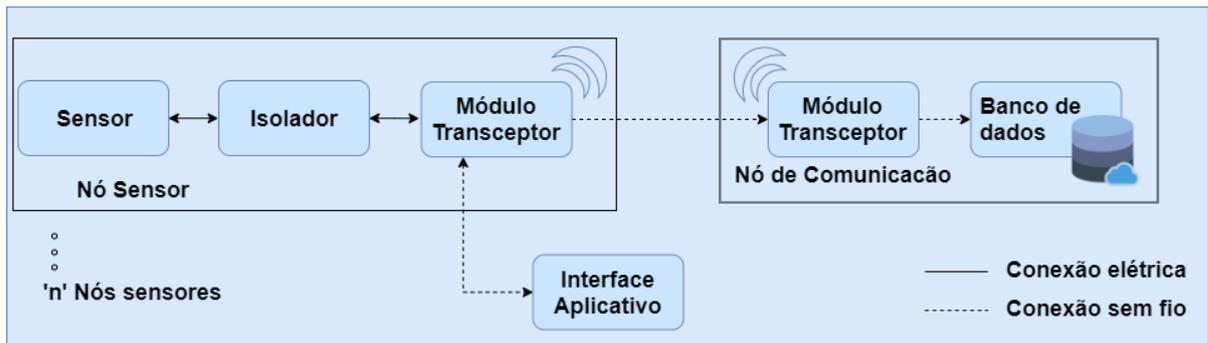


Figura 7 – Diagrama funcional do projeto.

Fonte: Autoria própria, 2019

O primeiro, o nó sensor, permanece em contato com o material para realizar a leitura. Para que o microcontrolador comunique com o sensor para realizar a leitura da umidade, é necessário o uso de um isolador por possuírem tensão de funcionamento diferentes. Após a leitura, transmite os dados recebidos pelo transmissor LoRa para o segundo módulo, o nó de comunicação. O nó sensor apresenta um botão para ativar a comunicação Bluetooth com a interface aplicativo em um celular Android. Por ser um equipamento de leitura remota, apresenta bateria.

O aplicativo Android tem como função configuração do nó sensor, além de possibilitar visualização instantânea da leitura do sensor.

Já o segundo módulo, é projetado para receber o valor de leitura remota de umidade por meio do protocolo LoRa e transmitir para o banco de dados por meio da conexão WiFi. Sua localização depende do ambiente em que está sendo utilizado, para otimizar o recebimento. Por não ser algo móvel, o nó de comunicação não apresenta bateria.

Por fim, o banco de dados é responsável apenas por receber os dados adquiridos para armazenar o histórico de leitura.

4.1 Hardware

4.1.1 Circuito Sensor

A base do funcionamento do circuito sensor está na leitura da variação do sinal do malha de captura de fase (em inglês Phase-Locked Loop, PLL), apresentado na figura 8. Uma onda quadrada passa por dois PLL: um ligado a um circuito resistivo sendo utilizado como referência; outro que é conectado a uma placa sensora, que é equivalente a um circuito RC.

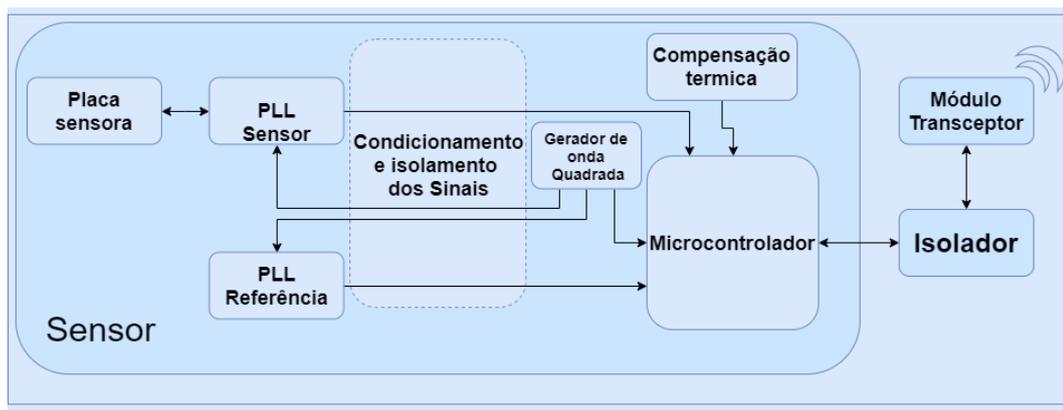


Figura 8 – Diagrama funcional do projeto do sensor.

Fonte: Autoria própria, 2019

A placa sensora, que é ligada em paralelo ao PLL sensor, se trata de um circuito impresso isolado, o qual a geometria propicia uma maior variação de capacitância parasita quando em contato superficial com diferentes valores de densidade e umidade.

Outro bloco importante do sensor é o gerador de onda quadrada, que é responsável por gerar um sinal de referência em uma frequência específica, que será utilizado no PLL.

É necessário isolar os sinais para reduzir interferência, além disso condicionar os níveis de tensão para que seja possível realizar a leitura pelo microcontrolador.

O microcontrolador do sensor é responsável por converter os sinais analógicos e realizar uma comparação entre os sinais do PLL sensor com o PLL de referência com base no sinais de onda quadrada, para realizar leitura apenas da variação da placa sensora.

Como a leitura do sensor pode sofrer variação com mudança de temperatura devido a questões elétricas, é importante um sensor de temperatura para realizar via software uma compensação térmica, algo que já existe no SSIC045.

4.1.1.1 Circuito Sensor 12V

Com o intuito de analisar o funcionamento do circuito com uma tensão mais elevada, foi projetado uma alteração no circuito da placa SSIC045. O processamento do circuito apresenta tensão máxima de 5V, já os componentes que realizam a leitura da capacitância suportam uma

tensão de 12V. Para realizar a conexão entre essas duas partes do circuito, a região pontilhada da figura 8, foi projetado o circuito abaixo para elevar a tensão ao nível de 12V e rebaixar para 5V os sinais de retorno.

Para preservar as características dos sinais, que são extremamente críticas já que qualquer distorção seria diretamente refletida na leitura do sensor, foi utilizado o amplificador OPA2810. Esse componente foi escolhido por suportar tensão de alimentação de até 27V, ganho até frequência 70MHz, além de apresentar baixo ruído, de $6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} (f = 500\text{kHz})$.

Para elevar os sinais de 5V para 12V, foi projetado o circuito da figura 9. Se trata de um amplificador na configuração não inversora. O sinal de entrada no circuito é a onda quadrada.

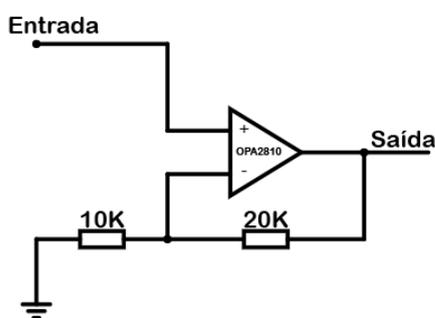


Figura 9 – Esquemático do amplificador elevador.

Fonte: Autoria própria, 2019

Para atenuar os sinais tensão de 12V para 5V, foi projetado o circuito da figura 10. É composto por dois amplificadores na configuração inversora em série. O sinal de entrada no circuito é a resultante do circuito PLL, já a saída é o sinal analisado pelo microcontrolador do circuito sensor. Ambos os circuitos foram alimentados com 12V simétrico.

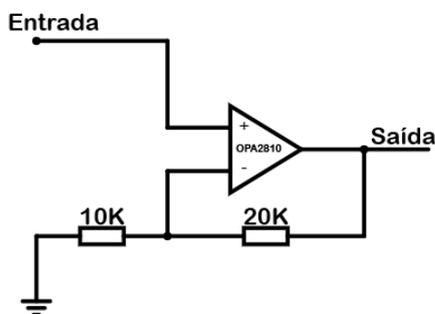


Figura 10 – Esquemático do amplificador atenuador.

Fonte: Autoria própria, 2019

4.1.1.2 Geometria da Placa Sensora

A placa sensora é um componente conectado ao circuito sensor, que entra em contato com o material que será analisado. Ele apresenta uma geometria específica, projetada para maximizar a capacitância parasita superficial. A geometria padrão da Marrari, que é a fabricante do sensor, pode ser vista na figura 11. O placa com esta geometria que já era utilizado e produzido profissionalmente, foi nomeado de placa sensora 0. Já outra placa com essa mesma geometria, porém confeccionada de forma manual, para verificar a influencia produtiva da placa sensora no sistema, foi definida como placa sensora 1.

Geometria 0 e 1

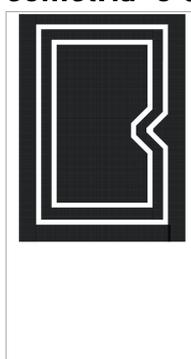


Figura 11 – Geometria padrão da placa sensora.

Fonte: Autoria própria, 2019

Com base nas dimensões e medidas da placa padrão, foram desenvolvidas outras 9 geometrias, presentes na figura 12, cada uma com uma característica diferente, listadas a seguir, para analisar a influência dela na sensibilidade de todo sistema:

- **Geometria 2:** Geometria semelhante ao padrão, porém sem vinco que foi criado para facilitar o processo de solda e com uma área maior.
- **Geometria 3:** Mesma dimensão e medidas da geometria 2, porém elíptico.
- **Geometria 4:** Para analisar a diferença de leitura entre a área circunscrita em relação a áreas paralelas.
- **Geometria 5:** Projetada para analisar a influência da faixa metálica desconexa.
- **Geometria 6:** Menor distância entre as áreas.
- **Geometria 7:** Verificar a influência de pontas na leitura.
- **Geometria 8:** Semelhante a geometria 7, porém arredondado.
- **Geometria 9:** Projeto com base na geometria proposta por Manash Goswami para leitura de umidade do solo.
- **Geometria 10:** Projetada com as medidas propostas por Manash Goswami, apresentada na figura 13.

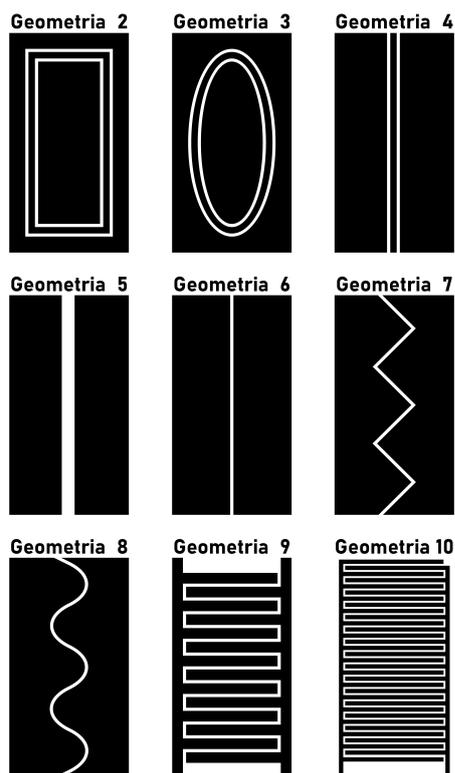


Figura 12 – Geometrias desenvolvidas para placa sensora.

Fonte: Aatoria própria, 2019

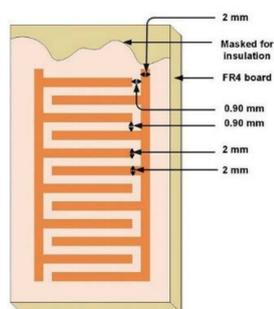


Figura 13 – Geometrias apresentada para leitura de umidade de solo por Manash Goswami.

Fonte: Manash Goswami, 2018

4.1.2 Nó Sensor

Como descrito, o nó sensor é composto por um ESP32, um módulo SX1276 para comunicação LoRa, uma antena para 915M Hz, uma bateria lipo de 3.3V, um isolador para converter o nível lógico da comunicação com o sensor SSIC045. Além disso, apresenta um regulador boost MT3608 para elevar a tensão da bateria para 5V, para alimentar o sensor.

4.1.2.1 Circuito Conversor Lógico Digital

Para possibilitar que o ESP32 realize a leitura do sensor, foi utilizado o circuito apresentado na figura 14, já que esse microcontrolador possui tensão de operação de 3.3V e o sensor de 5V. Ele é composto basicamente por dois transistores BSS138, que se trata de um MOSFET de canal do tipo 'N' para nível de tensão lógico ($V_{gst} = 1.3V$) (ON, 2017). Se trata de um circuito bi-direcional, porém nessa utilização RX e TX são fixos.

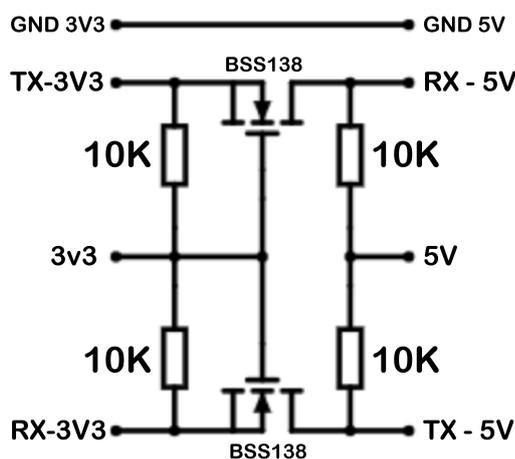


Figura 14 – Circuito conversor lógico digital

Fonte: Autoria própria, 2019

Esse circuito apresenta 3 estados de funcionamento. Em todos o Gate(Porta) do transistor está em 3.3V. O primeiro estados é quando a tensão dos sinais de ambos lados do conversor não estão levando o sinal para nível logico baixo, dessa forma V_{gs} é igual a zero e o mosfet está na região de corte e por não conduzir ambos sinais permanecem igual ao nível lógico alto. (PHILIPS, 2017)

No segundo estado, que ocorre no pino de TX-3V3, a tensão do lado 3.3V está em nível logico baixo, tendo V_{gs} igual a 3.3V o MOSFET se apresenta em região de saturação, logo por conduzir reduz a tensão do lado de 5V para nível lógico baixo.

Por fim, o último estado ocorre quando o pino de TX-5V apresenta nível lógico baixo, com isso a tensão entre dreno e a fonte V_{ds} é igual a 5V, colocando o MOSFET na região de triodo, dessa forma conduzindo levando a tensão no pino RX-3V3 para nível lógico baixo.

4.1.2.2 Comunicação do Nó Sensor

Por meio de uma comunicação UART, utilizando o conversor lógico, o ESP32 se comunica com o sensor para receber os dados de leitura do sensor assim como transmitir dados de configuração.

A rotina de funcionamento de forma simplificada do nó sensor ocorre da seguinte forma. Ao ligar, ele define como nível lógico alto o sinal de controle do circuito da figura 15, que é responsável por fazer com o que o MOSFET de canal N BSS316 conduza, e por sua vez faça com que o MOSFET de canal P BSS215P também conduza, assim a tensão da bateria é ligada ao regulador de tensão boost para alimentar o SSIC045. Já quando o sinal de controle está em nível baixo o circuito corta a alimentação do regulador e conseqüentemente do SSIC045, que a razão da existência desse circuito, pois dessa forma é possível reduzir o consumo do sistema.

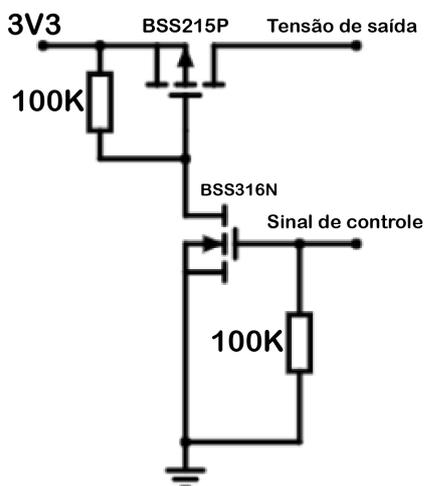


Figura 15 – Circuito de controle da alimentação do sensor

Fonte: Autoria própria, 2019

Depois de alimentar o sensor, o ESP32 realiza uma série de comandos para configuração de funcionamento. Primeiramente é configurada a comunicação serial com o sensor, que é possui taxa de transmissão de 19200 bit/s, para um pacote de 8bits com 2 stopbits. Em seguida é configurado como será a transmissão LoRa, primeiramente habilitando para frequência de comunicação de 915 MHz.

Após isso ele realiza um delay de 2 segundos, pois é necessário aguardar mais de 2 segundos para o bom funcionamento do sensor SSIC045, que ao fim desse tempo de espera é realizado a leitura do valor atual relativo a capacitância lida. Depois disso o sinal de controle é definido como baixo para desligar o SSIC045.

O pacote recebido pelo ESP32 é separado, pois na leitura além de informar o valor relativo a capacitância lida, são transmitidos outros dados como: valor de temperatura atual; fator X que se trata de um fator de correção do SSIC045; entre outros.

Com os dados atualizados, é montado um pacote que será transmitido pelo módulo LoRa. Ele utiliza um padrão de comunicação apresentado na figura 16, que se baseia no protocolo B2P, que por sua vez é um protocolo que se fundamenta no modelo MODBUS para comunicação entre sistemas (BCM, 2009).

O padrão de comunicação utiliza 2 bytes para sinalização de início da comunicação, 1 byte indicando o tamanho do pacote de comunicação, 1 byte indicando o endereço de destino e outro de origem da mensagem, 1 byte para indicar a função da comunicação e por fim os dados a serem transmitidos. Por definição, o byte de destino definido para broadcast é de 255(0xFF), endereço que todos nós sensores que receberem a comunicação irão ler. Diferente dos dois protocolos, não foi necessário utilizar dígitos de verificação do pacote, pois essa função é realizada de forma automática pelo módulo SX1276 LoRa.

Padrão de comunicação						
INICIO		TAMANHO	DESTINO	ORIGEM	FUNÇÃO	DADOS
5	64	X	X	X	X	nX

Figura 16 – Padrão de comunicação utilizado. Baseado no Protocolo B2P

Fonte: Autoria própria, 2019

Após a transmissão do pacote pelo SX1276, o ESP32 configura e entra em modo de gestão de energia "Deep Sleep". São configurados o tempo definido para permanecer nesse modo de baixo consumo e as interrupções que podem causar seu religamento: contador do RTC ser maior do que o tempo definido e clique no botão de iniciar comunicação Bluetooth. Esse modo o módulo desativa grande parte das suas funcionalidades. Mantendo ligado: o Real Time Clock, que realiza a contagem para religar; uma memória de baixo consumo, que armazena variáveis importantes como endereço do nó sensor, endereço de destino do nó de comunicação e tempo de "Deep Sleep".

A rotina normal é de após o tempo de "Deep Sleep" o ESP32 ligue e realize toda rotina descrita anteriormente. Porém, caso em algum momento o botão Bluetooth seja pressionado, o ESP32 realiza a rotina descrita acima, mas antes de entrar no modo de "Deep Sleep", ele configura o Bluetooth presente no ESP32, habilita o como servidor com o nome "TCC Nó 0x**" ("**" sendo o endereço do nó sensor em hexadecimal) e entra em um loop aguardando conexão e solicitações por meio da comunicação Bluetooth. O ESP32 sai desse loop de comunicação após ultrapassar o tempo de espera de solicitação ou quando recebe solicitação para entrar em "Deep Sleep".

4.1.2.3 Protótipo do Nó Sensor

O protótipo desenvolvido para o nó sensor pode ser visto na figura 17. Na foto da esquerda, são apresentados as partes separadas: Em cima a bateria de lipo; Na esquerda o Wifi Lora 32 v2 da Heltec sem display; Ao lado do Wifi Lora está uma placa com o circuito de controle de alimentação do sensor, regulador boost MT3608 e circuito conversor lógico da comunicação; e a direita o circuito sensor SSIC045 com a placa sensora embaixo. Já na figura da direita apresenta o protótipo montado.

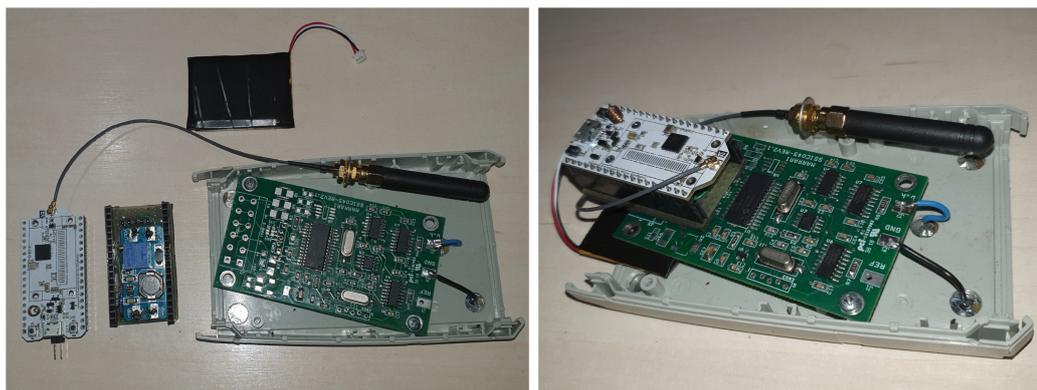


Figura 17 – Protótipo do nó de comunicação

Fonte: Autoria própria, 2019

4.1.3 Aplicativo Android

A configuração e leitura instantânea do sensor é realizada pelo aplicativo Android que se comunica ponto a ponto com o nó sensor. A aplicação foi desenvolvida no Android Studio, utilizando a linguagem Java.

O aplicativo apresenta 3 telas, mostradas na figura 18. A primeira, da esquerda, é para estabelecer a comunicação Bluetooth com o nó sensor. Já segunda, no centro, é responsável por configurar a leitura do sensor. Por fim, a figura da direita apresenta os valores de Umidade relativa lida, temperatura, fator X, tempo de atualização, além de possibilitar alterar os valores do tempo de atualização e de fator X.

A tela inicial apresenta 3 botões e um uma ListView. O botão da esquerda é responsável por ligar e desligar o Bluetooth do celular. Por meio de um método da classe "BluetoothAdapter", nativa do Android Studio, é verificado o estado atual do Bluetooth do celular e em seguida alterado para o outro estado. Já o botão central, escrito "BUSCAR", utiliza outro método da mesma classe para receber os identificadores dos servidores Bluetooth descobertos pelo celular, armazenando-os em um array ("Arranjo" de dados) de dispositivos Bluetooth, utilizando respectivamente a classe ArrayList e BluetoothDevice. Os valores do array são apresentados um abaixo do outro no ListView.

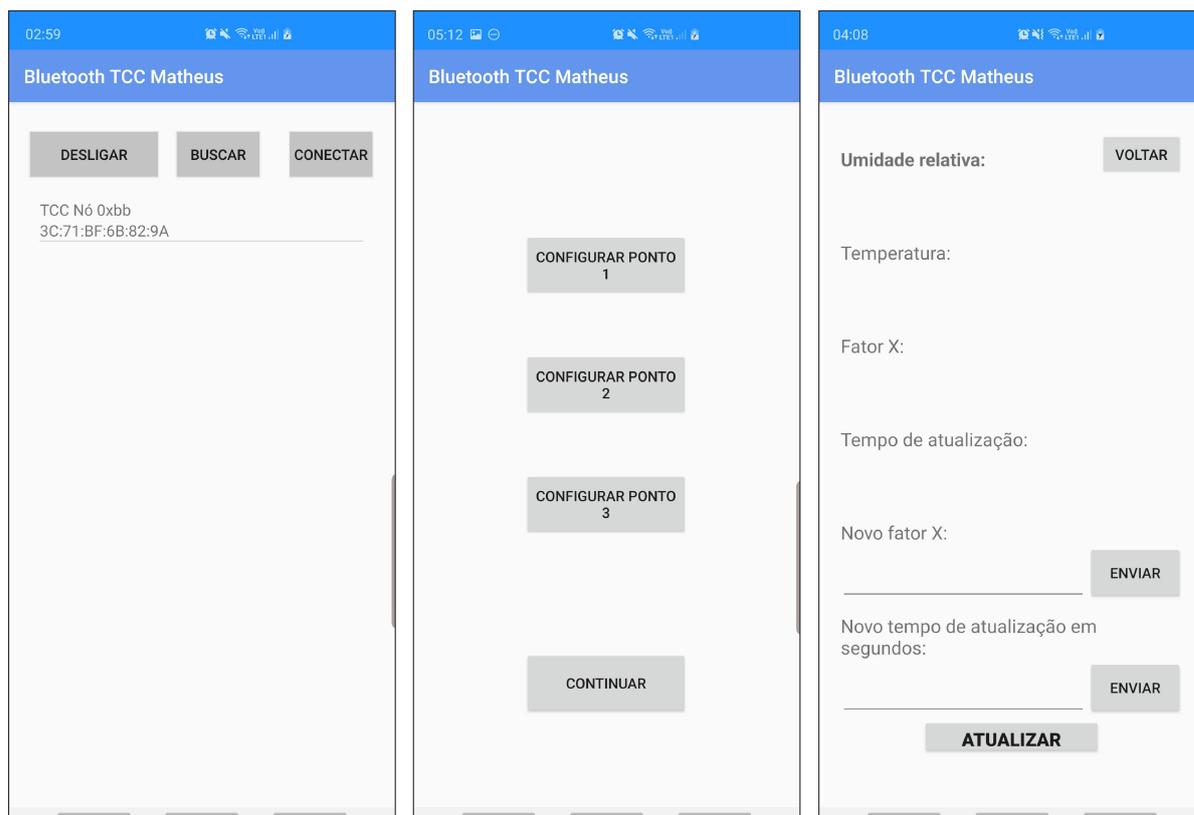


Figura 18 – Principais telas do aplicativo

Fonte: Autoria própria, 2019

Ao clicar no item da lista referente ao nó sensor, o botão "CONECTAR" muda de cor para azul. Quando o botão "conectar" é pressionado, ele utiliza o UUID ("Universally Unique Identifier", em tradução livre para o português "identificador único universal") do dispositivo clicado na lista para estabelecer conexão. Em seguida passa para a segunda tela.

Já na segunda tela, os 3 botões de configuração de ponto, são para calibrar o percentual de umidade relativa apresentada na terceira tela. É necessário posicionar o equipamento sobre 3 pontos com valores diferentes para configurar a leitura do sensor. Após o aplicativo possuir valores para os 3 pontos, o botão "CONTINUAR" aparece na tela e ao ser pressionado passa para terceira tela.

Por fim, na terceira tela, estão presentes 4 botões. Os dois de "ENVIAR" recebem respectivamente os valores escritos nas caixas de texto ao lado de cada um, é montado um pacote que é transmitido por Bluetooth para o nó sensor. O ESP32 recebe as informações e identifica o que foi solicitado. Para definir um novo fator X, o microcontrolador monta um novo pacote e o transmite por UART para o SSIC045. Já a requisição de alterar o tempo de atualização altera a variável armazenada na memória retentiva do RTC do ESP32, para ser salva mesmo após reiniciar depois do modo "Deep Sleep".

Já o botão "ATUALIZAR" solicita ao ESP32 por bluetooth os valores atuais de Umidade relativa, temperatura, fator X e tempo de atualização. Mostrando cada valor em respectiva

caixa de texto. O último botão é o de voltar, no topo da terceira tela. Ele transmite um comando para o ESP32 entrar em modo de "Deep Sleep", e encerra a comunicação Bluetooth do Android que avisa sido estabelecida, voltando para primeira tela.

4.1.4 Nó de Comunicação

O nó de comunicação também utiliza um ESP32, um módulo SX1276 para comunicação LoRa, uma antena para 915M Hz e um display OLED 0,96 Polegadas. Porém não possui nenhum outro hardware conectado a ele. A alimentação não é feita por bateria pois não é necessário nem indicado que seja um equipamento portátil. Ele é responsável apenas por receber os dados enviados pelos nós sensores e encaminhar diretamente para o servidor por meio de uma conexão WiFi.

Resumindo de forma simplificada, o ligar o nó de comunicação realiza a rotina de configuração para habilitar o funcionamento display. Em seguida realiza a configuração da comunicação LoRa, para a mesma frequência do nó sensor, que é de 915MHz.

Após isso, realiza a configuração do Wifi do ESP32 como cliente. Realiza uma busca, escaneando os redes WiFi e conecta a rede salva utilizando uma senha de acesso. Após isso, entra numa rotina para apresentar as redes WiFi encontradas e as potencias dos sinais delas.

Conectado a rede, iniciasse uma rotina para conexão ao servidor da IBM Watson IoT. Essa conexão é do tipo MQTT ("Message Queuing Telemetry Transport", em tradução livre para o português "Transporte de Mensagens de Telemetria por Fila"), desenvolvida no final da década de 90 inicialmente para sensores terrestres comunicando com satélites. Em 2014 se tornou um software livre e atualmente é o padrão de comunicação de sensores IoT com a rede internet (YUAN, 2017).

O protocolo é otimizado para enviar pequenos pacotes de dados em redes com largura de banda limitada e alta latência de transmissão. O MQTT é assíncrono, no qual o cliente não aguarda uma resposta do servidor, possibilitando ter uma transmissão mais rápida. A mensagem não é enviada diretamente ao banco de dados do servidor, passa por um intermediador chamado de broker, que é capaz de conectar a múltiplos clientes e verificar o pacote recebido antes de encaminhar para os dispositivos de destino (SUHANKO, 2016).

Em comparação com outro protocolo comum, o HTTP ("Hypertext Transfer Protocol", em tradução livre para o português "Protocolo de Transferência de Hipertexto") que poderia ser utilizado nessa solução, é um protocolo síncrono, no qual o sensor cliente ao transmitir necessita aguardar uma resposta do servidor. É uma conexão ponto a ponto com um protocolo pesado com muitas regras e cabeçalhos, o que não é indicado para redes com restrições.

O ESP32 se conecta ao endereço do servidor IBM Cloud com um identificador de dispositivo único. E entra numa rotina aguardando receber uma transmissão de dados de algum nó sensor.

Ao receber um pacote por transmissão LoRa, o ESP32 verifica se o formato está conforme o esperado, apresentado na figura 16 apresentada anteriormente, com os 2 bytes de

início e com o tamanho esperado. Após isso verifica se o pacote é direcionado a ele ou para o endereço de gateway, caso contrário ignora o pacote recebido. Em seguida verifica qual era a função da transmissão, como por exemplo envio de dados, em seguida separando os dados recebidos.

Com os dados separados, o ESP32 verifica a conexão com o WiFi, caso tenha desconectado realiza uma nova conexão e reestabelece contato com o servidor. Os dados são organizados em um pacote do tipo JSON ("JavaScript Object Notation", em tradução livre para o português "Notação de Objeto em Javascript"), que é um formato baseado na linguagem de programação Javascript. Os dados são organizados em chaves, que são os nomes dos atributos, e seus respectivos valores.

4.1.4.1 Protótipo do Nó de Comunicação

O protótipo desenvolvido pode ser visto na figura 19. O Led vermelho indica que está sendo alimentado pela entrada micro USB. O display está mostrando que o ESP32 está conectado ao WiFi e está aguardando receber um pacote de dados do nó sensor, indicado pelo símbolo ao lado direito do TCC.



Figura 19 – Protótipo do nó de comunicação

Fonte: Autoria própria, 2019

4.1.5 Firmwares de Testes

Com base nos firmwares do nó sensor e do nó de comunicação, foram desenvolvidos dois firmwares para avaliar a qualidade da transmissão dos dados da comunicação LoRa. O hardware de cada um deles permanece idêntico.

O nó sensor possui rotina de funcionamento idêntico ao normal com apenas duas mudanças. As funções de "Deep Sleep" e de comunicação Bluetooth, já que não são necessárias para o teste. Ao transmitir, ele envia junto com o pacote um contador, que é utilizado para

contabilizar os pacotes perdidos durante a transmissão. No instante que iria entrar em modo de "Deep Sleep", o ESP32 incrementa o contador, realiza um delay de 5 segundos e volta a realizar uma nova leitura e transmissão. O botão que possuía como função ativar o modo bluetooth, recebe a função de zerar o contador para o teste de transmissão.

Por sua vez o nó de comunicação possui uma diferença em que ele não se conecta ao WiFi, já que é o foco do teste. O display apresenta 3 valores, o valor do contador recebido, abaixo o contador que é incrementado a cada recebimento, e por último o valor da média do RSSI ("Received signal strength indication", em tradução livre para o português "Indicador de intensidade do sinal recebido") dos sinais recebidos. O botão, que antes não apresentava função, agora realiza zeramento dos contadores e da média.

5 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Teste das Geometrias

Após o projeto das placas de circuito impresso com as geometrias, apresentadas anteriormente na figura 12, em placas do FR-4 (Fibra de vidro com resina epóxi) com uma face com cobre em uma das faces. Elas foram produzidas pelo processo de transferência térmica seguida de corrosão com percloroeto de ferro.

Além de testar as geometrias, foram realizadas alterações de firmware para analisar o comportamento de leitura com 3 diferentes frequências. O circuito padrão funciona em torno de 400KHz. Foram configuradas o funcionamento em 200KHz e 800kHz. Demais características elétricas, dos sinais, de funcionamento e do desenvolvimento da alteração não serão informadas devido segredo industrial do circuito sensor SSIC045.

Como parâmetro de leitura, foram selecionadas 5 padrões de leitura. O primeiro padrão, nomeado como Padrão A, era a leitura em vazio, quando nada esta encostando na placa sensora. Para isso o sensor era fixado na vertical para nada estar próximo placa sensora. Já os outros 4 padrões estão na figura 20. Os materiais em si não são importantes, e sim a sua repetibilidade de leitura e diferença de densidade existente entre eles. Para facilitar a medição e garantir que em todas leituras estavam posicionados da mesma forma, foram colocados fitas emborrachadas do formado to sensor.



Figura 20 – Padrões utilizados para teste de leitura

Fonte: Aatoria própria, 2019

Primeiramente, o padrão B apresenta baixa densidade e conseqüentemente menor influência capacitiva sobre o sistema. Trata-se de um polímero de 3mm de espessura, sobre uma chapa de papelão de meia polegada, utilizada para distanciar o polímero da mesa.

Já o padrão C apresenta o valor intermediário de densidade, se trata de uma resina de 6mm. O padrão D é uma madeira seca, para não te problema de repetibilidade, de alta densidade. Por fim, o Padrão E é uma resina de 6mm com uma camada de alumínio, com

altíssima capacitância superficial foi escolhido por ser o material com maior influência para analisar a amplitude máxima de cada sensor mesmo que nenhuma madeira terá valor lido semelhante a esse.

Utilizando o mesmo circuito sensor para testar todas as geometrias, para ter uma maior confiabilidade no teste. Com o software comercial da Marrari UmiSetup32, foram realizadas 100 coletas dos dados do sensor para cada padrão para as 3 frequências com cada geometria e para o protótipo sensor 12V com a geometria 0.

Após a coleta, os dados foram compilados e organizados em planilhas. O dado de interesse, chamado de capacitância direta pelo sensor, se trata de um valor digital de 6 casas decimais, que é diretamente proporcional a capacitância do sistema que sofre influência do material em contato com a placa sensora, porém não apresenta unidade. Esse valor necessita ser tratado para que apresente uma correlação do percentual de umidade do material. Foi calculado a média cada um dos 100 valores e o desvio padrão para verificar a precisão e a estabilidade de cada placa sensora, com cada frequência. Dados estão presentes na tabela apresentada no apêndice A.

Foi calculado o desvio padrão, com a fórmula apresentada na figura 21, para analisar a dispersão dos dados lidos, que se trata da repetibilidade e estabilidade do sensor.

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

x_i = valor individual

\bar{x} = média dos valores

n = número de valores

Figura 21 – Fórmula do desvio padrão

Fonte: EDUCAMAISBRASIL, 2019

O foco da análise das médias é a diferença entre as leituras, foram criadas 4 faixas: "B-A"; "C-B"; "D-C"; "E-D"; "E-A". A ultima faixa, a diferença entre a maior e a menor leitura, tem como função para para visualizar a resolução máxima de leitura. Como os valores são altos e o objetivo é encontrar uma combinação de geometria e frequência que apresente uma melhor resposta de leitura, foram normalizados em relação a placa sensora com a geometria 0 com e frequência de 400kHz, que se trata da combinação atual. Quanto maior for a média das faixas e menor a média dos desvios, mais satisfatório foi a resposta. Por isso foi calculado a razão entre a média das faixas normalizada e média dos desvios normalizados. Dados normalizados estão presentes na tabela apresentada no apêndice B.

A seguir estão listados os gráficos obtidos assim como uma análise do resultados:

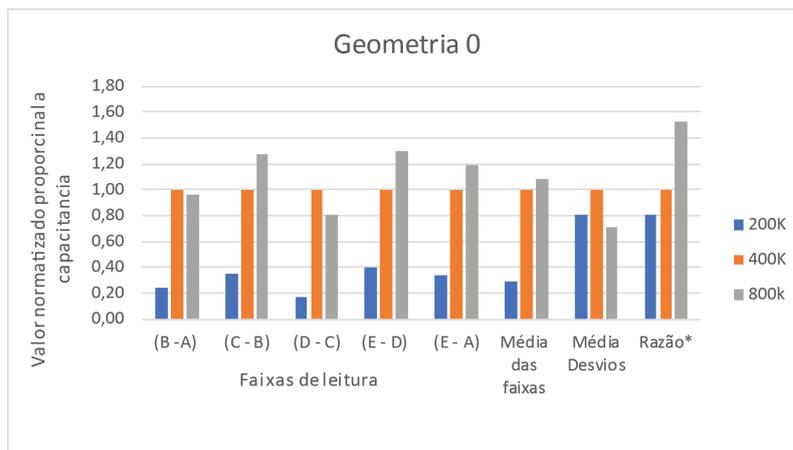


Figura 22 – Dados obtidos com a geometria 0

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 22 apresenta os dados da geometria 0, que é utilizada atualmente. Consta-se que a frequência de 200k Hz não teve resposta melhor do que ao padrão. Já a de 800k que apresentou resposta semelhante ao padrão, porém com desvio padrão menor e média das faixas maior.

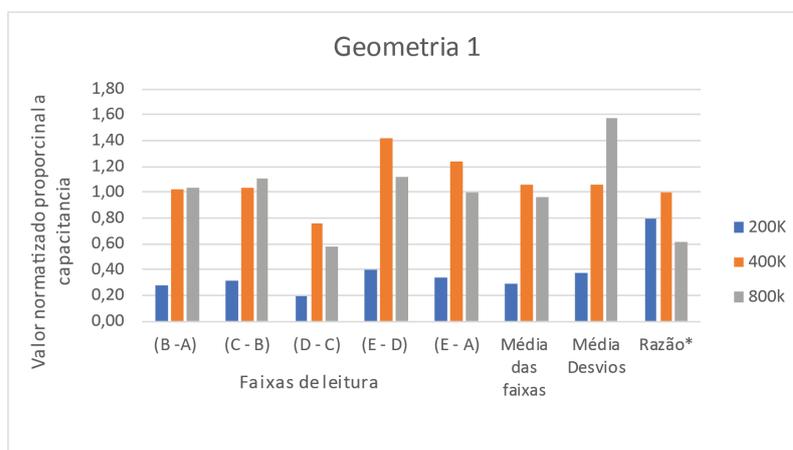


Figura 23 – Dados obtidos com a geometria 1

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 23 apresenta os dados da geometria 1, que é a a geometria padrão produzida manualmente. Consta-se que a frequência de 200k Hz não teve resposta melhor do que o padrão, apenas tendo média de desvios menor. Já a de 800k que apresentou resposta semelhante ao padrão, porém com desvio maior. O teste com 400k obteve comportamento semelhante ao geometria zero. Verifica-se que a média de desvios, variou em relação a geometria 0, logo a questão produtiva influencia na média dos desvios.

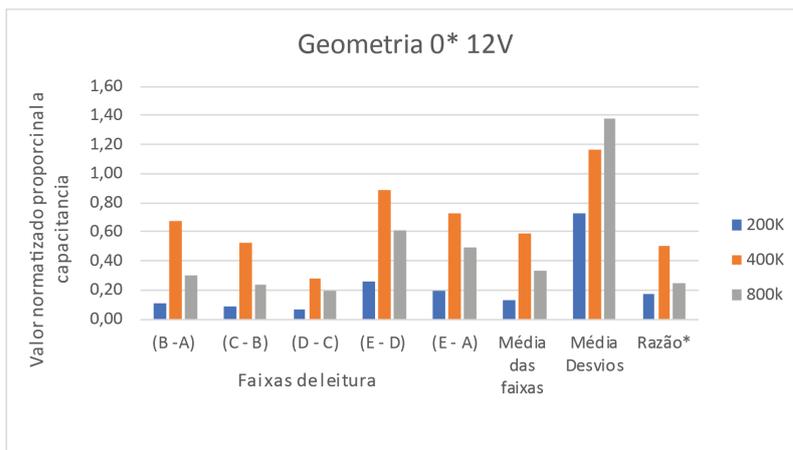


Figura 24 – Dados obtidos com a geometria 0* 12V

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 24 apresenta os dados da geometria 0, que é a utilizada atualmente. Constatase que todas frequência obtiveram resposta insatisfatória para a geometria 0 com sensor 12V. Um dado não apresentado no gráfico que pode justificar o resultado é de que a temperatura lida pelo sensor em funcionamento foi até em torno de 40 graus Celsius. Já o sensor em 5V costuma apresentar temperatura em torno de 32 graus Celsius.

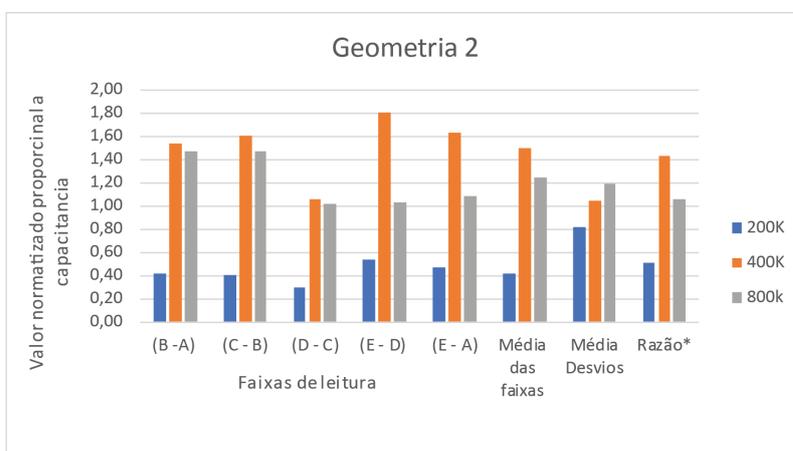


Figura 25 – Dados obtidos com a geometria 2

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 25 apresenta os dados da geometria 2, que possui uma área maior. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória no quesito média das faixas, porém continuou obtendo desvios menores. Porém 400K e 800K obtiveram média das faixas satisfatórias.

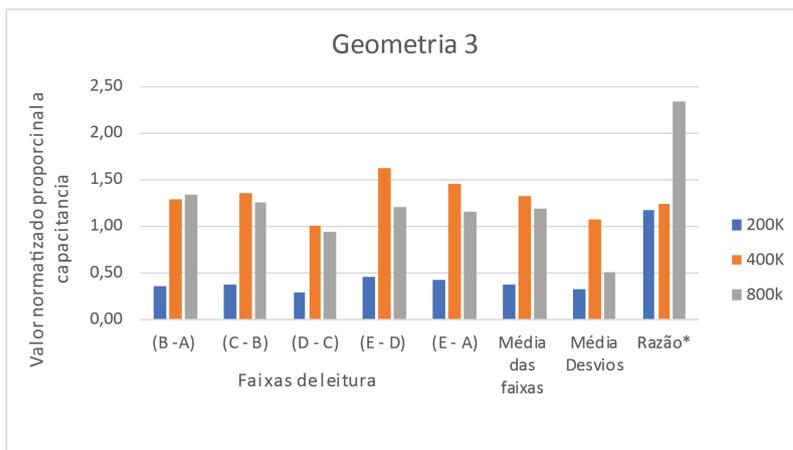


Figura 26 – Dados obtidos com a geometria 3

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 26 apresenta os dados da geometria 3, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 2 porém elíptica. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória no quesito média das faixas, porém continuou obtendo desvios menores. Já 400K e 800K obtiveram média das faixas satisfatórias, porém não melhores do que a geometria 2.

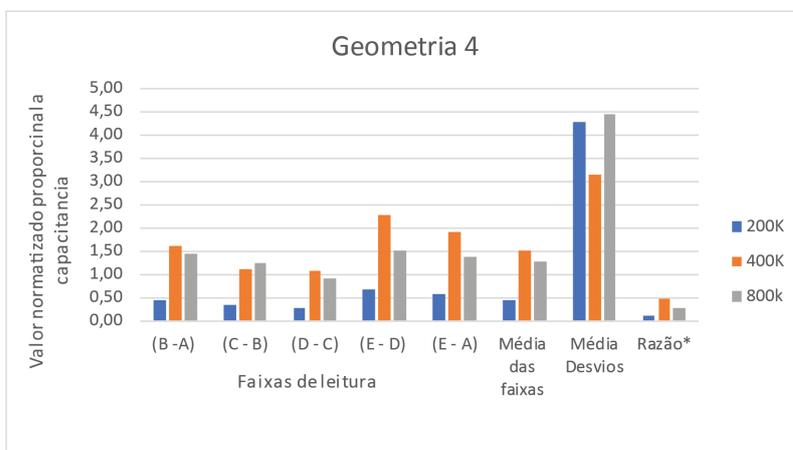


Figura 27 – Dados obtidos com a geometria 4

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 27 apresenta os dados da geometria 4, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 2 porém com duas áreas paralelas. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Nas frequências de 400K e 800K foi obtido média das faixas satisfatórias, porém as 3 frequências tiveram média de desvios elevados.

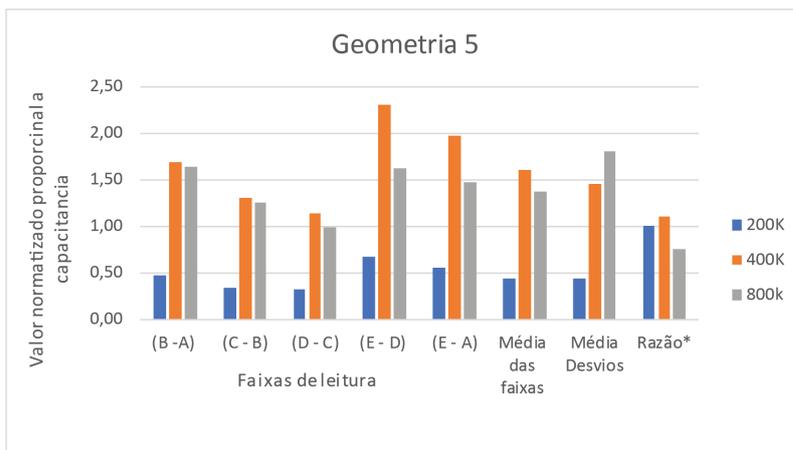


Figura 28 – Dados obtidos com a geometria 5

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 28 apresenta os dados da geometria 5, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 4 porém sem faixa metálica desconexa. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Porém 400K e 800K obtiveram média das faixas melhor do que o padrão, porém desvios maiores.

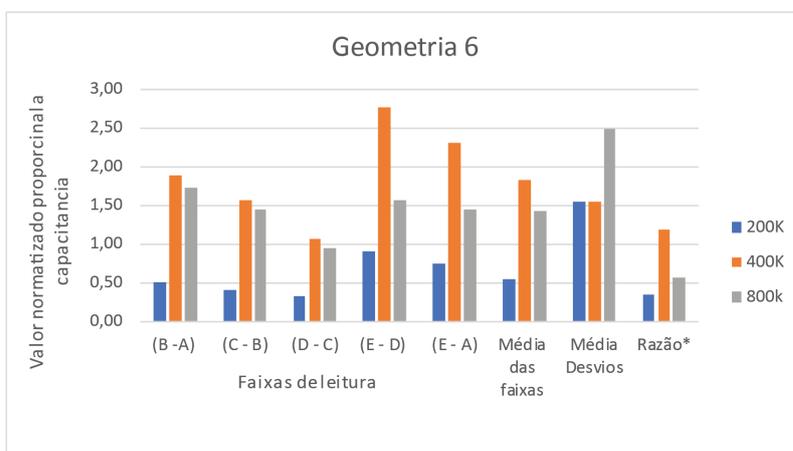


Figura 29 – Dados obtidos com a geometria 6

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 29 apresenta os dados da geometria 6, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 4 porém com uma menor distancia entre as áreas paralelas. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Nas frequências de 400K e 800K foi obtido média das faixas satisfatórias, porém as 3 frequências tiveram média de desvios elevados.

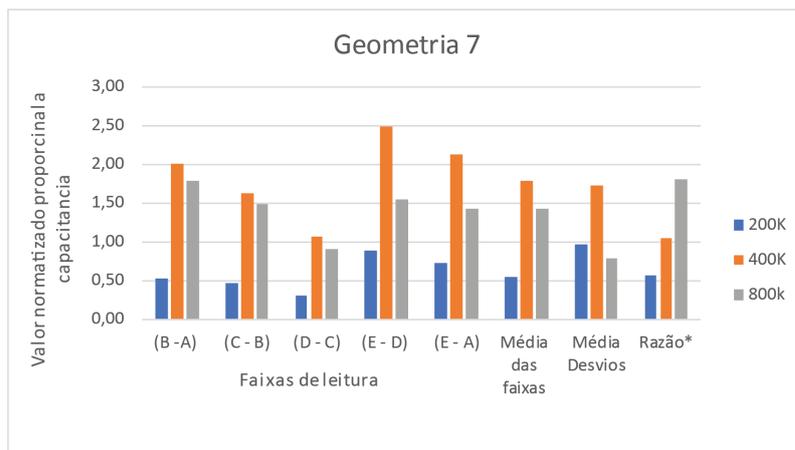


Figura 30 – Dados obtidos com a geometria 7

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 30 apresenta os dados da geometria 7, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 6 porém com zigzag. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Porém 400K e 800K obtiveram média das faixas satisfatórias, semelhantes a geometria 6, porém desvios próximas do que o padrão.

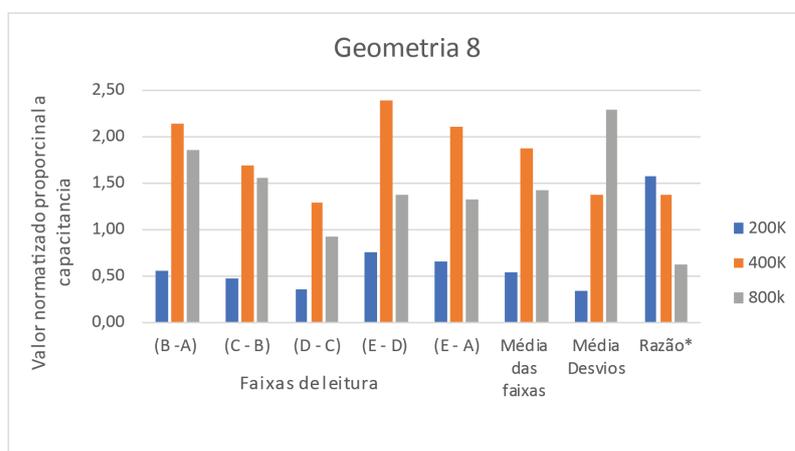


Figura 31 – Dados obtidos com a geometria 8

Fonte: Autoria própria, 2019

A figura 31 apresenta os dados da geometria 8, que possui uma área e medidas semelhante a geometria 4 porém a separação é uma senoide. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Nas frequências de 400K e 800K foi obtido média das faixas satisfatórias, porém as 3 frequências tiveram média de desvios elevados.

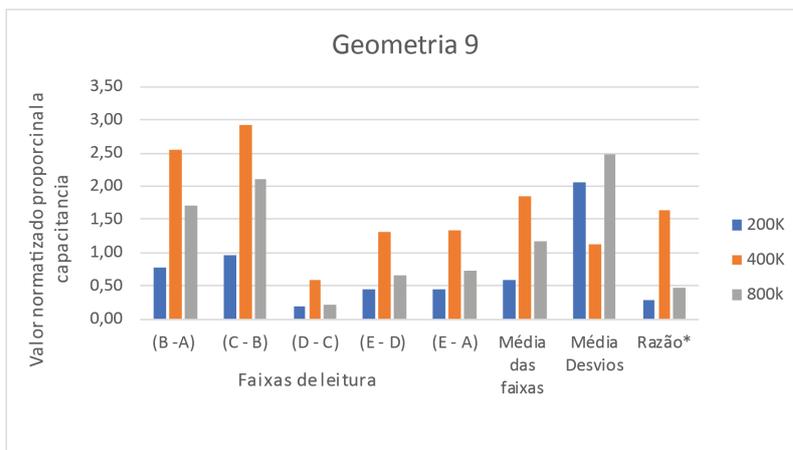


Figura 32 – Dados obtidos com a geometria 9

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 32 apresenta os dados da geometria 9, que possui medidas e dimensão da geometria 0 porém layout baseado na geometria proposta por Manash Goswami na figura 13. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. Porém 400K e 800K obtiveram média das faixas satisfatória, porém desvios elevados.

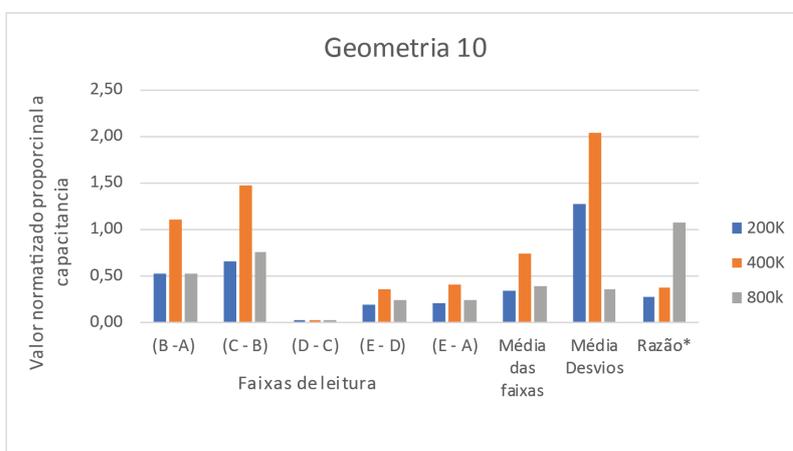


Figura 33 – Dados obtidos com a geometria 10

Fonte: Aatoria própria, 2019

A figura 33 apresenta os dados da geometria 10, que possui dimensão das outras placas, porém layout e medias foram feito com base geometria proposta por Manash Goswami na figura 13. Novamente a frequência de 200k não obteve resposta satisfatória. As 3 frequência tiveram uma resposta insatisfatória no quesito média das faixas e média dos desvios.

Outro ponto analisado, apresentado na tabela do apêndice A, foi de que a as médias para as geometrias 8 e 9 apresentaram um grande ganho. Isso constata que a capacitância do sistema em vazio foi elevada. Isso ocorreu pelo aumento da comprimento linear entre as áreas.

5.2 Teste do Circuitos

Por se tratar de um projeto de IoT, é importante se atentar ao consumo dos equipamentos, principalmente que são portáteis. Primeiramente, em relação ao nó sensor que o é equipamento que necessita maior atenção por utilizar bateria, foram medidos as correntes da bateria em 4 momentos distintos, pois apresentam grande diferença entre eles. Dados obtidos apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – *Consumo energético nó sensor*

Nó sensor	
Momento	Corrente
Em modo "Deep Sleep"	2,83 mA
ESP32 com sensor ligado	162,60 mA
ESP32 com sensor desligado	77,50 mA
Pico de corrente ao transmitir LoRa	291,20 mA

Autoria própria (2019)

Ficou claro o funcionamento do modo de redução de consumo "Deep Sleep", de 77.50mA para 2.83mA. O sensor ligado consome mais do que o ESP32. O pico de corrente da transmissão é um ponto de atenção, o regulador de tensão do sistema deve estar preparado para tal demanda.

Além do consumo, foi obtido os tempos de funcionamento via pequena alteração de software para apresentar esse valor na comunicação serial USB. O circuito sensor permanece ligado durante em torno de 2986 milissegundos. Já o tempo em "Deep Sleep" é exatamente aquele configurado. O tempo em que o sensor está desligado e o tempo de transmissão é menor que 1 milissegundo, o que foi complicado de determinar por a função utilizada não apresenta valores menores do que milissegundos do tempo atual.

O mesmo foi feito para o nó de comunicação. Os dados podem se vistos na tabela 3. Mesmo não sendo um equipamento portátil, é obter para analisar o equipamento.

Tabela 3 – *Consumo energético nó de comunicação*

Nó de comunicação	
Momento	Corrente
Aguardando pacote de dados LoRa	105 mA
Pico de corrente ao receber pacote LoRa e transmitindo por WiFi	145,30 mA

Autoria própria (2019)

Como o nó de comunicação sempre está com o WiFi habilitado e apresenta display, o consumo quando está aguardando pacote de dados LoRa é de 105mA, maior do que o consumo padrão do ESP32 do nó sensor que foi de 77.50mA. Existe um pico de corrente ao receber o

pacote LoRa, pois ele é processado e mandado por WiFi para o banco de dados. Assim como no nó sensor, o tempo de recebimento e retransmissão para o WiFi, foi complicado de determinar e apresenta valor menor do que 1 milissegundo.

Pelo pequeno tempo de recebimento e retransmissão, não foi possível testar a capacidade do nó de comunicação sob alta taxa de recebimento de dados. Com apenas dois nós sensores, transmitindo sem tempo de espera, não foi observado perdas de pacotes.

Agora para verificar a qualidade de transmissão LoRa do sistema IoT desenvolvido, foi testado o equipamento com o firmware de testes. Variando o contexto de transmissão entre:

- Dentro de uma estufa metálica fechada, que funciona como uma gaiola de faraday não perfeita. Além de ser um grande obstáculo para a transmissão de dentro para fora, foi possível esquentar até a temperatura de 46 graus Celsius.
- Região urbana sem obstáculos intermediários, medido numa mesma rua reta.
- Região urbana com visada obstruída, cruzando casas e quadras.

Os dados obtidos foram compilados na tabela 4

5.3 Teste do Aplicativo Android

Primeiramente, a figura 34, apresenta o funcionamento da conexão. Na primeira tela da esquerda, é pressionado o botão de ligar/desligar, e o sistema operacional solicita permissão ao usuário para alterar. Após isso, é clicado o botão de buscar, que busca e lista os dispositivos Bluetooth, mostrado na terceira tela. Por fim, na última tela, após clicar em um dos dispositivos da lista, o botão conectar fica azul, indicando identificou o dispositivo.

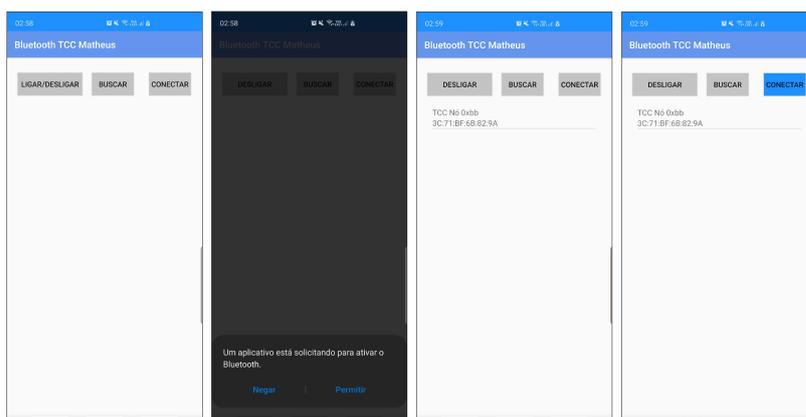


Figura 34 – Captura da tela inicial

Fonte: Autoria própria, 2019

Agora na figura 35, são apresentados as telas de leitura e configuração. Ao entrar, iniciasse na primeira tela da esquerda. Ao clicar atualizar, o aplicativo se comunica com o ESP32 que por sua vez realiza leitura do sensor e retorna os dados, apresentado na segunda tela dessa figura. Já a terceira e quarta apresentam a configuração do fator X, alterando de 100 para 167.

Tabela 4 – Dados obtidos com os testes de transmissão LoRa variando contexto e parâmetros

Testes de transmissão LoRa				
Contexto	Temperatura	Distância	RSSI	Percentual de perda de pacotes
Ambos dentro de uma estufa metálica fechada	Ambiente	20 cm	-37	0%
Sensor dentro da estufa e nó de comunicação fora	Ambiente	1 m	-60	0%
Ambos dentro de uma estufa metálica fechada	45°C	20 cm	-38	0%
Sensor dentro da estufa e nó de comunicação fora	45°C	1 m	-60	0%
Sensor dentro da estufa e nó de comunicação fora	45°C	3 m	-89	0%
Sensor dentro da estufa e nó de comunicação fora com múltiplas paredes intermediárias	45°C	15 m	-115	0%
Sensor dentro da estufa e nó de comunicação fora com múltiplas paredes intermediárias	45°C	19 m	-118	0%
Região urbana, visada direta	Ambiente	100 m	-124	0%
Região urbana, visada direta	Ambiente	200 m	-125	2%
Região urbana, visada direta	Ambiente	400 m	-127	3%
Região urbana, visada obstruída	Ambiente	100 m	-125	1%
Região urbana, visada obstruída	Ambiente	200 m	-127	4%
Região urbana, visada obstruída	Ambiente	300 m	-128	14%
Região urbana, visada obstruída	Ambiente	400 m	-128	41%

Autoria própria (2019)

Por fim, nas últimas duas telas, é alterado o valor de tempo de atualização, de 200 para 25 segundos.

5.4 Teste da Conexão com o Banco de Dados IBM

A figura 36 apresenta a captura de tela da página do IBM Cloud para o ID "TCCUFPR-MATHEUS001", que foi o ID utilizado para o ESP32 se conectar por meio do WiFi ao servidor. Na figura apresenta um gráfico gerado pelo site dos últimos valores para o status da variável CapDireta, que é o valor relativo a capacitância lida pela placa sensora. Além disso, abaixo são mostrados os últimos valores do fator X, Temperatura e endereço de origem da leitura, que é 187 (digital do valor hexadecimal 0xBB). Assim como o horário recebido da última atualização de status das variáveis.

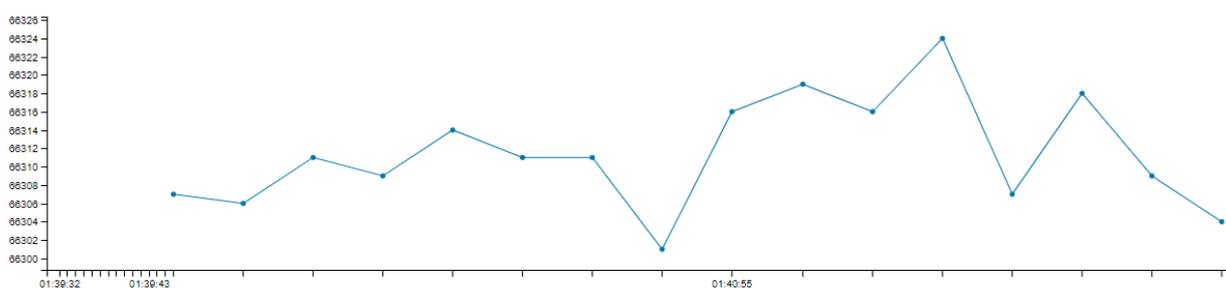


Figura 35 – Captura da tela de leitura e configuração

Fonte: Autoria própria, 2019

TCCUFRMATHEUS001

status.CapDireta



Evento	Ponto de dados	Valor	Horário Recebido
status	CapDireta	66043	17 de nov de 2019 03:06:34
status	FatorX	167	17 de nov de 2019 03:06:34
status	Temp	27	17 de nov de 2019 03:06:34
status	Origem	187	17 de nov de 2019 03:06:34

Figura 36 – Captura da tela da pagina do IBM Cloud

Fonte: Autoria própria, 2019

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos, é possível afirmar que o trabalho atingiu os objetivos propostos inicialmente. O sistema IoT de sensoriamento foi desenvolvido e teve um desempenho satisfatório em relação a otimização de leitura, qualidade de transmissão e conectividade ao servidor por Wifi e com o celular pelo aplicativo Android.

Por meio dos testes de geometria, foi constatado que uma geometria elíptica apresenta o menor desvio padrão. Além disso, foi constatado que a maior média de faixas foram obtidas com áreas paralelas, separadas por formas zigzag ou semelhante a uma senoide. De todas as combinações testadas, a melhor encontrada foi a da geometria 7 para a frequência de 800K Hz.

O circuito sensor 12V não apresentou valores satisfatórios nos testes, supõe-se que devido a maior potência envolvida, o circuito perdeu eficiência de leitura. As geometrias 9 e 10, apresentaram elevado valor relativo a capacitância do sistema. Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos para solucionar os problemas encontrados com o sensor 12V e com as geometrias 9 e 10, assim como testes com outras geometrias com base no que foi constatado no presente trabalho.

O nó sensor realizou a comunicação de longa distância por meio do protocolo LoRa com alta taxa de sucesso, 200m em um ambiente urbano é um desafio maior do que o ambiente real para que foi projetado. A comunicação com o aplicativo Android funcionou como planejado, sendo responsável por apresentar valores de leituras atualizadas e configurar características do sensor.

Outra proposta de trabalho futuro está na otimização do nó sensor. Por utilizar uma placa de desenvolvimento, o consumo energético permaneceu ligeiramente alto quando em "Deep Sleep", já que o regulador de tensão não é tão eficiente e o circuito apresenta um carregado de bateria. Com um consumo menor, não seria necessário carregador, pois com o uso de uma bateria de descarga única seria possível atingir um longo período de funcionamento. Além de trabalhar em cima do sensor de umidade SSIC045, para reduzir o tempo que necessita ficar ligado antes de leitura para bom funcionamento assim como redução de consumo. Trabalhos futuros são possíveis na parte do Aplicativo Android, aumentando a quantidade de funcionalidade assim como a usabilidade do sistema para o usuário.

O nó de comunicação cumpriu sua função, funcionando como um gateway de comunicação dos nós sensores com a rede internet. Uma proposta de melhoria é desenvolver um sistema de backup, para caso por algum motivo a rede Wifi caia, não sejam perdidos os dados. A conexão com o servidor foi estabelecida e a transmissão de dados com a rede ocorreu sem perdas notificadas. Por fim, uma última proposta de trabalho seria o desenvolvimento de um banco de dados dedicado para receber os dados e gerenciá-los, gerando relatórios e indicadores, assim como alimentando outros sistemas com os dados obtidos por uma possível análise por Big Data desses dados em conjunto com outros.

Referências

- ABNT, C.-. C. e. P. **Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017. Citado na página 19.
- ANATEL, A. N. d. T. Ato 14448 regulamentando a tecnologia lora no brasil. **Atos de Requisitos Técnicos de Certificação**, Agência Nacional de Telecomunicações, 2017. Citado na página 23.
- BCM, E. L. Redes e protocolos de comunicação. 2009. Citado na página 35.
- DIAS, L. R. **Com tecnologia LoRa, American Tower prepara oferta de conectividade IoT**. 2018. Disponível em: <<http://www.pontoisp.com.br/com-tecnologia-lora-american-tower-prepara-oferta-de-conectividade-iot/>>. Acesso em: 12 de agosto de 2019. Citado na página 23.
- DONATO, D. b. Método de amostragem e de determinação do teor de umidade da madeira em tora. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- DORSEMAINE, B. J.-P. G. . J.-P. W. . N. K. . P. U. Internet of things: A definition taxonomy. **IEEE Industrial Electronics Magazine8: conference: 9-11 Sept. 2015**, 2015. Citado na página 21.
- DRATH, R. **Industrie 4.0: Hit or Hype?** Horch, A. [S.l.]: IEEE Industrial Electronics Magazine8: 56-58, 2014. Citado na página 21.
- ESPRESSIF. **ESP32 Resources: A Different IoT Power and Performance**. 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/resourcese>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019. Citado na página 22.
- FERREIRA, J. Sistemas capacitivos aplicados na avaliação da umidade relativa de madeira de pinus. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Ponta Grossa, 2017. Citado na página 20.
- FLORIAN, A. **Revista da Madeira**. [S.l.]: Remade, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.
- FUCHS, A. M. J. M. H. Z. T. B. Using capacitive sensing to determine the moisture content of wood pellets – investigations and application. Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing Graz University of Technology, Austria, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- GANEV, Z. **TOPOLOGIES OF WIRELESS SENSOR NETWORKS**. [S.l.]: ICEST, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- GOLTZ, E. P. AplicaÇÃo do método dielétrico, princípio capacitivo para a mediÇÃo da umidade de cavacos de madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal UFPR, 2018. Citado na página 19.
- HARTMANN, H. e. T. B. **Rapid moisture content determination of wood chips – Results from comparative trials**. [S.l.]: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, 2000. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 21.

- HELTEC. **WiFi Kit 32**. 2019. Disponível em: <<https://heltec.org/project/wifi-kit-32/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2019. Citado na página 22.
- HERMANN MARIO; PENTEK, T. O. B. Design principles for industrie 4.0 scenario. pentek, tobias; otto, boris. **Technische Universität Dortmund**, 2015. Citado na página 21.
- IBM. **Coletar dados a partir de Coisas e criar valor por meio deles**. 2019. Disponível em: <<https://internetofthings.ibmcloud.com/>>. Acesso em: 5 de novembro de 2019. Citado na página 27.
- IBÁ. Relatório 2017: Indústria brasileira de Árvores. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.
- KLITZKE, R. J. Curso de secagem da madeira. **Manual Didático**, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal UFPR, 2008. Citado na página 18.
- KORTH H.F. E SILBERSCHATZ, A. Sistemas de bancos de dados. **Makron Books, 2a. edição revisada**, 1994. Citado na página 27.
- MARRARI. **MEDIDOR DE UMIDADE DE PACOTE DE MADEIRA – UMIPACK**. 2019. Disponível em: <<https://www.marrari.com.br/produto/medidor-de-umidade-de-pacote-de-madeira-umipack/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2019. Citado na página 24.
- ON, s. Bss138 n-channel logic level enhancement mode field effect transistor. Semiconductor Components Industries, 2017. Citado na página 33.
- PHILIPS, s. Bi-directional level shifter for i2c-bus and other systems. 2017. Citado na página 33.
- PIZETTA, R. P. Determinação da melhor metodologia de utilização de um aparelho resistivo medidor de umidade. Engenharia florestal da universidade federal do espírito santo, 2011. Citado na página 20.
- REMADE, R. d. M. **Estudo detalha benefícios do equilíbrio da umidade**. [S.l.]: Revista da Madeira EDIÇÃO N80 - ABRIL, 2004. Citado na página 19.
- SALHIEH, A. **Power Efficient Topologies for Wireless Sensor Networks; Jennifer Weimann, Manish Kochhal e Loren Schwiebert**. [S.l.]: IEEE, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- SMARTDATA. **NoSQL and the Internet of Things**. 2016. Disponível em: <<https://www.smartdatacollective.com/nosql-and-internet-things/>>. Acesso em: 5 de novembro de 2019. Citado na página 27.
- SUHANKO, D. **IoT – MQTT broker**. 2016. Disponível em: <<https://www.dobitaobyte.com.br/iot-configurando-um-mqtt-broker/>>. Acesso em: 4 de novembro de 2019. Citado na página 38.
- YUAN, M. **Conhecendo o MQTT**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 4 de novembro de 2019. Citado na página 38.

Apêndices

APÊNDICE A – Tabela valores de média e desvio padrão obtidos

Geometria	Frequência (Hz)	Média A	Desvio A	Média B	Desvio B	Média C	Desvio C	Média D	Desvio D	Média E	Desvio E	Resolução Max.	Média	Resol. Média/ Desv./
0	200k	12218,1	7,5	12690,6	2,3	13867,7	0,7	15421,9	10,0	28030,5	56,9	15812,4	15,5	620,9
	400k	45874,3	13,6	47803,3	18,6	51164,4	14,6	60489,9	22,4	92268,0	27,2	46393,7	19,3	2405,6
	800k	45804,1	3,9	47651,0	20,6	51920,8	10,0	59414,9	5,2	100755,2	28,9	54951,1	13,7	4025,5
0* 12V	200k	10334,4	1,9	10539,1	2,6	10827,0	26,1	11450,2	4,9	19509,4	34,7	9175,1	14,0	654,2
	400k	38642,5	9,6	39948,5	39,3	41711,4	13,6	44308,9	15,4	72348,8	34,1	33706,3	22,4	1504,4
	800k	41279,7	30,0	41853,4	25,1	42657,1	25,2	44426,3	31,7	63965,1	21,3	22685,4	26,7	850,8
1	200k	12231,6	5,0	12760,0	5,6	13797,8	1,0	15649,1	6,3	28147,6	17,9	15916,0	7,2	2218,2
	400k	45922,5	2,0	47887,3	23,2	51359,4	4,3	58400,4	8,6	103300,3	63,9	57377,9	20,4	2812,7
	800k	45718,7	22,6	47714,7	16,8	51433,1	2,2	56855,1	29,7	92286,1	176,6	46567,4	29,6	938,8
2	200k	14388,8	8,3	15185,8	3,0	16528,2	2,4	19333,5	8,0	36465,2	56,5	22076,3	15,6	1411,4
	400k	53970,8	12,0	56932,0	11,5	62324,4	29,2	72155,3	6,6	129569,4	41,8	75598,6	20,2	783,9
	800k	53723,7	14,1	56563,5	25,4	61513,8	16,5	71001,5	34,7	103806,4	24,2	50082,6	23,0	2180,4
3	200k	13513,5	1,1	14194,2	5,9	15410,1	1,8	18057,0	1,3	32663,3	20,0	19149,8	6,0	3180,3
	400k	50645,7	4,0	53132,2	22,3	57681,0	6,1	67047,0	5,5	118297,9	64,8	67652,1	20,6	3292,0
	800k	50431,5	5,8	52997,0	20,6	57235,3	14,2	65895,3	2,7	103918,2	5,5	53486,8	9,7	5485,9
4	200k	13402,0	1,4	14259,3	9,0	15372,9	1,7	17810,5	15,5	39459,0	384,9	26057,0	82,5	315,8
	400k	50274,2	5,9	53356,8	29,4	57090,5	2,9	67088,2	38,2	139282,8	227,9	89008,6	60,9	1462,6
	800k	50124,0	3,4	52873,5	27,7	57082,6	11,0	65603,6	26,4	113273,9	359,9	63149,8	85,7	737,3
5	200k	13280,7	3,7	14180,2	4,9	15293,1	1,4	18207,2	3,4	39290,7	28,9	26010,0	8,5	3072,2
	400k	49844,2	3,1	53107,0	28,2	57488,6	6,6	68040,9	24,9	141285,5	77,9	91441,3	28,1	545,2
	800k	49658,4	6,9	52803,9	22,4	57019,1	6,6	66282,9	7,1	117771,4	131,3	68113,0	34,8	1954,6
6	200k	15041,8	1,5	16027,1	5,5	17406,6	5,8	20419,9	15,9	49286,0	120,6	34244,1	29,6	1146,7
	400k	56352,2	3,9	59995,4	29,0	65218,2	2,8	75180,1	9,9	162980,8	102,5	106628,6	29,9	3598,3
	800k	55877,9	3,6	59192,3	25,7	64073,9	8,5	72448,1	35,5	122759,1	165,9	66881,2	47,8	1397,9
7	200k	15996,8	4,0	17017,1	2,5	18548,6	1,6	21360,0	22,1	49136,4	63,4	33139,5	18,7	564,3
	400k	59939,5	5,4	63819,5	17,9	69247,7	2,3	79184,0	24,6	158046,5	115,3	98107,1	33,1	2965,7
	800k	59355,6	3,3	62809,5	19,5	67827,4	6,2	76170,8	17,5	125533,4	30,1	66177,8	15,3	4322,0
8	200k	16238,0	4,2	17320,1	5,8	18922,0	2,9	22209,8	8,3	46336,7	12,0	30098,7	6,6	4540,9
	400k	60805,1	12,0	64931,6	22,8	70594,2	5,3	82601,3	29,5	158219,1	62,9	97414,0	26,5	701,4
	800k	60103,3	3,9	63676,8	25,8	68886,7	9,1	77461,4	21,4	121021,7	160,0	60918,5	44,0	1383,4
9	200k	27426,0	1,7	28929,1	3,0	32176,7	2,6	33880,7	41,1	47812,1	151,3	20386,1	39,9	510,6
	400k	101073,5	10,8	106007,3	13,6	115797,4	9,6	121303,1	15,6	162667,5	58,6	61593,9	21,7	2844,1
	800k	91916,6	2,7	95202,5	17,7	102260,5	11,4	104214,2	7,9	125156,2	199,9	33239,7	47,9	693,4
10	200k	47549,2	1,2	48536,2	6,8	50720,7	8,5	56767,1	4,3	56780,3	101,6	9231,1	24,5	376,8
	400k	157358,8	6,2	159472,8	14,0	164434,8	6,9	164674,0	34,5	175916,2	135,2	18557,4	39,4	471,4
	800k	124468,5	5,5	125475,0	3,2	127990,9	8,5	128081,0	3,4	135638,5	13,5	11170,0	6,8	1633,5

Autoria própria (2019)

APÊNDICE B – Tabelas com dados normalizado

		Valores relativos e médias normalizadas com base na geometria 0 com 400k Hz							
Geometria	Frequência (Hz)	(B -A)	(C - B)	(D - C)	(E - D)	(E - A)	Média das faixas	Média Desvios	Razão*
0	200k	0,24	0,35	0,17	0,40	0,34	0,29	0,80	0,80
	400k	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	800k	0,96	1,27	0,80	1,30	1,18	1,08	0,71	1,53
0* 12V	200k	0,11	0,09	0,07	0,25	0,20	0,13	0,73	0,18
	400k	0,68	0,52	0,28	0,88	0,73	0,59	1,16	0,51
	800k	0,30	0,24	0,19	0,61	0,49	0,34	1,38	0,24
1	200k	0,27	0,31	0,20	0,39	0,34	0,29	0,37	0,79
	400k	1,02	1,03	0,76	1,41	1,24	1,05	1,06	1,00
	800k	1,03	1,11	0,58	1,11	1,00	0,96	1,53	0,63
2	200k	0,41	0,40	0,30	0,54	0,48	0,41	0,81	0,51
	400k	1,54	1,60	1,05	1,81	1,63	1,50	1,05	1,43
	800k	1,47	1,47	1,02	1,03	1,08	1,25	1,19	1,05
3	200k	0,35	0,36	0,28	0,46	0,41	0,36	0,31	1,17
	400k	1,29	1,35	1,00	1,61	1,46	1,31	1,06	1,23
	800k	1,33	1,26	0,93	1,20	1,15	1,18	0,51	2,33
4	200k	0,44	0,33	0,26	0,68	0,56	0,43	4,28	0,10
	400k	1,60	1,11	1,07	2,27	1,92	1,51	3,15	0,48
	800k	1,43	1,25	0,91	1,50	1,36	1,27	4,44	0,29
5	200k	0,47	0,33	0,31	0,66	0,56	0,44	0,44	1,01
	400k	1,69	1,30	1,13	2,30	1,97	1,61	1,46	1,10
	800k	1,63	1,25	0,99	1,62	1,47	1,37	1,81	0,76
6	200k	0,51	0,41	0,32	0,91	0,74	0,54	1,55	0,35
	400k	1,89	1,55	1,07	2,76	2,30	1,82	1,54	1,18
	800k	1,72	1,45	0,95	1,57	1,44	1,42	2,48	0,57
7	200k	0,53	0,46	0,30	0,87	0,71	0,54	0,97	0,56
	400k	2,01	1,62	1,07	2,48	2,11	1,79	1,71	1,05
	800k	1,79	1,49	0,89	1,55	1,43	1,43	0,79	1,81
8	200k	0,56	0,48	0,35	0,76	0,65	0,54	0,34	1,56
	400k	2,14	1,68	1,29	2,38	2,10	1,87	1,37	1,37
	800k	1,85	1,55	0,92	1,37	1,31	1,42	2,28	0,62
9	200k	0,78	0,97	0,18	0,44	0,44	0,59	2,07	0,29
	400k	2,56	2,91	0,59	1,30	1,33	1,84	1,12	1,64
	800k	1,70	2,10	0,21	0,66	0,72	1,17	2,48	0,47
10	200k	0,51	0,65	0,00	0,19	0,20	0,34	1,27	0,27
	400k	1,10	1,48	0,03	0,35	0,40	0,74	2,04	0,36
	800k	0,52	0,75	0,01	0,24	0,24	0,38	0,35	1,07

Razão*: Razão entre média das faixas normalizada e média dos desvios