



Eficiência Energética em Redes de Sensores sem Fios para Agricultura de Precisão

Versão Final Após defesa

Érica Mayra Sabino Pungo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando José da Silva Velez

Dezembro de 2023

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Érica Mayra Sabino Pungo, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M10858 de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 28 /12 /2023



(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente
assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Folha em branco

*Dedico este trabalho a
minha Família e especialmente ao
meu Pai que me deu incentivo para
concluir este trabalho.*

Folha em branco

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, por me ter permitido chegar até aqui com saúde, boa disposição e confiança, para poder concluir o trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Fernando Velez, agradeço todos os seus conselhos, apoio e tempo despendido durante o desenvolvimento desta dissertação, toda a ajuda prestada, e ao Emanuel Teixeira pela sua prontidão em auxiliar no que fosse preciso, desde dúvidas teóricas até às dificuldades sentidas na parte prática do trabalho, passando pelas importantes revisões deste documento.

A minha família em especial o meu Noivo que muito me incentivou a continuar e aos amigos que também contribuíram para a minha caminhada até aqui.

E também, não menos importante, agradeço ao Instituto de Telecomunicações pelas boas condições de acolhimento.

Este trabalho também foi financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais e quando aplicável cofinanciado por fundos comunitários no âmbito do projeto UIDB/EEA/50008/2020.

Folha em branco

Resumo

A agricultura de precisão vem facilitar as tarefas dos agricultores, disponibilizando tecnologias que evitam desperdícios, previnem dos impactos ambientais, aumentam a produtividade, reduzem os custos, melhoram a qualidade do produto, resultando em colheitas mais eficientes e sustentáveis. A agricultura de precisão depende da *Internet of Things* (IoT) para recolher, transmitir e analisar dados em tempo finito, o que é essencial para otimizar a produção agrícola, reduzir custos e melhorar a eficiência. A IoT desempenha um papel fundamental na modernização e na promoção da sustentabilidade na agricultura.

Ao longo do tempo, a utilização da IoT tem crescido exponencialmente devido à capacidade de conectar objetos do quotidiano e suas numerosas vantagens, como aprimoramento da eficiência energética, redução de custos de instalação e facilidade de utilização, entre outros. A IoT permite controlar e integrar ambientes, como os de automação residencial e de setores agrícolas, com o objetivo de proporcionar conforto, segurança e eficiência energética, por exemplo, em residências e em outros contextos.

O projeto associado a esta dissertação de mestrado consiste no desenvolvimento de um sistema de rega utilizando tecnologia de comunicação sem fios para controlo e comunicação eficiente até uma determinada distância. Mais especificamente, o projeto concentra-se na aplicação da tecnologia IEEE 802.15.4. Considera-se a plataforma de interface gráfica *Blynk* para criar um *painel* que permite a visualização dos níveis de humidade e temperatura. O sistema é gerido por um *Raspberry Pi*.

A configuração do sistema de rega envolve a utilização de uma mini bomba submersível em água, de um sensor de temperatura e de um sensor de humidade do solo ligados a um *Arduíno Uno*. Este sensor comunica os valores da humidade para o *Raspberry Pi*. O sistema de rega é controlado remotamente pelos *Raspberry Pis* ou computadores utilizando, a informação disponibilizada pelos nós sensores. No decorrer do trabalho conseguiu-se constatar as vantagens da utilização dos módulos XBEE. Os resultados dos testes de alcance comprovaram, que a eficiência da comunicação realizada entre os nós XBEE é diferenciada dependendo da distância. E foi possível comparar os dois modos de operação (*Application Programming Interface*, API, e modo transparente, AT) e percebeu-se que o modo AT é mais fácil de utilizar e económico, pelo facto de fazer configurações diretas e comunicações básicas. De acordo com os requisitos do nosso projeto não houve interesse em utilizar o modo API.

Palavras-chave

Eficiência energética; recolha de energia; agricultura de precisão; tecnologia de comunicação sem fios; RSSFs; Raspberry Pi; IoT.

Folha em branco

Abstract

Precision agriculture facilitates the tasks of farmers comes to facilitate farmers, providing bringing technologies that avoid waste, prevent environmental impacts, increase productivity, reduce costs, improve product quality, and results in more efficient and sustainable harvests. Precision agriculture relies on the Internet of Things (IoT) to collect, transmit and analyze data in finite real time, which is essential for optimizing agricultural production, reducing costs, and improving efficiency. IoT plays a key role in modernizing and promoting sustainability in agriculture.

Throughout the time, the use of IoT has grown exponentially due to the ability to connect everyday objects and its numerous advantages, such as improved energy efficiency, reduced installation costs and ease of use, among others. IoT allows you seeks to control and integrate environments, such as those of home automation and agricultural sectors, with the aim of providing comfort, security and energy efficiency, for example, in homes and other contexts.

The project associated with this MSc thesis consists of implementing an irrigation system using wireless communication technology for control and efficient communication up to a certain distance over a given distance. More specifically, the project focuses on applying IEEE 802.15.4 technology, and uses the Blynk graphical interface platform is considered to create a dashboard that allows the visualization of the humidity and temperature levels. The system is managed by a Raspberry Pi.

The configuration of the irrigation system involves the use of a mini pump submersible in water, temperature sensor, and a soil humidity sensor connected to an Arduino Uno. These humidity sensors reports provide the humidity and temperature values to the Raspberry Pi. The irrigation system can be remotely controlled by Raspberry Pis or computers using the information made available by the sensor nodes. In the course of the work, it was possible to verify the advantages of the use of the XBEE-PRO S1 modules. Results of the achieved communication range have shown that the efficiency of the wireless communication between the XBEE nodes is differentiated depending on the distance. It was possible to compare the two modes of operation (Application Programming Interface, API, and Transparent Mode, AT) and it was realized that the AT mode is easier to use and economical, as it enables direct configurations and basic communications. According to the requirements of our project, there was no interest in using the API mode.

Keywords

Energy efficiency; energy harvesting; precision agriculture; wireless communication technology; WSN; Raspberry Pi; IoT.

Folha em branco

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Acrónimos	xvii
Lista de Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Contextualização e Abordagem.....	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Contribuições	3
1.5 Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2	5
Estado da Arte	5
2.1 Redes de Sensores Sem Fios	5
2.2 Eficiência Energética das RSSFs.....	6
2.2.1 Técnicas de Redução de Energia dos Nós.....	7
2.2.2 Técnicas de Recolha de Energia Baseadas na Agricultura	8
Energia Solar	9
Transferência de Energia sem Fios	9
Energia Eólica.....	9
Energia de Vibração	10
Energia de Células de Combustível Microbianas	10
Sistema Híbrido de Recolha de Energia.....	10
2.3 Camadas Protocolares das RSSFs	10
Camada Física.....	11
Camada de Ligação de Dados	11
Camada de Rede	12
Camada de Transporte	12
2.4 Tecnologias e Protocolos de Comunicação de RSSFs para Agricultura de Precisão	13
2.4.1 IEEE 802.15.4	13
2.4.2 ZigBee	14
2.4.3 Protocolo Sem Fios Bluetooth	14
2.4.4 Protocolo <i>Wireless Fidelity</i>	15
2.4.5 Protocolo de Rádio de Longo Alcance	15
2.4.6 SigFox	15
2.4.7 Tecnologia 5G	16
2.4.8 NB-IoT	16
2.5 Comparação dos Parâmetros das Tecnologias.....	17
2.6 Sumário e Conclusões	19
Capítulo 3	21
Sistema de irrigação	21
3.1 Componentes do Sistema de Irrigação	21
3.2 Desenvolvimento do Projeto	26
3.3 Comunicação entre os Nós XBEE-PRO S1.....	29
3.4 Painel de Interface Gráfica.....	34
3.5 Consumo de Energia	37
3.6 Sumário e Conclusões	39
Capítulo 4	41
Resultados	41

4.1	Teste de alcance dos Nós	41
4.2	Análise dos Canais	42
4.3	Painel no <i>Blynk</i>	43
4.4	Medição de RSSI e Taxa de Transferência de Dados	45
4.5	Lições Extraídas.....	48
Capítulo 5		49
Conclusão e Propostas para Trabalho Futuro		49
5.1	Conclusões	49
5.2	Trabalho Futuro	50
Referências		52
Apêndices		56
Apêndice A		56
Apêndice B		59
Anexos		62

Lista de Figuras

Figura 1 – Arquitetura de nó de uma RSSF.	5
Figura 2 – Consumo de corrente/potência de um nó sensor.	6
Figura 2.1 – Camadas protocolares das RSSFs.	11
Figura 2.2 – Classificação das redes segundo a distância.	13
Figura 2.3– Minibomba de água.	22
Figura 2.4– Relé.	23
Figura 3 – Acesso remoto usando o PUTTY e o VNC.	27
Figura 3.1 – Montagem do sensor de humidade no Arduino.	28
Figura 3.2 – Esquema do sistema de rega.	29
Figura 3.3 – Protótipo do sistema de rega.	30
Figura 3.4 – Nós sensores.	31
Figura 3.5 – Configuração dos nós no XCTU.	31
Figura 3.6 – Interface de RF.	32
Figura 3.7 – Configuração do modo <i>Sleep</i>	32
Figura 3.8– Configuração da interface <i>serial</i>	32
Figura 3.9 – Exibição do script a correr enviando mensagem do nó coordenador ao dispositivo final.	33
Figura 3.10 – Exibição do nó de dispositivo final a receber mensagens.	34
Figura 3.11 – Tela de início do <i>Blynk</i>	35
Figura 3.12 – Criação do <i>template</i> no <i>Blynk</i>	35
Figura 3.13 – Fluxograma do sistema.	36
Figura 3.14 – Esquema completo do projeto.	37
Figura 3.15 – Visualização do consumo de energia.	39
Figura 4 – Teste de alcance dos nós na Travessa de São Tiago, na Covilhã.	41
Figura 4.1 – Teste de alcance dos nós sem barreiras na UBIMedical.	42
Figura 4.2 – Análise de canais na banda ISM (a 2,4 GHz).	43
Figura 4.3 – Análise de espectro dos canais na banda ISM (a 2,4 GHz).	43
Figura 4.4– Apresentação do painel no <i>Blynk</i>	44
Figura 4.5 – Apresentação do painel no <i>BlynkAPP</i>	44
Figura 4.6– Teste de RSSI.	45
Figura 4.7– Valores medidos do RSSI.	46
Figura 4.8– Monitorização da taxa de transferência de dados.	47
Figura 4.9– Evolução da taxa de transferência de dados ao longo do tempo.	47
Figura A.1– Esquema elétrico da conexão do Arduino e dos sensores.	60
Figura A.2–Esquema elétrico da parte da ligação do <i>Raspberry Pi</i>	61
Figura A.3 – Desenho do fluxo de dados UART no XBEE-PRO [40].	62
Figura A.4 – Desenho do XBEE-PRO S1.	63

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros das tecnologias [6]	17
Tabela 2 – Camadas protocolares das tecnologias segundo o modelo TCP/IP	19
Tabela 3 – Nível de potência de emissão XBEE-PRO [40]	25
Tabela 4 – Especificações Técnicas do XBEE PRO S1.....	25
Tabela 5 – Consumo de energia	38
Tabela A1 –Numerações de pinos do XBEE e do XBEE PRO S1 [40].	63

Folha em branco

Lista de Acrónimos

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
5G NR	<i>5G New Radio</i>
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações de Portugal
AC	Corrente Alternada
AD	Conversor Analógico Digital
ADC	Conversor Analógico Digital
Ao	Porta de Entrada ou Saída Analógica
AP	<i>API Enable</i>
API	<i>Applications Programming Interface</i>
AT	Modo Transparente
ATT	<i>Attribute Protocol</i>
BD	<i>Interface Data Rate</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CCA	<i>Clear Channel Assessment</i>
COAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
DC	Corrente Contínua
DCCP	<i>Datagram Congestion Control Protocol</i>
DH	<i>Destination Address High</i>
DHCP	Protocolo De Configuração Dinâmica
Do	Porta de Entrada ou Saída Digital
DL	<i>Destination Address Low</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
eMBB	<i>Enhanced Mobile Broadband</i>
GATT	<i>Generic Attribute Profile</i>
GND	Ground
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IOT	<i>Internet Of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPV6	<i>Internet Protocol Version 6</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
LPWAN	<i>Low-Power Wide-Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
mMIMO	<i>massive Multiple Input and Multiple Output</i>
mMTC	<i>massive Machine Type Communications</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NB	Paridade

NB-IoT	<i>Narrowband- Internet Of Things</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PAN ID	<i>Personal Area Network Identifier</i>
PL	<i>Power Level</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RF	<i>Radio Frequência</i>
RFCOM	<i>Radio Frequency Communications</i>
RO	<i>Packetization Timeout</i>
RSSFs	<i>Redes de Sensores Sem Fios</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
RSVP	<i>Resource Reservation Protocol</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SD	<i>Secure Digital Card</i>
SIG	<i>Sistemas De Informação Geográfica</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Random Acess Memory</i>
SSH	<i>Secure Shell</i>
ST	<i>Time Before Sleep</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCS	<i>Telephony Control Protocol Specification</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
UBI	<i>Universidade da Beira Interior</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
uRLLC	<i>Ultra-Reliable Low Latency Comuncations</i>
VCC	<i>Voltage Common Collector</i>
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>
WHAN	<i>Wireless Home Area Network</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WNAN	<i>Wireless Neighborhood Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>
XBEE	<i>Módulos De Comunicação Sem Fio Da Digi</i>
XCTU	<i>Software De Iteração Dos Módulos RF Da Digi</i>
ZigBee	<i>Zonal Intercommunication Global-standard</i>

Lista de Símbolos

<i>E</i>	Consumo de Energia
<i>P</i>	Potência
<i>Pr</i>	Potência Recebida
<i>Pr_f</i>	Potência Recebida por referência
<i>T</i>	Tempo (número de horas)

Capítulo 1

Introdução

A agricultura de Precisão compõe um sistema de gestão agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva e permite uma exploração mais racional dos sistemas produtivos, levando à otimização do uso das matérias-primas, ao aumento da rentabilidade e da sustentabilidade e à minimização dos impactos ambientais [1].

Com esta tecnologia, torna-se possível a disponibilização de elevadas quantidades de dados específicos, que podem ajudar na tomada de decisões e reduzir a incerteza [1], dado que as tecnologias associadas à agricultura de precisão permitem utilizações estratégicas para resolver problemas de pouca uniformidade. São práticas que podem ser desenvolvidas com diferentes níveis de complexidade e com finalidades diversas.

A Agricultura de Precisão exige a utilização de tecnologias recentes [1]. As tecnologias de Redes de Sensores sem Fios (RSSFs) desenvolveram-se rapidamente ao longo dos anos. Por exemplo, podem-se monitorizar fenómenos ecológicos em áreas vastas utilizando dispositivos invasivos chamados nós sensores [2].

Os nós sensores ou *motes* podem-se comunicar sem fios por meio de uma ligação e encaminhar os seus dados para uma estação base ou nó coordenador, comunicando-se com uma *gateway* [2].

As RSSFs têm sido usadas em diferentes aplicações, como militar, agricultura, desporto, medicina e indústria. A agricultura pode ser considerada uma das instalações mais favoráveis para as RSSFs para melhorar o processo de produção de alimentos, e minimizar a sobrecarga de trabalho dos agricultores [2].

1.1 Motivação

É importante abordar a eficiência energética em redes de sensores sem fios aplicadas à agricultura de precisão. Estas redes podem ser utilizadas para fornecer aos agricultores uma grande quantidade de informações como temperatura, humidade, radiação solar, pluviosidade, entre outras. Existem bases de dados baseadas nas redes de suporte, por exemplo, a Internet, para suportar a análise de pesquisas biológicas e ecológicas. Além dessas contribuições, muitas aplicações agrícolas têm sido propostas para atender a

vários objetivos, como monitorização do clima, avaliação de solo e frutas, controlo de insetos e doenças, controle de ervas daninhas, rastreamento de safras e assim por diante.

1.2 Contextualização e Abordagem

A agricultura de precisão é uma abordagem que emprega tecnologias para melhorar a qualidade e a produção agrícola. A melhoria da eficácia da agricultura tradicional tem sido alcançada utilizando redes de sensores sem fios e as tecnologias e ferramentas de gestão associadas possibilitando assim fazer a recolha de informações em tempo real sobre o solo, as plantas, o clima e outros fatores relevantes para a produção agrícola.

Para garantir a contínua operação dos sensores e dispositivos de comunicação sem fios no local agrícola, é importante otimizar o consumo de energia. Menos manutenção de dispositivos e substituição de baterias ou equipamentos resultam em economias financeiras muito significativas, a longo prazo.

A contínua pesquisa em tecnologias de baixo consumo energético, permitem a incorporação de novos recursos e sensores mais avançados nas RSSFs, mantendo a eficácia energética.

As RSSFs permitem-nos monitorizar e controlar remotamente sistemas agrícolas. Isto não é apenas para a economia de energia, mas também porque evita deslocamentos frequentes, e ao responder rapidamente às condições em constante mudança também aumenta a eficiência operacional.

1.3 Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho resumem-se nos seguintes pontos principais:

- i) Explorar Tecnologias de Comunicação com Redes de Sensores sem Fios (RSSFs), aplicadas à Agricultura de Precisão e familiarização com os módulos.
- ii) Propor a utilização de protocolos da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) e das camadas de rede e de transporte.
- iii) Implementar testes em hardware programável.
- iv) Propor a redução de consumo de energia através da proposta técnicas de recolha de energia do ambiente (*energy harvesting*).

O objetivo específico deste trabalho resume-se em implementar um sistema de rega, para que nos ajude a combater os desperdiço que ocorrem num sistema de rega tradicional.

1.4 Contribuições

A realização deste projeto, permitiu-me dar as seguintes contribuições:

- Analisar e comparar os diferentes protocolos e tecnologias de comunicação, 802.15.4 (6LoWPAN), ZigBee, protocolo de Radio de longa distância(LoRa), Bluetooth(BT), SigFox, WiFi, *Narrowband* IoT (NB-IoT), concernente às características das próprias tecnologias e da sua adaptação em espaços distintos, como também relativamente aos seus custos e manutenção.
- Avaliar as vantagens financeiras e operacionais de cada tecnologia. Definir uma arquitetura para o sistema de rega, realizada de acordo com os objetivos do trabalho; é importante analisar limitações das fontes de energia.
- Procurar uma comunicação eficiente: É essencial otimizar os algoritmos de comunicação para minimizar a quantidade de dados transmitidos e a frequência de transmissão. No gerenciamento de energia deve-se implementar estratégias para estender a vida útil das baterias e melhorar a eficiência energética. Isso pode incluir técnicas como a hibernação de sensores quando não estão a ser usados. A sincronização e a coordenação entre os sensores também podem reduzir o consumo de energia.

Com o foco principal de implementar um sistema de rega, através desta realização foi possível extrair dados dos testes de terreno e reunir conhecimentos técnicos, de maneira escolher e fundamentar as melhores opções tecnológicas a adotar em projetos futuros.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

No Capítulo 1 (Introdução) abordam-se basicamente alguns tópicos como a motivação, contextualização e abordagem, objetivos do trabalho, contribuições e estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 apresenta-se uma visão global dos vários tipos de protocolos e tecnologias de comunicação que se aplicam as redes de sensores sem fios para agricultura de precisão.

O Capítulo 3 apresenta o desenvolvimento de um sistema de irrigação, utilizando o Raspberry Pi, assim como a tecnologia do padrão Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 802.15.4, a fim de testar os alcances de comunicação.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados das experiências feitas ao longo do desenvolvimento do trabalho e extraem-se as lições aprendidas.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e discute as sugestões para trabalho futuro.

Capítulo 2

Estado da Arte

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura sobre RSSFs, aspectos de poupança de energia associados, protocolos de comunicação aplicados à agricultura de precisão, identificando-se também alguns dos principais parâmetros de desempenho relevantes.

2.1 Redes de Sensores Sem Fios

RSSFs é o termo utilizado para descrever um conjunto relativamente independente de pequenos dispositivos com o objetivo de monitorar propriedades físicas do ambiente em que estão localizados.

Os nós sensores coletam dados e podem processar estes dados dentro da rede em nós intermediários antes de encaminhá-los a um ponto central de coleta, chamado de estação base que pode ser um computador pessoal ou um servidor que fornece conexão física com a Internet. A estação de base não possui as restrições de um nó sensor como o processamento, capacidade de armazenamento e restrições de bateria [3]. Como apresenta a Figura 1, um nó sensor deve ser constituída por: sensores, interfaces de entrada e saída, memória, processador, bateria ou uma outra fonte de energia, e antena.

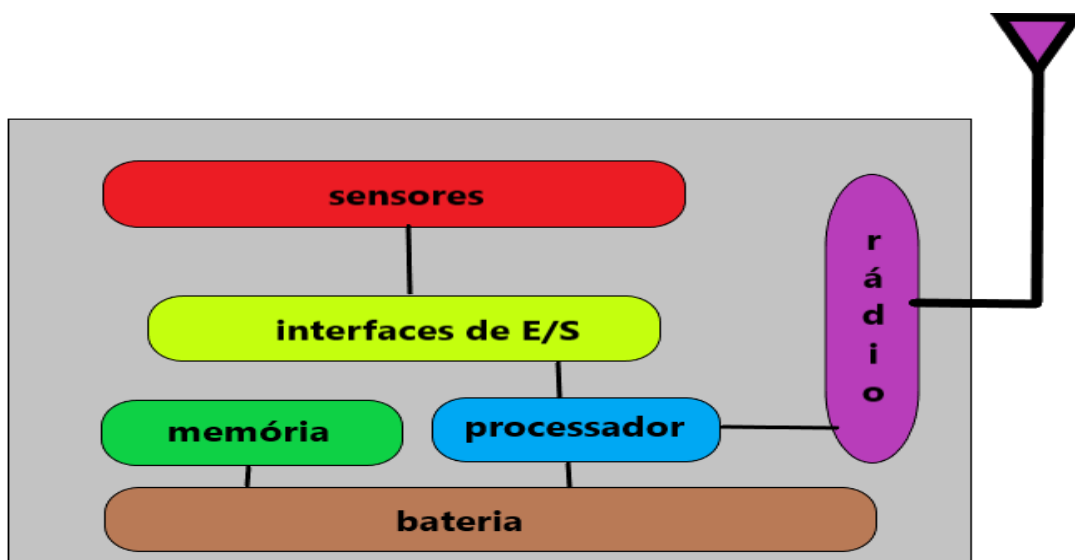


Figura 1-Arquitetura de um nó sensor de RSSFs.

2.2 Eficiência Energética das RSSFs

Este requisito baseia-se em todos os aspetos de nó sensor e da rede. Por exemplo, as escolhas feitas na camada física de um nó sensor afeta o consumo de energia de todo o dispositivo e a conceção de protocolos de nível mais alto [4].

A eficiência energética das RSSFs baseia-se na habilidade de se realizar uma ou várias tarefas com uma quantidade menor de recursos energéticos [5].

As técnicas de economia de energia se concentram em dois subsistemas, o *subsistema de rede* (a gestão de energia é direcionada para as operações em cada nó único) e o *subsistema de deteção* (onde técnicas são utilizadas para reduzir a quantidade de amostras com alto consumo de energia) [5].

Para obter uma melhor eficiência energética de uma RSSFs, deve-se analisar as características de dissipação de energia de um nó sensor da rede. A análise sistemática da potência de um nó sensor é extremamente importante para identificar as limitações de alimentação no sistema, o que pode ser o alvo de otimização [5].

A caracterização de cada unidade que compõem a arquitetura de um nó sensor é extremamente importante para a identificação dos possíveis pontos de desperdício ou consumo ineficiente de energia [5].

Em vários casos, o nó sensor possui uma fonte de energia limitada, ultimamente vem sendo usado técnicas de redução e recolha de energia, para tornar a eficiência energética das RSSFs [6]. A Figura 2 representa o consumo de energia de um nó sensor, em modo ativo e inativo, onde, T , $t.ativo$ e $t.inativo$ representam os intervalos de tempo do período, do estado ativo e do estado inativo ou sleep, respetivamente. I_0 representa a diferença entre o consumo de corrente no estado $I.ativo$ e $I.inativo$.

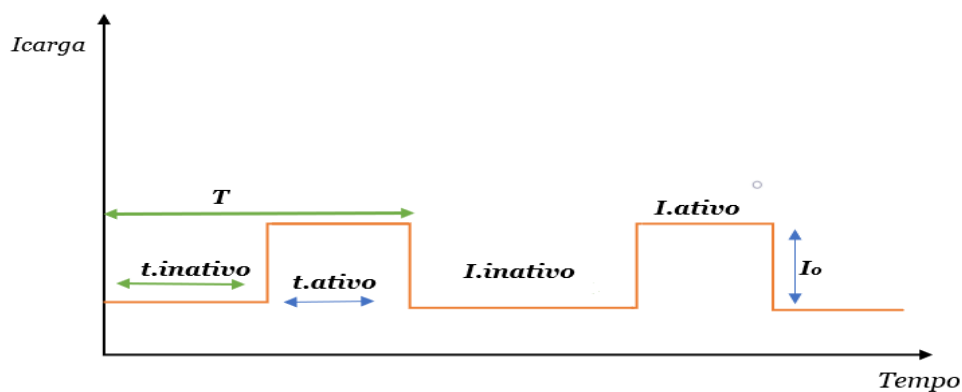


Figura 2- Consumo de corrente de um nó sensor.

2.2.1 Técnicas de Redução de Energia dos Nós

Numerosos estudos desenvolveram técnicas de redução de energia para fornecer aos nós sensores uma vida útil infinita. Esta seção analisa várias técnicas de redução de energia de RSSFs que podem ser usadas em aplicações agrícolas com base no artigo [6].

Estratégia de Sono/Vigília

A energia dos nós redes sem fios é dissipada principalmente durante os processos de receção e transmissão. O rádio dos nós sensores podem entrar no modo de suspensão através da estratégia de suspensão/ativação para reduzir o consumo de energia dos componentes de RF das RSSFs. Nenhuma comunicação de dados ocorre durante o modo de suspensão [6].

Os nós sensores acordam para receber e transmitir dados dentro de um determinado período temporal e, em seguida, retornam ao modo de suspensão para economizar energia.

Em aplicações agrícolas, a estratégia de sono/vigília é implementada por meio de

- (i) Ciclos de serviço;
- (ii) Protocolos de controle de acesso médio (MAC);
- (iii) Controle de topologia;

Mitigação de Dados

A estratégia de mitigação de dados apresenta outra solução de redução de consumo de energia para RSSFs que envolve reduzir a quantidade de dados transmitidos dos nós de origem para os nós de destino [6]. A mitigação de dados pode ser alcançada das seguintes formas:

- (i) Recolha de dados;
- (ii) Comparação de dados;
- (iii) Taxa de dados;
- (iv) Técnicas orientadas por dados.

Protocolo de Encaminhamento

O encaminhamento de pacotes é o processo de seleção dos melhores caminhos na rede; minimizando o caminho entre os nós sensores a estação de base, reduzindo assim o consumo de energia da RSSFs [6]. O protocolo de encaminhamento pode ser executado por meio de:

- (i) Mobilidade do nó origem (coletor);
- (ii) Roteamento de vários caminhos;
- (iii) Arquitetura de *cluster*;
- (iv) Métricas de encaminhamento.

Otimização de Rádio

Diversos estudos mostram que a potência é mais dissipada nos componentes de Radio Frequência (RF) das redes de sensores sem fios do que em unidades de processamento de dados, como em microprocessadores [6] [7].

Para reduzir o consumo de energia dos componentes de RF dos nós de sensores agrícolas, vários estudiosos aplicaram técnicas de otimização de rádio, incluindo

- (i) controle de potência de transmissão (TPC);
- (ii) esquema de modulação;
- (iii) rádio cognitivo.

2.2.2 Técnicas de Recolha de Energia Baseadas na Agricultura

As técnicas de recolha de energia (*energy harvesting*) possibilitam a captura e armazenamento de energia de várias fontes ambientais, como luz, calor, vibrações e ondas de rádio que ocorrem nas imediações do dispositivo para alimentar dispositivos eletrônicos de baixo consumo de energia. No contexto da agricultura de precisão, essas técnicas permitem fornecer energia para alimentar vários equipamentos ou dispositivos [8].

Em aplicações agrícolas, a recolha de energia pode ser utilizada para prolongar a vida útil dos nós sensores [9].

Energia Solar

Atualmente, existem diversas opções de energia sustentável, incluindo a energia solar. Como o próprio nome indica, a energia solar possibilita a captação de luz por meio de painéis solares, gerando então eletricidade, com um custo reduzido [10].

A energia solar baseada em sistemas e métodos fotovoltaicos pode ser utilizada em aplicações agrícolas baseadas em RSSFs. Portanto, as células solares fornecem uma boa solução para garantir a capacidade de sobrevivência do sistema de monitoramento agrícola. A energia das células solares tem sido considerada em diversos. Este tipo de recolha permite fornecer energia de longo prazo para nós sensores em aplicações agrícolas [11].

Transferência de Energia sem Fios

A transferência de energia sem fios, ou transmissão sem fios, ou ainda *wireless power transfer* (WPT) é a transmissão de energia elétrica, de uma fonte de energia elétrica para uma carga elétrica, sem empregar condutores sólidos. Transmissão sem fio é útil em casos onde interconectar fios metálicos é inconveniente, perigoso ou impossível [12].

Espera-se que desenvolvimentos recentes em transferência de energia sem fios (WPT) aumentem significativamente a vida útil das RSSFs e as tornem continuamente operacionais, uma vez que as técnicas de WPT podem ser utilizadas para transmitir energia eletromagnética entre dispositivos emissores e recetores sem qualquer contato entre os dois. Espera-se que o WPT supere a restrição de oferta de RSSFs.

Essa nova tecnologia está sendo desenvolvida para eliminar a necessidade de substituição de bateria ou carregamento de dispositivos sem fio, permitindo que eles operem de forma totalmente autónoma [12].

Energia Eólica

A energia eólica transforma a força dos ventos em movimento que é, então, convertida em eletricidade. Além de ser barata, limpa e inesgotável, a energia eólica não gera resíduos nem gases do efeito estufa, sendo uma ótima alternativa para diminuir a dependência de hidroelétricas e combustíveis fósseis [2].

Energia de Vibração

O princípio por trás da coleta de energia mecânica/vibração é converter a energia dos deslocamentos e oscilações de um componente de massa montado em mola em energia elétrica. A colheita de energia mecânica/vibração pode ser: Piezoelétrico, eletrostático e eletromagnético. Recolha de energia piezoelétrica baseia-se no efeito piezoelétrico para o qual a energia mecânica de pressão, força ou vibração é transformada em energia elétrica ao deformar um material piezoelétrico. A conversão de energia piezoelétrica tem a vantagem de gerar a tensão desejada diretamente, sem a necessidade de uma fonte de tensão separada [13].

Energia de Células de Combustível Microbianas

As células de combustível microbianas (CCMs) vêm chamando a atenção de pesquisadores por ser uma tecnologia capaz de converter a energia química contida nas águas residuais em energia elétrica limpa com a biorremediação simultânea das águas residuais [14].

Sistema Híbrido de Recolha de Energia

Com os avanços tecnológicos fundamentados na inovação, a energia eólica se uniu à energia solar e, juntas, formaram um novo conceito: sistema de recolha de energia híbrido (solar-eólico).

Em conjunto, ambas são mais eficientes e estáveis quanto ao fornecimento de energia. Geralmente, o sistema híbrido de recolha de energia neste contexto conta com módulo de painéis solares fotovoltaicos (ou coletores solares térmicos) e uma turbina eólica [15].

Uma das principais vantagens do sistema híbrido é a redução do consumo de energia elétrica. Além disso, o sistema híbrido de recolha de energia “solar-eólico” não tem impacto no meio ambiente, ao contrário das energias não renováveis.

2.3 Camadas Protocolares das RSSFs

O Modelo *Open System Interconnect* (OSI) da *International Organization Standards* (ISO) e a arquitetura *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) estruturam as comunicações em camadas com funções e interfaces bem definidas, e este facto possibilitou que os sistemas de comunicação pudessem evoluir de uma forma

harmoniosa e com progressos simultâneos em várias camadas, não comprometendo a compatibilidade com as soluções mais antigas.

As RSSFs apresentam propriedades e requisitos próprios, que envolvem a otimização do consumo de energia, a redução do *overhead* na troca de informações e muitas vezes, a partilha de dados entre as diferentes camadas protocolares das redes de nós sensores. A Figura 2.1 representa as camadas protocolares das RSSFs dos modelos OSI TCP.

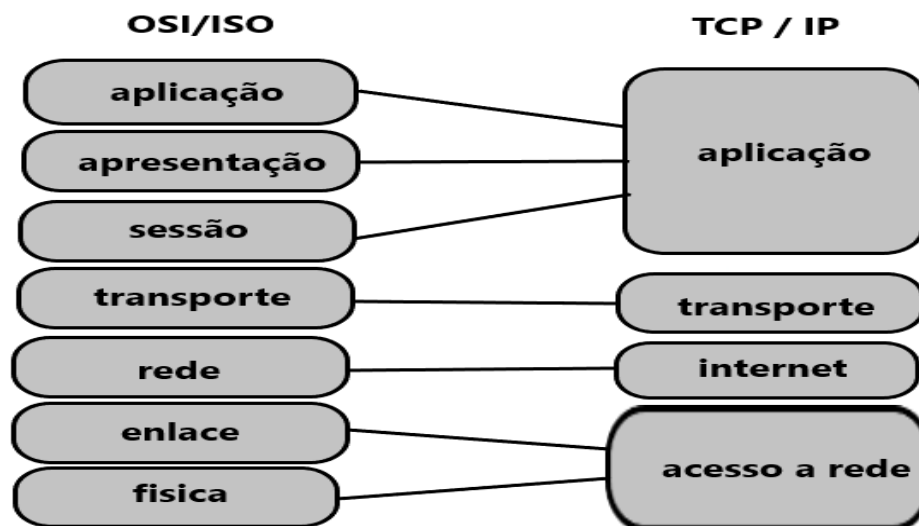


Figura 2.1 – Camadas protocolares das RSSFs.

Camada Física

A camada física é importante já que tem por função genérica realizar a interface entre as funções lógicas de comunicação e o meio físico. Assim sendo, sem esta camada não seria possível a comunicação entre sistemas.

Numa RSSFs que utiliza meios físicos sem fios, assumem particular importância a modulação e desmodulação de sinais, a gestão das potências de emissão, a sincronização entre sistemas, a seleção de canais de comunicação, e os mecanismos de sobrevivência a interferências, entre outros aspetos.

Camada de Ligação de Dados

De acordo com o modelo OSI da ISO, a camada de ligação de dados congrega funcionalidades relativas ao controlo de erros, controlo de fluxo, encapsulamento e controle de acesso ao meio físico [5].

Esta camada está organizada na subcamada de controlo das ligações lógicas (LLC), responsável pelo encapsulamento e o desencapsulamento da informação para as

camadas superiores e pela adição de informação de controlo de erros e fluxos; e a subcamada de controlo de acesso ao meio físico (MAC), que é responsável pela gestão do acesso ao meio físico de transmissão, aspecto essencial em qualquer tecnologia de rede [16]. A camada de controle de acesso ao meio (MAC) é o nível mais adequado para abordar a eficiência energética. Esta camada é utilizada para coordenar o acesso do nó ao meio sem fio compartilhado.

Os protocolos MAC procuram maximizar a eficiência do processo de transmissão e reduzir o tempo de envio, isto é, tentam maximizar a quantidade de informação útil transmitida por unidade de tempo e reduzir a latência [1].

O *duty-cycle* é o parâmetro que mede a percentagem de tempo durante o qual um nó se encontra em modo ativo:

$$duty_cycle = \frac{\text{tempo de atividade}}{\text{tempo total}} \quad (1)$$

A definição deste parâmetro permite otimizar o desempenho energético das RSSFs.

Camada de Rede

Duas das principais funções desta camada são o endereçamento e o encaminhamento de dados.

O Encaminhamento da informação nos nós sensores, resulta da necessidade dos vários nós comunicarem a uma estação base a informação recolhida. Em áreas de elevada dimensão a comunicação entre o nó emissor e a estação base dificilmente será direta, obrigando a que os pacotes passem por nós intermédios [5].

Camada de Transporte

A finalidade desta camada é fazer a transferência de dados entre duas máquinas, independentemente da aplicação usada e do tipo, topologia ou configuração das redes físicas existentes entre elas [5].

A camada de transporte faz a ponte entre as camadas de aplicação e as camadas físicas. As camadas de nível aplicacional enviam os dados contidos nos pacotes para as aplicações de destino, e as camadas de nível físico encarregam-se da forma como os dados serão transmitidos pela rede [5].

A transferência de dados nesta camada pode ser realizada por meio de conexões. Os protocolos desta camada podem ou não oferecer confiabilidade, garantia de entrega,

controle de fluxo, entre outros [5]. Embora existam vários protocolos da camada de transporte, os dois protocolos mais utilizados desta camada são o *User Datagram Protocol* (UDP) e o *Transmission Control Protocol* (TCP). Normalmente o protocolo da camada transporte mais utilizado é o UDP. Esta opção deve-se a uma dimensão mais reduzida dos pacotes, comparativamente com o protocolo TCP.

2.4 Tecnologias e Protocolos de Comunicação de RSSFs para Agricultura de Precisão

Existe uma variedade de tecnologias e protocolos de comunicação dos quais abordei e escolhi os mais utilizados na agricultura de precisão, a Figura 2.2 representa a classificação das redes segundo as suas respetivas distâncias.

Dentro das tecnologias de comunicação de baixo consumo energético, podemos de uma forma geral fazer uma separação dentro de duas categorias:

Redes de curto alcance e de baixa potência- As redes de baixa potência e alcance curto são ideais para residências, escritórios e outros ambientes pequenos. Geralmente, precisam apenas de pequenas baterias e o seu funcionamento é económico.

Redes alargadas de baixa potência (LPWAN)- Os LPWANs permitem a comunicação num mínimo de 500 metros, requerem energia mínima e são utilizadas na maioria dos dispositivos IoT [31].

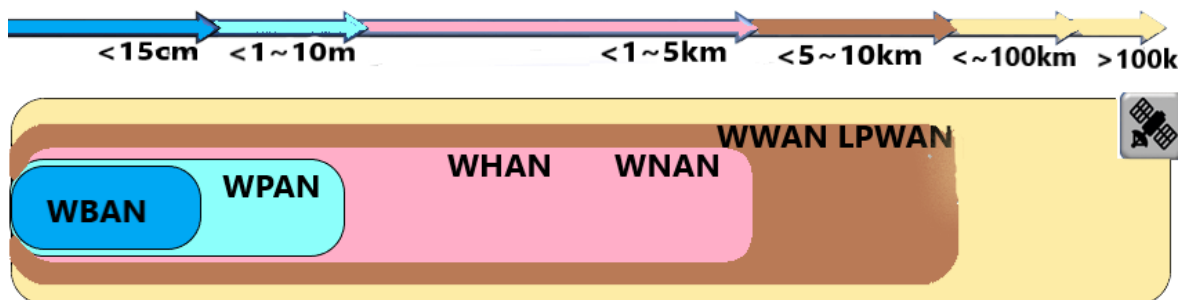


Figura 2.2 – Classificação das redes segundo a distância [17].

2.4.1 IEEE 802.15.4

A IEEE 802.15.4 é uma norma criada, pelo grupo de trabalho IEEE 802.15 do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Foi desenvolvida para sistemas de comunicações de baixo custo, em redes de curta distância (entre 10 e 100 metros) e infraestrutura reduzida, tendo como principal objetivo a redução do consumo de energia [18].

O IEEE 802.15.4 é um padrão que especifica a camada física e a camada de ligação (MAC) em redes do tipo de área pessoal sem fios (*low-rate wireless personal area networks*). O IEEE 802.15.4 trabalha nas bandas de frequências *Industrial, Scientific and medicine* (ISM), que são gamas abertas e que não necessitam de licenciamento. Na Europa, na gama de frequências 868 MHz, só existe um canal de comunicação e a taxa de transmissão de dados pode chegar aos 20 kb/s. Bandas de 915 MHz variando de 902 a 928 MHz na América do Norte, permitindo até dez canais; e banda de 2,4 GHz entre 2400 e 2483,5 MHz, que é usada mundialmente com dezasseis canais disponíveis [19] [31].

2.4.2 ZigBee

O *Zonal Intercommunication Global-standard* (ZigBee) é um dos protocolos mais utilizado em ambientes industriais do que residenciais. É baseado na norma IEEE 802.15.4, que é basicamente um padrão para redes sem fios industriais na faixa de 2.4 GHz. O alcance vai de 10 a 100 metros. A taxa de transmissão alcança um máximo de 250 kb/s. O protocolo é mantido pela Zigbee Alliance [20].

O ZigBee possui, basicamente, dois modos de operação: *beaconing* e o *non-beaconing*. Estes modos contribuem para o baixo consumo de energia no protocolo [21].

- *Beaconing* é um modo em que os roteadores enviam periodicamente *beacon frames*, mensagens sinalizadoras que confirmam sua presença na rede. Assim, os eles podem ficar inativos durante o intervalo entre o envio de mensagens, poupando energia [21].
- *Non-Beaconing* é o modo em que não são utilizados os *beacon frames*. Sem os *beacon frames*, os dispositivos ficam ativos em tempo integral, o que aumenta o consumo de energia [21].

A camada de rede na rede ZigBee fornece funcionalidade ao encaminhamento e estabelece a topologia da rede (estrela, malha ou árvore de *cluster*) [20].

2.4.3 Bluetooth

O Bluetooth (BT) é um protocolo de rede sem fios, projetado para comunicação em curtas distâncias. Ele foi criado para substituir a comunicação com fios entre computadores ,smartphones, teclados e mouses. O padrão Bluetooth é desenvolvido e administrado pelo Bluetooth *Special Interest Group* (SIG), que coordena a compatibilidade entre os fabricantes [22].

Este tem sido empregue para satisfazer os requisitos agrícolas multiníveis como: Informações meteorológicas, humidade do solo, posição do regador e temperatura são monitorados remotamente usando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e tecnologias BT [6] [22].

2.4.4 Wi-Fi

O protocolo *Wireless Fidelity* (WiFi) é atualmente a tecnologia sem fio mais utilizada disponível em dispositivos portáteis, incluindo *tablets*, *smartphones*, *laptops* e *desktops*. O WiFi tem uma distância de comunicação adequada de cerca de 50 a 100 metros em ambientes internos e externos, respetivamente. O WiFi estende diversas arquiteturas, conectando vários tipos de dispositivos por meio de uma rede ad hoc [23].

Este protocolo não é preferível para aplicações agrícolas, apesar do fato de que um servidor WiFi evita a perda de dados por meio da adoção de técnicas de redundância de dados [9].

2.4.5 Protocolo de Rádio de Longo Alcance

O rádio de longo alcance LoRa (*Long Range*) é um protocolo de comunicação sem fios para redes de longa distância ou área alargada, de baixa potência e de baixa largura de banda (LPWAN) onde os dispositivos comunicam diretamente com os *gateways* [9].

É atualmente considerada uma das tecnologias mais adaptadas para IoT, essencialmente devido ao baixo custo dos equipamentos e dispositivos, ao baixo consumo de energia e devido ao seu modelo de negócio [6]. O LoRa oferece uma solução bidirecional que combina WiFi máquina a máquina (M2M) ou tecnologias celulares, apresenta um método económico para conectar baterias ou dispositivos móveis à rede ou a dispositivos finais [24]. É uma tecnologia de comunicação sem fios para redes de longa distância / área alargada, baixa potência e de baixa largura de banda (LPWAN) [6] [31].

2.4.6 SigFox

SigFox é uma rede celular sem fio de banda ultra estreita com aplicações de baixa taxa de dados, tornando esta tecnologia apropriada para IoT e sistemas de comunicação do tipo máquina [6] [23].

SigFox – É uma alternativa intermedia entre o WiFi e as redes de longo alcance, como as redes móveis (3G, 4G, etc.). A banda utilizada é a *Industrial Scientific and Medical band* (ISM) [22].

Segundo os autores de [32], a tecnologia base do SigFox é chamada de *Ultra Narrowband* (UNB) e foi projetada apenas para níveis de transferência entre 10 b/s e 1 kb/s, o seu alcance vai até 50 km.

2.4.7 Tecnologia 5G

A tecnologia 5G permite a conexão entre máquinas em tempo real e ainda administrar de maneira eficiente, promovendo tomadas de decisões precisas, redução de custos operacionais, segurança de dados e eficiência em todo o processo produtivo.

De acordo com o artigo [25] existem três designações gerais de serviços 5G, descritas aqui com algumas das tecnologias sem fio avançadas:

- **Banda larga móvel aprimorada (eMBB):** O eMBB geralmente refere-se à utilização de casos relacionados com a atividade da Internet baseada no homem que já são comuns em redes 4G. Incorpora práticas como *streaming* de vídeo, descarregamento de ficheiros, navegação na web, realização de chamadas vídeo. As tecnologias que farão isso acontecer incluem Gigabit LTE, *massive Multiple Input and Multiple Output* (mMIMO), tecnologias *millimeter Wave* (mmWave), técnicas de partilha de espectro e codificação de canal avançada [33].
- **Comunicações ultraconfiáveis e de baixa latência (uRLLC) ou controle de missão crítica:** A realização de comunicações de baixa latência ultraconfiáveis (uRLLC) representa um dos principais desafios que as redes 5G enfrentam, visando a latência de milissegundos [16] [33].
- **Massive Machine Type Communications (mMTC) ou Massive IoT:** As comunicações maciças do tipo máquina, na tradução livre de *massive machine type communications* (mMTC), é um dos tipos chave de serviço nos sistemas de comunicação de quinta geração 5G [5] [33].

2.4.8 NB-IoT

Narrowband IoT (NB-IoT) é uma tecnologia de comunicação sem fios, padronizada pelo Projeto de Parceria de 3ª Geração (3GPP), desenvolvida especificamente para

comunicações máquina em grande quantidade *Massive Machine-Type Communications* (mMTC) [26].

A IoT de banda estreita (NB-IoT), é uma tecnologia LPWAN que funciona praticamente em qualquer lugar, conectando dispositivos de maneira mais simples e eficiente em redes móveis já estabelecidas e lida com pequenas quantidades de dados bidirecionais pouco frequentes, com segurança e confiabilidade [32].

E a melhor característica é o facto de fornecer consumo de energia reduzido, excelente faixa estendida em edifícios e subterrâneos, implantação fácil na arquitetura de rede celular existente, segurança e confiabilidade da rede, assim como menor custo de componentes [16].

2.5 Comparação dos Parâmetros das Tecnologias

A comparação e discussão dos protocolos e tecnologias em vários fatores como frequência de comunicação, alcance, consumo de energia, custo, dados e outros fatores foram considerados na Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Parâmetros das tecnologias [6].

Parâmetros	ZigBee/IEEE 802.15.4	BT	WiFi	LoRa	SigFox	5G	NB-IoT
Faixa de frequência	868/915 MHz e 2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	869/915 MHz	869/915 MHz	600 MHz-6 GHz	800 MHz a 1,8 GHz
Topologias de rede	P2P, estrela, árvore, malha	estrela	P2P	estrela	estrela	—	P2P, estrela, árvore, malha
Largura de banda do canal	2 MHz	1 MHz	22 MHz	500 kHz	100 Hz	400 MHz	200 kHz
Faixa de comunicação	100 m	10 m	100 m	5 km	10 km	—	10 km
custo	baixo	baixo	alto	baixo	baixo	alto	médio

Em relação ao alcance as ZigBee/IEEE 802.15.4 geralmente têm um alcance de até 100 metros em ambientes internos, dependendo da potência e interferência; a LoRa pode atingir distâncias de vários quilômetros em ambientes urbanos e até dezenas de quilômetros em áreas rurais; a NB-IoT oferece um alcance moderado, geralmente entre ZigBee e LoRa; as redes 5G fornecem um alcance limitado, semelhante ao 4G, inadequado para comunicações de longa distância sem repetidores; a SigFox tem o

alcance semelhante ao LoRa, pode cobrir longas distâncias, mas com menor flexibilidade de taxa de transferência.

Segundo o artigo [6] os protocolos ZigBee e Bluetooth são feitos para dispositivos alimentados por bateria, permitem a conservação de energia através de ciclos de baixa atividade e entram em modo de suspensão para prolongar a vida útil da bateria. Já as tecnologias WiFi, LoRa e SigFox têm o consumo de energia maior que o ZigBee. Embora o ZigBee tenha um alcance de comunicação menor que o LoRa, SigFox, esse alcance pode ser expandido com um nó roteador para superar as limitações de implantação do nó em aplicações agrícolas.

As tecnologias NB-IoT são concebidas para obter o baixo consumo de energia, que permite uma vida útil prolongada da bateria; e nas 5G o consumo de energia é mais alto em comparação com as tecnologias mencionadas acima, devido ao seu foco em altas velocidades de dados.

O protocolo LoRa consegue cobrir uma grande área de comunicação com baixo consumo de energia. Portanto, pode ser adequadamente implantado em várias áreas agrícolas. O tamanho da rede do protocolo LoRa é limitado pelo seu ciclo de trabalho, onde um ciclo de trabalho de 1% pode levar a um tempo máximo de comunicação de 36 s por hora para cada dispositivo final [6].

A NB-IoT Oferece largura de banda maior e uma taxa de transferência de dados relativamente baixa em comparação com 5G, e é adequada para aplicações de IoT. 5G Oferece largura de banda significativamente maior e taxas de transferência de dados muito mais rápidas, tornando-o adequado para uma ampla variedade de aplicativos.

Quanto ao custo, as tecnologias ZigBee LoRa, SigFox, Bluetooth são tecnologias de custo baixo, já a NB-IoT tem um custo médio, mas pode envolver custos mais elevados devido à necessidade de conectividade com operadoras de telefonia móvel. A rede 5G é uma tecnologia mais cara, tanto em termos de infraestrutura quanto de custos operacionais [6].

Contudo as tecnologias de baixo e medio custo, podem aumentar com o tempo, dependendo da escala.

Cada uma destas tecnologias têm suas desvantagens e vantagens, e a seleção deve ser baseada nas características críticas para o sucesso do seu projeto. A escolha entre essas tecnologias depende das necessidades específicas da aplicação, como alcance, consumo de energia, largura de banda e latência.

Tabela 2– Camadas protocolares das tecnologias segundo o modelo TCP/IP

Camadas	IEEE 802.15.4	ZigBee	LoRa	NB- IoT	WIFI	SigFox	BT	5G
Aplicação	COAP, MQTT	-	COAP	COAP	HTTP	SigFox	BT	Aplicações
Transporte	UDP, TCP	TCP, UDP	TCP, UDP	TCP, UDP	TCP	-	LLC, RFCOM, ATT, GATT	TCP, UDP
Rede	IPV6	IPV6	LoRaWAN	IP	IP	-	LLC, RFCOM, TCS	IP
Acesso a rede	MAC IEEE 802.15.4	6LowPAN	LoRaWAN	3GPP LTE mobile	WiFi	SigFox	LLC, RFCOM, TCS	5G NR

No que diz respeito às camadas protocolares das tecnologias de comunicação, como representa a Tabela 2, segundo o modelo TCP/IP, nota-se na tabela que elas apresentam arquiteturas muito diferentes uma das outras.

2.6 Sumário e Conclusões

Neste capítulo foi apresentado uma visão geral sobre os vários tipos de protocolos e tecnologias de comunicação de redes de sensores sem fios para a agricultura de precisão, uma breve visão sobre as RSSFs, as técnicas de redução de energia dos nós, foram abordados vários tipos de técnicas de recolha de energia apropriadas para a agricultura e por fim foi feita uma pequena comparação sobre qual é a tecnologia ou protocolo mais eficiente. Foram abordados os vários tipos de camadas protocolares e suas respectivas funções.

Em conclusão, as tecnologias ZigBee/norma IEEE 802.15.4, LoRa e NB-IoT são considerados adequado para aplicações agrícolas devido ao baixo consumo de energia, e custos.

A escolha entre essas tecnologias deve ser cuidadosamente ponderada com base nas necessidades específicas do projeto, considerando alcance, consumo de energia, largura de banda e latência. Cada uma delas possui suas próprias vantagens e desvantagens, e a seleção adequada é crucial para o sucesso da sua aplicação.

Capítulo 3

Sistema de irrigação

O sistema de irrigação moderno tem evoluído significativamente com a integração de tecnologias de comunicação sem fio. Nesse contexto, o uso dos módulos XBEE em conjunto com o *Raspberry Pi* oferece uma solução para a automação e controle remoto de sistemas de irrigação. Através dessa comunicação sem fio eficiente, o *Raspberry Pi* pode transmitir comandos precisos para acionar e regular o sistema de irrigação, permitindo uma gestão mais precisa e conveniente dos recursos hídricos. Essa integração entre dispositivos promove não apenas a eficiência no uso da água, mas também a flexibilidade e adaptabilidade do sistema, proporcionando uma abordagem sustentável e tecnologicamente avançada para a agricultura e o manuseio de áreas verdes.

2.7 Componentes do Sistema de Irrigação

Para alcançar o controle preciso da quantidade e distribuição da água, diversos componentes do sistema de irrigação são utilizados.

Sensor de humidade do solo

Usado para detetar as variações de humidade do solo, quando o solo está seco a saída do sensor fica em estado alto e quando está húmido fica em estado baixo. O sensor de humidade do solo é constituído por: uma sonda condutora que tem o formato de garfo e um módulo eletrónico integrado com LM393 comparador de tensão. A sonda condutora funciona como uma resistência variável (potenciômetro). O módulo eletrónico produz uma tensão de saída de acordo com a resistência obtida e a disponibiliza por meio da sua saída analógica (Ao). O mesmo sinal é enviado para o comparador de tensão LM393 que o digitaliza e o disponibiliza na saída digital (Do).

O limite entre o seco e o húmido pode ser ajustado através do potenciômetro presente que regulará a saída digital Do. Contudo para ter uma resolução melhor é possível utilizar a saída analógica Ao e conectar a um conversor Analógico-Digital (AD) [34].

Pinos

- VCC: 3,3-5 V;
- GND: GND;
- Do: Saída Digital; Ao: Saída analógica;

Especificações

- Tensão da Operação: 3,3-5 V;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- LED indicador para tensão (vermelho) LED indicador para saída digital (verde);
- Dimensões Sonda: 6x2 cm²; Comprimento Cabo: 21 cm [34].

Sensor de Temperatura LM35

Usado para medir a temperatura, contém três pinos, um VCC, GND e um pino de saída analógica. A saída da tensão é proporcional a temperatura [35].

Especificações

- Tensão da Operação: 4-30 V;
- Calibrado em graus Celsius;
- Faixa de temperatura: -55 °C à 150 °C;
- Precisão: 0,5 °C [35].

Mini bomba de água elétrica

A mini bomba de água submersível considerada e pode ser utilizada na horizontal no fundo de um reservatório para circulação de água. A faixa de tensão de funcionamento de 3V-6V. É uma bomba pequena e leve, alta eficiência, baixo consumo e baixo ruído; é muito utilizada: em limpeza, casas de banho, aquecimento, irrigação, etc.

Especificações

- Capacidade de descarga de água sem carga: 1,2-1,6 L/min;
- Carga corrente nominal: 0,18 A;
- Ruído: 40 dB MAX (ruído de fundo 35 dB)[36].



Figura 2.3 – Minibomba de água.

Relé

O módulo de relé HW-482 funciona com uma tensão de 5 V, há um contato normalmente aberto e normalmente fechado. O pino de controle tem um circuito *pull-down* para evitar a operação falsa do relé flutuante [37].

Especificações

- Tensão de alimentação 3,75 a 6 V;
- Corrente: 2 mA;
- Corrente quando o relé está ativo: ~70 mA;
- Tensão máxima de contato do relé: 250 V AC ou 30 V DC;
- Corrente máxima do relé: 10 A.



Figura 2.4– Relé

Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um sistema com Soc, um minicomputador, que contém, num hardware de baixo custo, todas as funções que estamos habituados a ver num computador.

O modelo utilizado é o **Raspberry Pi 4 modelo B**, tem WiFi e Bluetooth integrados, que disponibilizam boa conectividade com o que o leitor necessitar, inclui um processador *Quad Core* de 1,5 GHz e entre 2 e 6 GB de memória RAM.

Especificações

- Contem quatro portas USB, das quais duas USB3.0 para a ligação de dispositivo USB;
- Uma porta Gigabit Ethernet/LAN para ligação física à rede;
- Duas portas HDMI;
- Uma porta áudio e vídeo de 3,5 mm;
- Uma porta USB-C para alimentação;
- Um conector de 40 pinos designado GPIO;
- Contém um *slot* para inclusão de um cartão Micro SD;

- Conectividade: LAN sem fio opcional, sem fio IEEE 802.11b/g/n/ac de 2,4 GHz e 5,0 GHz, Bluetooth 5.0, BLE com opções de antena interna e externa [38].

Arduíno Uno

O Arduíno Uno é uma placa de desenvolvimento de código aberto baseada no microcontrolador ATmega328P da Atmel.

Especificações

- Tensão de Operação: 5 V; Tensão de Alimentação: 7-12 V;
- Pinos de E/S Digitais: 14 (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM e 2 de comunicação serial);
- Pinos de Alimentação: 5 V Tensão de alimentação; 3,3 V Tensão de saída; GND Terra;
- Pinos de Entrada Analógica: 6;
- Memória Flash: 32 kB; SRAM: 2 kB; EEPROM: 1 kB;
- Velocidade do *Clock*: 16 MHz;
- Interfaces de Comunicação: UART, SPI, I2C;
- Outros Pinos: AREF- Tensão de referência analógica externa; *RESET*- Pino de *reset* [39].

Módulos ZigBee (XBEE-PRO S1)

XBEE-PRO S1 são módulos de radio frequência (RF), produzidos pela *Digi International Inc.* Estes foram projetados para atender a norma IEEE 802.15.4, e suportar as necessidades exclusivas de redes de sensores sem fio de baixo custo e baixa potência [40].

Este dispositivo requer energia mínima e fornece entrega confiável de dados entre dispositivos, operam dentro da banda de frequência ISM 2,4 GHz e são compatíveis pino a pino entre si.

A configuração do módulo XBEE-PRO S1 pode ser feita utilizando o software gratuito da Digi de multiplataforma, projetado para permitir que os desenvolvedores interajam com os módulos Digi RF por meio de uma interface gráfica (XCTU) ou por meio de comandos AT enquanto estão conectados via receptor e transmissor. O modo AT é chamado de modo Transparente, neste modo qualquer dado que for enviado para o módulo XBEE-PRO S1 a partir do microcontrolador, são imediatamente enviados para o módulo identificado pelo Endereço de Destino salvo na memória do rádio. XBEE-PRO S1 são versões de

potência amplificada dos módulos XBEE para aplicações de alcance estendido. Contém 6 pinos de entrada ADC de 10 bits; antena embutida e criptografia de 128 bits [27][40].

Os módulos XBEE-PRO S1 operam em 5 modos diferentes: modo inativo, quando não recebe ou transmite dados; Modo de transmissão, quando dados seriais são recebidos no buffer DI; Modo de recepção quando os dados de RF válidos são recebidos através da antena; Modo de suspensão; Modo de comando [40].

Tabela 3– Nível de potência de emissão XBEE-PRO [40]

Parâmetro	Potência Tx (dBm)
0	-3
1	-3
2	2
3	8
4	10

Como apresenta a Tabela 3, os níveis de potência de transmissão dos módulos XBEE-PRO S1, dividem-se em 5 níveis, dos quais o zero é considerado o nível mais baixo e o 4 considerado o nível mais alto de transmissão de potência.

Neste modo, existem duas classes de dispositivos lógicos (Coordenador e dispositivo final) [28][40]. A Tabela 4 apresenta as especificações técnicas do módulo XBEE-PRO S1.

Tabela 4 – Especificações técnicas XBEE-PRO S1

Módulo	XBEE-PRO S1
Protocolo	IEEE 802.15.4
Frequência	2.48 GHz
Largura do Canal	2 MHz
Alcance	90-1500 m
Topologia	ponto-a-ponto
Taxa máxima de dados	250 kb/s
Sensibilidade	-100 dBm
Corrente	215 mA
Tensão	3,3 V
Nível de Potência	10 dBm

2.8 Desenvolvimento do Projeto

A estrutura do projeto de sistema de rega realizou-se tendo em conta os objetivos do projeto que também foram amadurecidas ideias à medida que fui escolhendo os componentes e analisando as tecnologias existentes.

Seguindo os passos de [38], começou-se por montar e configurar o *Raspberry Pi*, para isso usou-se um teclado, um rato e um ecrã, conexão Ethernet, cartão micro SD, deu-se início a instalação do *Raspberry Pi OS* que foi um processo simples e rápido onde o leitor responde um conjunto de questões básicas; por predefinição, as credenciais de acesso do *Raspberry Pi OS* são:

- Utilizador: pi;
- Password: raspberry.

Para alterar a password usa-se o comando `sudo passwd pi`; para saber o endereço IP que nos permite trabalhar no raspberry remotamente usa-se o comando `sudo ip addr show`; existem duas maneiras de fixar o endereço IP:

- 1- Não usar DHCP, este geralmente é dinâmico.
- 2- Fixar o IP no *router*, conhecido por IP estático; usado o comando `sudo nano /etc/network/interfaces` é aberto um ficheiro em edição que precisa-se substituir de acordo o IP desejado.

Se for o DHCP usa-se `iface eth0 inet dhcp` e se for o estático usa-se `iface eth0 inet static, address IP, netmask, gateway`; também pode-se usar a alternativa de acesso via WiFi, usando `iface wlan0 inet static, wpa-ssid "nome da rede", wpa-psk "password"`.

Após a configuração da rede podemos usar remotamente o Raspberry usando o PUTTY e VNC *viewer* através da conexão por SSH.

Para iniciar sessão ao PUTTY deve-se introduzir o endereço IP, número do Porto, e seleccionar o tipo de conexão, como observa-se na Figura 3. E no VNC precisa-se apenas do endereço de IP.

Alguns comandos usados para instalar o servidor VNC no Raspberry Pi: `sudo apt-get install tightvncserver` e depois executar: `/usr/bin/tightvncserver`.

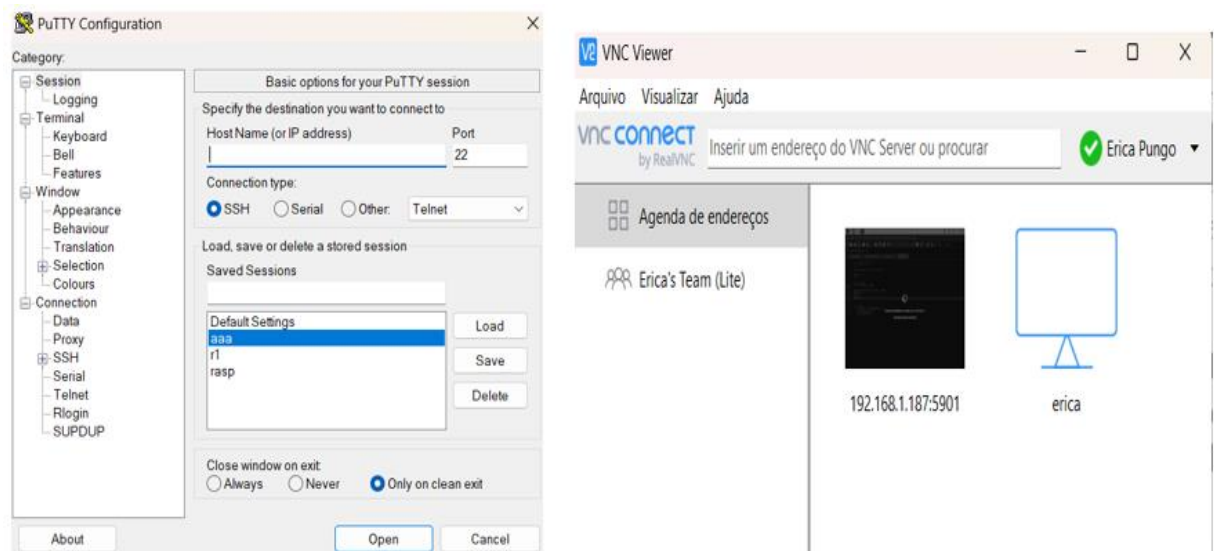


Figura 3 – Acesso remoto usando o PUTTY e o VNC.

Estando o *Raspberry Pi* configurado, fica assim tudo pronto para começar a montagem do sistema de irrigação, iniciando por:

Montagem no Arduíno – A montagem no Arduíno envolve os seguintes passos:

- 1- Reunir o Arduíno, o sensor de humidade do solo e temperatura, cabos *jumper*.
- 2- Conexão: o pino VCC do sensor de humidade ao 5 V no Arduíno, GND ao GND e Ao a uma porta analógica, como A0; defini o pino 7 do Arduíno como um pino de 5V e conectei ao VCC do sensor de temperatura, GND ao GND, e o Pino de saída analógica conectei ao A1 do Arduíno.
- 3- Código: No Arduíno IDE, criei um sketch e defini os pinos como entradas analógicas usando *analogRead()*.
- 4- Leitura analógica: Usei *analogRead* (A0 e A1) para ler os valores de humidade do solo e temperatura do solo nas portas A0 e A1 do Arduíno.
- 5- Saída de dados: Use *Serial.print()* para exibir as leituras no Monitor Serial para depuração.
- 6- Conversão dos valores brutos dos sensores em valores de humidade e temperatura compreensíveis.
- 7- Definir limites: Estabeleceram-se limites para determinar quando regar ou não com base nas leituras, se o valor da leitura da humidade for <50% e a temperatura entre 4 a 25 °C informa que o solo necessita de água.

Apresenta-se o código completo no Apêndice A; todas estas informações são enviadas através da comunicação serial para o *Raspberry Pi*.

Observações: Neste contexto o Arduíno serviu apenas como um conversor intermediário, entre os sensores de humidade, temperatura e o *Raspberry Pi*, como podemos observar na Figura 3.1. Essa abordagem permite que o Arduíno lide apenas com a leitura analógica do sensor, enquanto o *Raspberry Pi* se concentra no processamento, armazenamento e na comunicação com serviços externos ou a exibição dos dados.

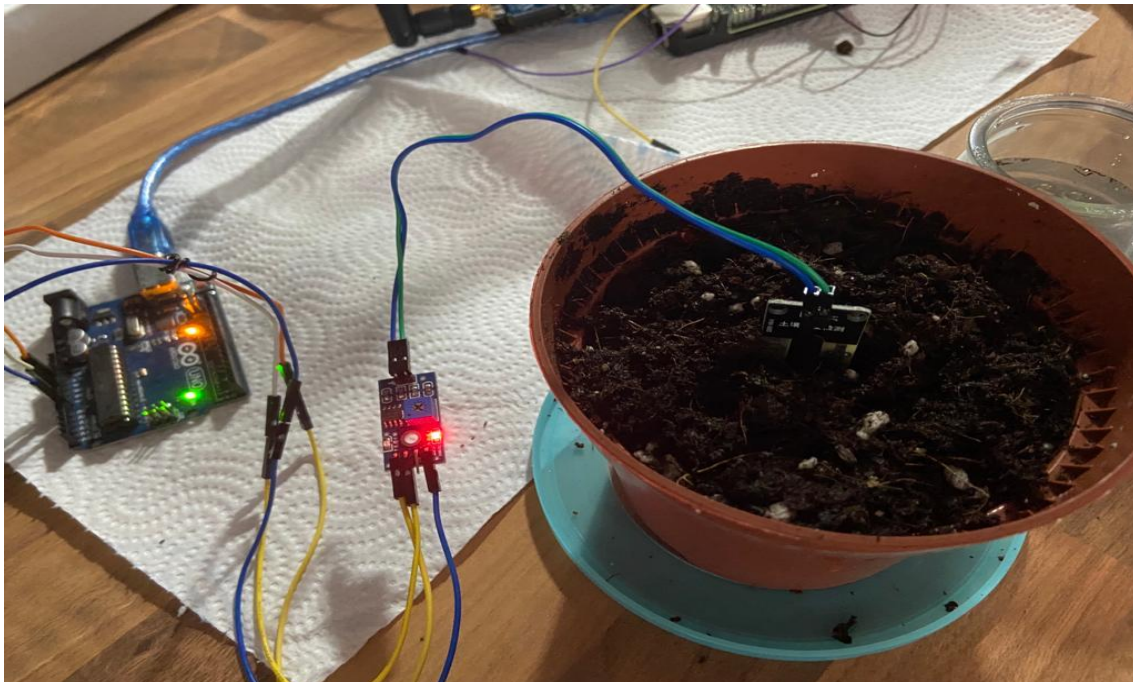


Figura 3.1 – Montagem do sensor de humidade no Arduíno.

Montagem *Raspberry Pi* – A montagem com o *Raspberry Pi* envolve os seguintes passos:

- 1- Conexão: o pino VCC do relé ao 5 V do *Raspberry*, GND ao GND, e IN ao pino 12 (PWM). O relé foi ligado em modo normalmente aberto, este tem responsabilidade de acionar a minibomba de Água submersível, a alimentação nominal é de 6 V, foi necessário incluir uma fonte de alimentação compatível para fornecer sua capacidade básica de funcionamento.
- 2- Configuração da Comunicação Serial: configurei a leitura dos dados do Arduíno através da porta serial USB. `comunicacaoSerial = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)`; configura uma comunicação serial com o dispositivo conectado à porta `/dev/ttyACM0` a uma taxa de transmissão de 9600 b/s.
- 3- Instalação de Dependências: no terminal instalei as bibliotecas necessárias no *Raspberry Pi* para comunicação serial `pip install pyserial` e controle dos pinos

GPIO. import serial: Importa a biblioteca serial, que é usada para comunicação serial. import time: Importa a biblioteca time, que permite a manipulação de tempo; import RPi.GPIO as GPIO: Importa a biblioteca RPi.GPIO que é usada para controlar os pinos GPIO na *Raspberry Pi*.

- 4- Criei um Script em *Python* para ler os dados recebidos pela porta serial e interpretá-los.
- 5- Controle do Relé: inicialmente em nível baixo, é colocado em nível alto se o valor recebido for de humidade < 50% e a temperatura entre 4 a 25 °C e se não for esta condição, o relé mantém no estado baixo.

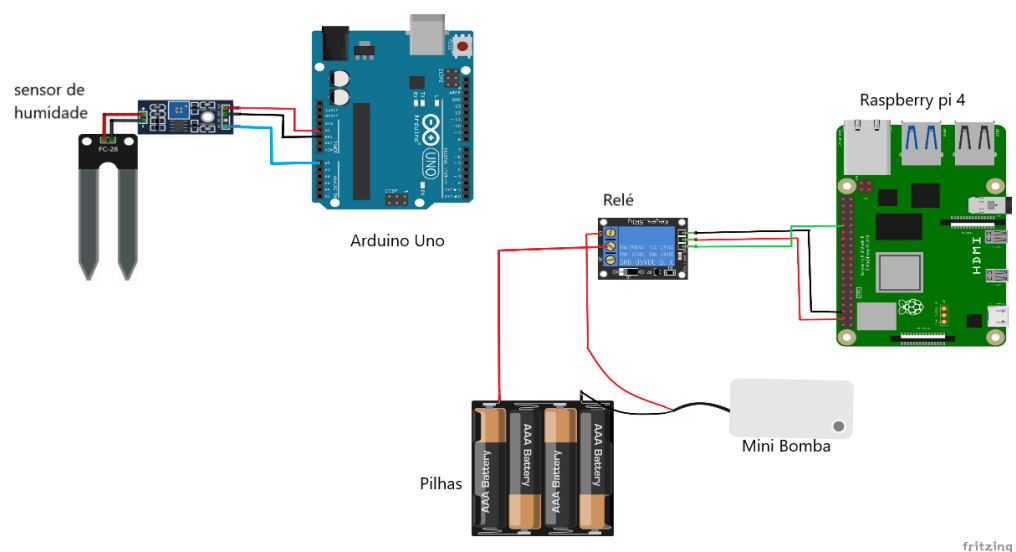


Figura 3.2 – Esquema do sistema de rega.

As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam o esquema do sistema de rega desenvolvido.

2.9 Comunicação entre os Nós XBEE-PRO S1

A comunicação sem fio proporciona flexibilidade e mobilidade, permitindo assim a troca de dados entre dispositivos em áreas remotas ou de difícil acesso. Os módulos XBEE-PRO S1, baseados na norma IEEE 802.15.4, oferecem uma plataforma confiável para a criação de redes sem fio de baixo consumo energético e alta escalabilidade [29].

No âmbito deste projeto, a escolha de utilizar o Raspberry Pi como plataforma central se justifica pela sua versatilidade e poder de processamento. A interconexão entre o *Raspberry Pi* e os módulos XBEE-PRO S1 é realizada por meio das portas seriais disponíveis no dispositivo.



Figura 3.3 – Protótipo do sistema de rega.

Através da biblioteca *Python "serial"*, é possível estabelecer uma comunicação bidirecional confiável, permitindo o envio e recebimento de dados entre os nós da rede. Os módulos XBEE-PRO S1 oferecem dois modos de operação: Modo transparente (AT) modo de interface de programação de aplicativos (API). No modo AT, quaisquer dados, que são enviados para o XBEE-PRO S1 a partir do microcontrolador, são imediatamente enviados para o módulo identificado pelo endereço de destino salvo na memória do rádio e o modo API exige que a comunicação seja gerenciada por meio de *frames* estruturados, chamados de API *frames* [18].

A configuração para comunicação dos módulos XBEE-PRO S1 começou-se com a conexão dos módulos ao computador usando um adaptador USB da Libelliun, o software XCTU deteta automaticamente os módulos XBEE-PRO S1 conectados.

Selecionei a família XBP24; conjunto de funções XBEE-PRO 802.15.4, e a versão de *firmware* 10ee; Aqui estão alguns dos passos comuns para configurar os módulos XBEE-PRO S1 no modo AT: Deve-se garantir que os módulos tenham o mesmo *PAN ID*: 3332, o *destination address High* (DH) e o *destination address Low* (DL) são os números da camada MAC como mostra a Figura 3.4; estes devem trocar-se, o endereço MAC do coordenador deve ser o DH (os primeiros 8 dígitos) e DL (os segundos 8 dígitos)

do nó de dispositivo final, e o endereço MAC do nó de dispositivo final dever ser o DH e DL do nó coordenador.

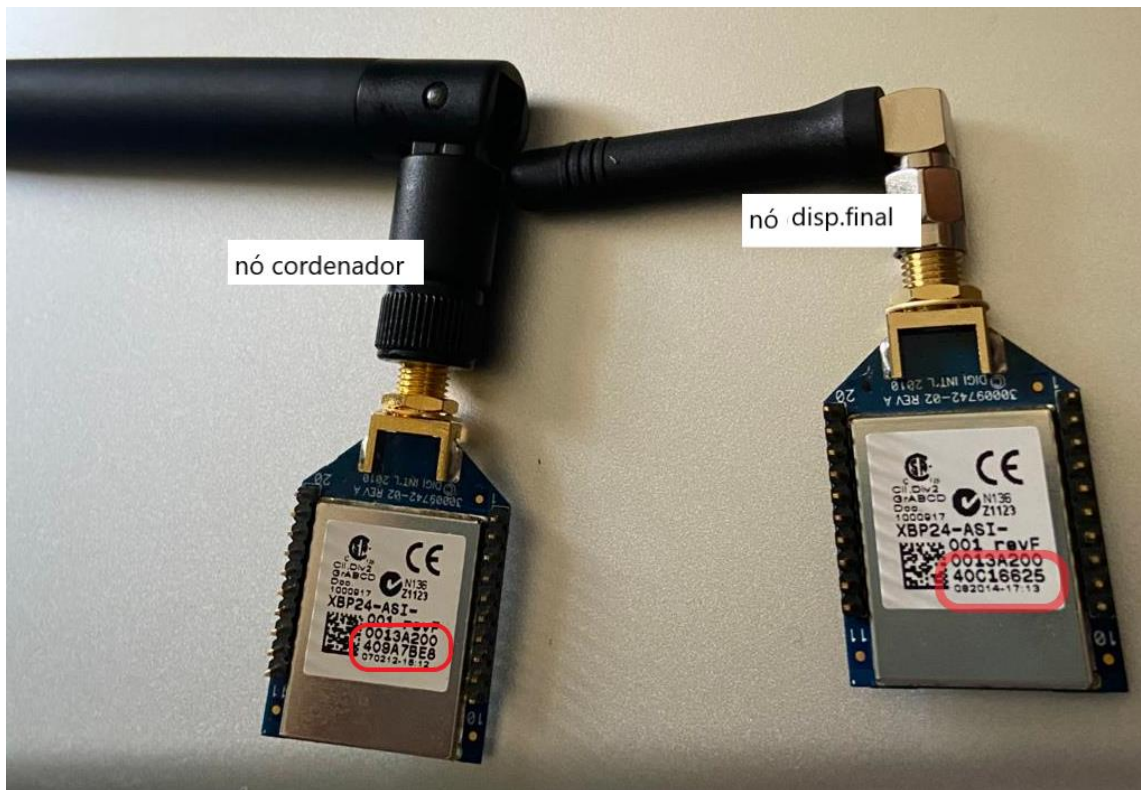


Figura 3.4 – Módulos XBEE-PRO S1.

A Figura 3.5 apresenta a configuração dos módulos no *software* XCTU.

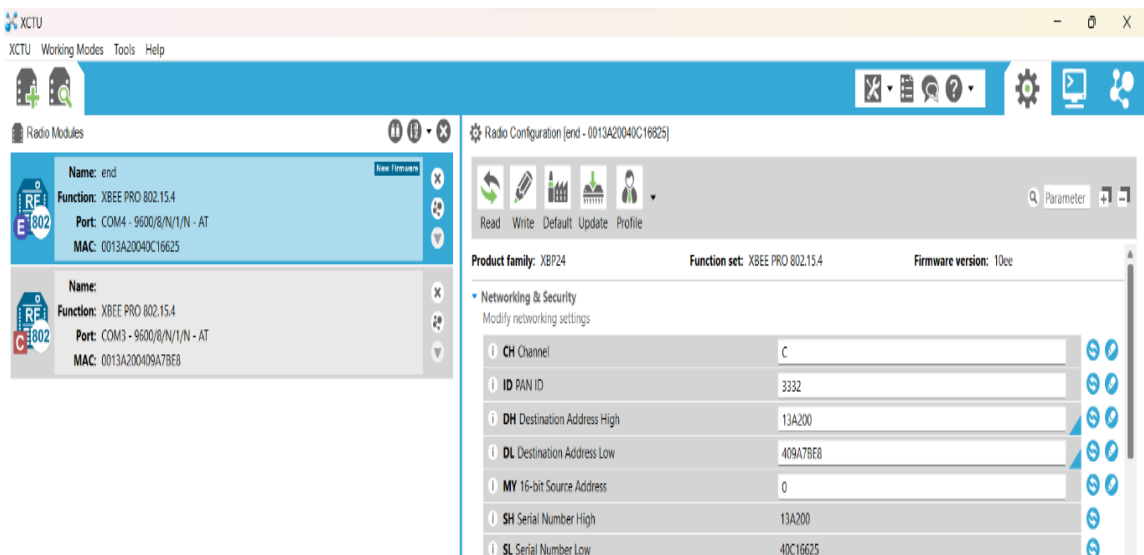


Figura 3.5 – Configuração dos nós no XCTU.

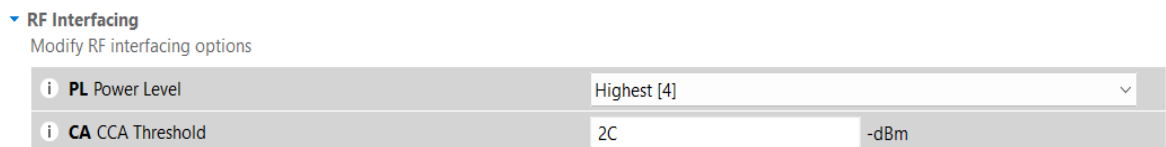


Figura 3.6 – Interface de RF.

Os seguintes comandos AT são comandos de interface Radio Frequência, como apresenta a Figura 3.6.

Nível de potência (PL) - Exibe o nível de potência que o dispositivo transmite energia conduzida, o nível de potência escolhido foi o máximo de 10 dBm que é o limite máximo a ser operado na Europa.

Clear Channel Assessment (CCA) - É utilizado para detetar e definir limites de energia no canal antes de transmitir um pacote. Se o dispositivo detetar energia acima do limite CCA, ele não transmitirá o pacote. O CCA é medido em -dBm.

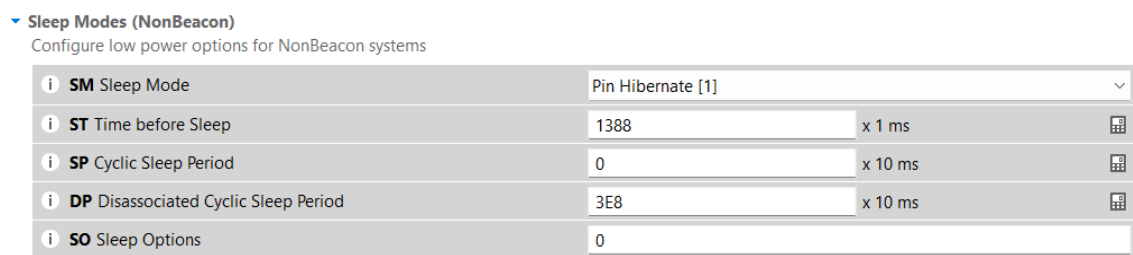


Figura 3.7 – Configuração do modo *Sleep*.

No modo *sleep* ou suspensão é definido o *pin hibernate* que tem menor consumo de energia. O ST define o período de inatividade (nenhum dado serial ou de RF é enviado ou recebido) antes de ativar o modo de suspensão. O parâmetro ST é usado somente com configurações de Sono Cíclico, está definido 1388 ms como padrão, mas não interfere no nosso modo de suspensão, igual aos outros parâmetros.

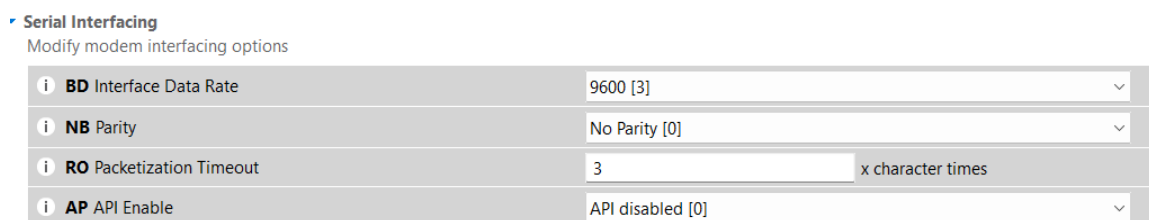


Figura 3.8 – Configuração de interface serial.

A taxa de transmissão da interface serial (BD) para comunicação entre a porta serial do módulo e o *host*; O RO define o número de atraso entre caracteres necessários antes do

início da transmissão; Paridade (NB) configura a paridade para o UART; AP serve para habilitar ou desabilitar o API.

Depois da configuração, a rede está pronta a realizar a comunicação entre os sensores, em que um é nó coordenador e outro é o nó de dispositivo final.

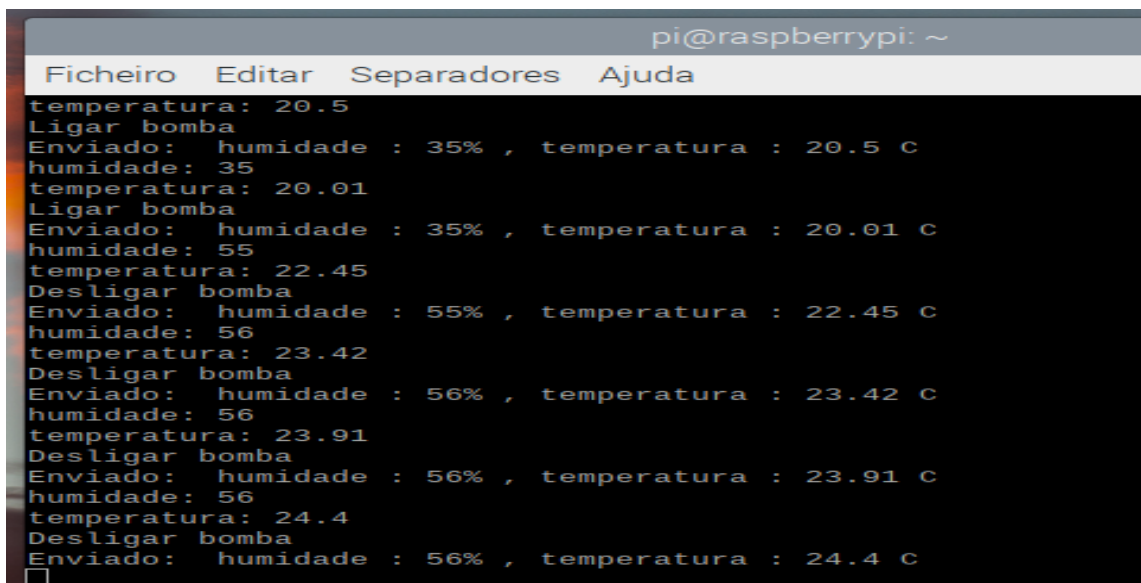
Para que o coordenador envie os valores obtidos pelo script em *Python* para módulo de dispositivo final, usei a comunicação serial para enviar esses valores por meio da porta serial conectada ao módulo XBEE-PRO S1. Aqui estão os passos gerais para seguir: Uma vez já instalado e importado a biblioteca serial através do pip `install pyserial`.

Configurar a Comunicação Serial: Configure a comunicação serial para a porta onde o módulo XBEE está conectado. Isso envolve definir a taxa de transmissão (*baud rate*) e outros parâmetros.

```
ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', baudrate=9600)
```

Enviar Valores: Depois de ter a comunicação serial configurada, usa-se o `ser.write(message.encode())` para enviar dados para o módulo XBEE-PRO S1.

`serial_port.close()` serve para fechar a porta serial. Executou-se o código no para certificar que o módulo coordenador esteja a enviar os dados lidos ao dispositivo final como representam as Figuras 3.8 e 3.9.



```
pi@raspberrypi: ~
Ficheiro  Editar  Separadores  Ajuda
temperatura: 20.5
Ligar bomba
Enviado: humidade : 35% , temperatura : 20.5 C
humidade: 35
temperatura: 20.01
Ligar bomba
Enviado: humidade : 35% , temperatura : 20.01 C
humidade: 55
temperatura: 22.45
Desligar bomba
Enviado: humidade : 55% , temperatura : 22.45 C
humidade: 56
temperatura: 23.42
Desligar bomba
Enviado: humidade : 56% , temperatura : 23.42 C
humidade: 56
temperatura: 23.91
Desligar bomba
Enviado: humidade : 56% , temperatura : 23.91 C
humidade: 56
temperatura: 24.4
Desligar bomba
Enviado: humidade : 56% , temperatura : 24.4 C
```

Figura 3.9 – Exibição do script a correr enviando mensagem do nó coordenador ao dispositivo final.

A Figura 3.10 apresenta os registos das mensagens de humidade e temperatura recebidas pelo nó de dispositivo final em código ASCII e em hexadecimal.

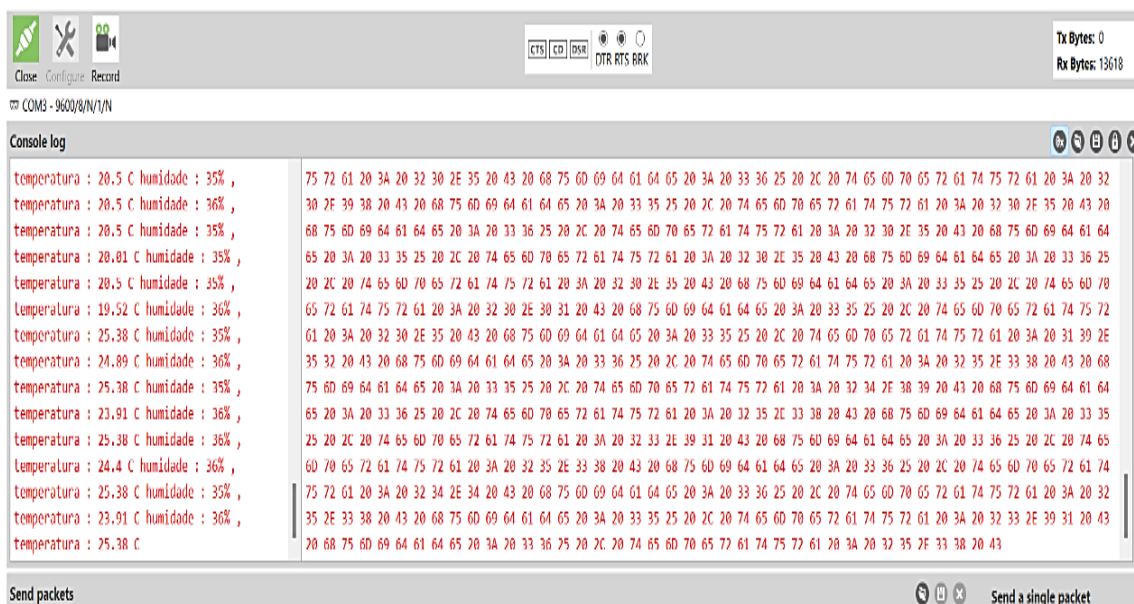


Figura 3.10 – Exibição do nó de dispositivo final a receber mensagens.

2.10 Painel de Interface Gráfica

O painel desempenha o papel de controlo dentro e fora do local que se opera, de acordo a sua regra de implementação ele tem a capacidade controlar os módulos de atuação, e pode fazer o trabalho sem a necessidade de uma intervenção humana diretamente.

No contexto do nosso trabalho, o painel apenas apresenta os valores da humidade e temperatura lidos pelo sensor de humidade do solo e pelo sensor de temperatura. Foi desenvolvida uma interface simples que qualquer utilizador comum consegue compreender a leitura de dados da humidade e temperatura.

Escolheu-se utilizar o *Blynk*, que é uma plataforma gratuita e completa, desenvolvida para protótipo, implementação e gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos em Internet das Coisas (*Internet of Things*), possibilitando o utilizador criar interfaces para controlar e monitorar projetos de *hardware*. A plataforma *Blynk* por ser conhecida por conectar dispositivos via internet e na nuvem, utiliza alguns métodos de segurança como:

- Autenticação – Exige que o utilizador autentique o seu dispositivo e aplicações utilizando um *Token* de autenticação para que só os dispositivos autorizados se conectem a plataforma.
- Comunicação encriptada – Para evitar interações não autorizadas.
- Controlo de acessos – Capacidade de controlar quem pode aceder aos seus projetos.
- Proteção de dados – Políticas de privacidade para protecção de dados dos utilizadores.

Para ter acesso, o utilizador deve criar uma conta na plataforma por meio do portal da Web *Blynk*. Console, pode-se instalar o aplicativo *Blynk.App* (*Blynk IoT*), tornando assim mais prático, podendo o utilizador observar o seu painel a qualquer momento e lugar. Após o cadastro é mostrado a tela de início na Figura 3.11.

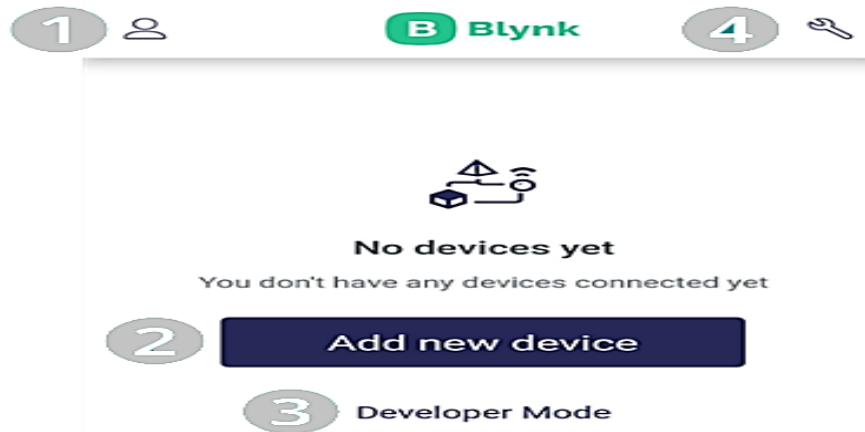


Figura 3.11 – Tela de início do *Blynk*.

Os ícones numerados na Figura são detalhados a seguir:

1. O menu lateral esquerdo abre as opções de configuração do perfil do utilizador.
2. Adicionar Dispositivo: Esta opção habilita o uso do *Blynk.Inject*, que permite a adição de um dispositivo habilitado com WiFi.
3. Modo Desenvolvedor: Esta opção ativa o modo desenvolvedor do *Blynk*.
4. Novo *template*: Esta opção permite que o utilizador desenvolva novos projetos.

Adicionei o meu dispositivo *Raspberry* habilitado com WiFi, seguindo o padrão de configuração, e automaticamente é gerando um código de autenticação denominado *Token* de autenticação, que é um dos métodos de segurança como mostra a Figura 3.12.

<input checked="" type="checkbox"/>	Name	<input checked="" type="checkbox"/>	Auth Token	<input checked="" type="checkbox"/>	Device Owner	<input checked="" type="checkbox"/>	Status
<input checked="" type="checkbox"/>	Blynk com Raspiberrypi	<input checked="" type="checkbox"/>	pMoasIEsBsOvDxPtGROIML9jofsp...	<input checked="" type="checkbox"/>	ericamayra@icloud.com (you)	<input checked="" type="checkbox"/>	Offline

Figura 3.12 – Criação do *template* no *Blynk*.

Após a configuração do dispositivo no *Blynk*, baixei a biblioteca *Blynk* para *Python* usando o comando pip: `pip install blynklib`.

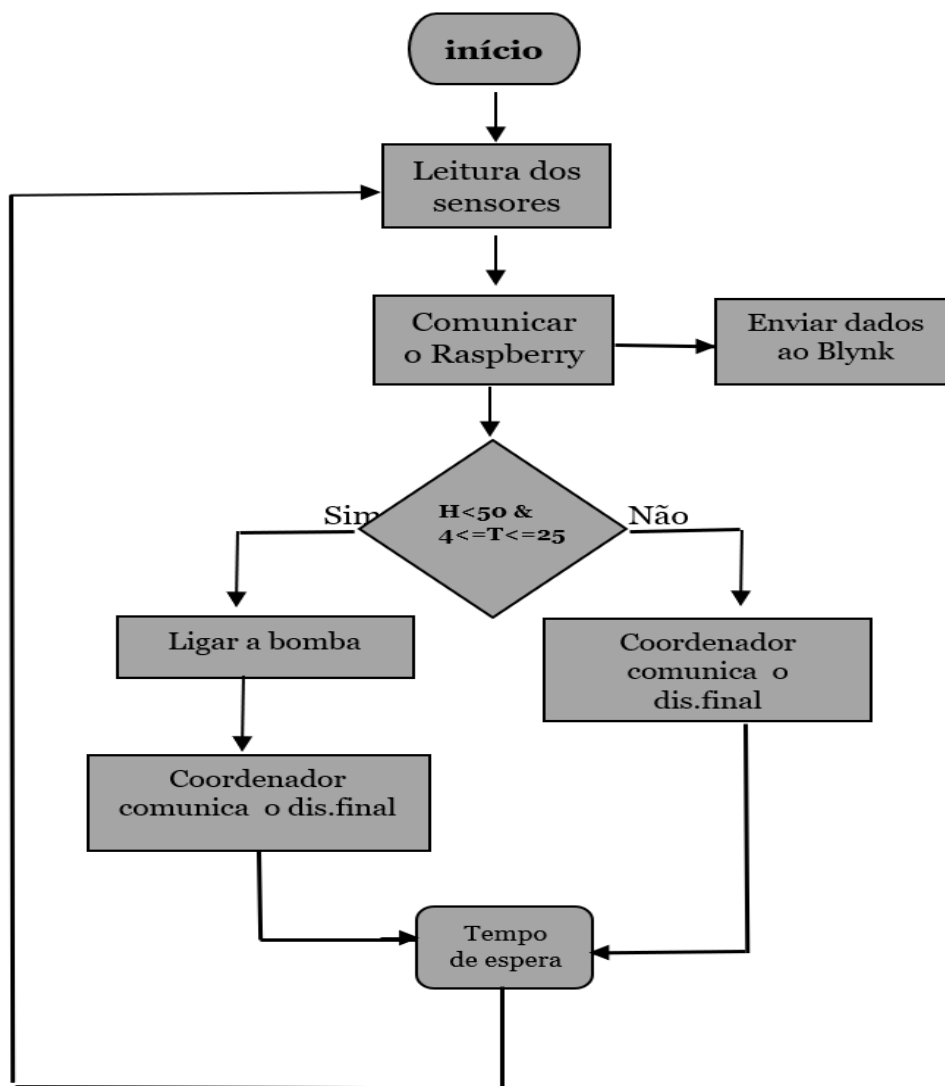


Figura 3.13 – Fluxograma do sistema de rega.

A Figura 3.13 apresenta o fluxograma do sistema, após a leitura dos sensores de humidade e de temperatura, comunica ao *Raspberry Pi* e envia os dados no painel de interface *Blynk*, o *Raspberry Pi* compara os valores segundo aos critérios estabelecidos e mediante aos critérios liga ou desliga a bomba e nó coordenador comunica ao dispositivo final, espera durante um tempo para retomar o ciclo novamente.

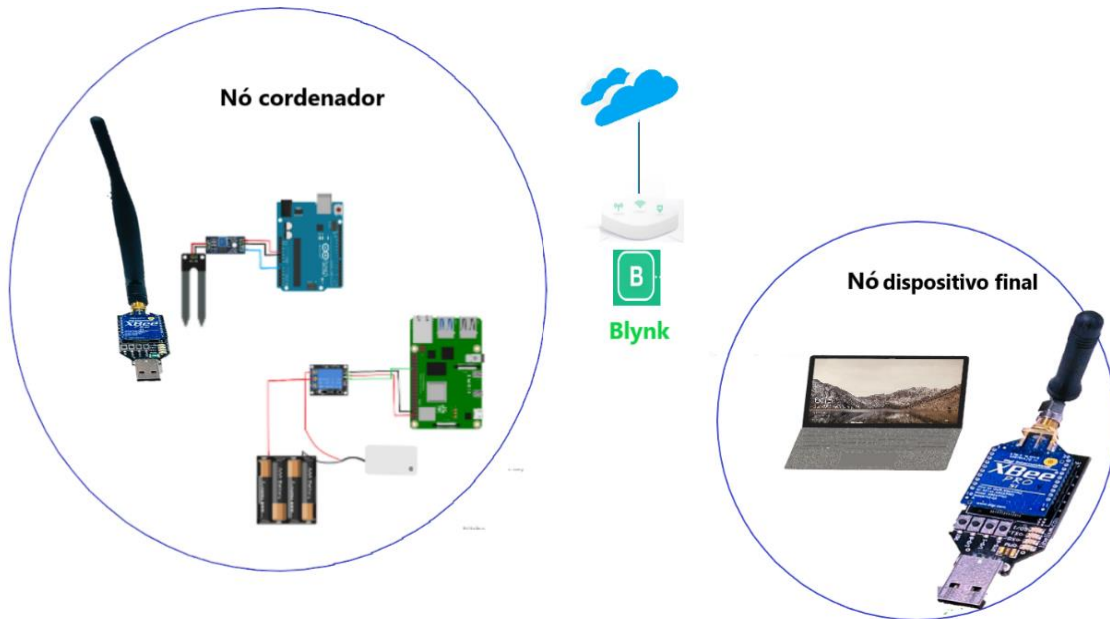


Figura 3.14– Esquema completo do projeto.

Como se pode observar na Figura 3.14, o sistema é composto por dois nós que são módulos conectados ao adaptador da Libelium, um coordenador, que lê as informações vindas dos sensores, por meio do *Raspberry*, passando também dados ao painel que permite-nos observar melhor os dados recebidos; a ligação entre o Arduino e o *Raspberry* foi feita via USB; e um de dispositivo final, que recebe as informações vinda do coordenador. O relé encontra-se no estado normalmente aberto, e a bomba é acompanhada com uma suplementação de 4 pilhas de 1,5 V.

2.11 Consumo de Energia

A Tabela 5 mostra os dispositivos e suas respectivas taxas de consumo de energia (P), bem como o número de horas (t) que cada dispositivo está ligado ou em utilização. Com base nesses números, é possível calcular quantidade total de energia (E) consumida por cada dispositivo ao longo de uma hora.

$$E = P * t \quad (2)$$

O Arduino consome uma quantidade muito pequena de energia, apenas 0,03 W de potência, quando está ligado por uma hora. Isso equivale a consumir uma quantidade ínfima de energia elétrica, apenas 0,03 Wh.

O *Raspberry Pi*, sendo um computador de pleno direito, consome mais energia, correspondendo a cerca de 2,7 W de potência, quando está ligado por uma hora. Isso é como manter uma lâmpada de baixa potência acesa durante uma hora.

Tabela 5 – Consumo de energia.

Dispositivo	Potencia (W)	Tempo(h)	Energia (Wh)
Arduíno	0,03	1	0,03
Raspberry Pi	2,7	1	2,7
Relé	0,005	1	0,005
Sensor H	0,005	1	0,005
XBEE-PRO S1	0,1	1	0,1
Sensor T	$0,09 \cdot 10^{-3}$	1	$0,09 \cdot 10^{-3}$
Mini Bomba	1,08	1	1,08

O relé consome muito pouca energia, apenas 0,005 W, quando ligado por uma hora. Um sensor também consome uma quantidade muito pequena de energia, apenas 0,005 W, quando está em funcionamento por uma hora. É uma quantidade de energia semelhante à do relé.

O módulo XBEE-PRO S1 consome um pouco mais de energia, cerca de 0,1 W, quando está em uso por uma hora. Isso é como manter uma pequena luz LED acesa por uma hora.

O sensor de temperatura foi considerado a uma saída de 1500 mV que corresponde a sua capacidade máxima de temperatura 150 °C. A temperatura de 1 °C corresponde a 10 mV. O consumo total de energia foi 3,92 Wh. Isso é uma quantidade relativamente baixa de energia em comparação com muitos outros dispositivos eletrônicos. É importante considerar esses números ao projetar sistemas eletrônicos, especialmente quando se trata de eficiência energética. Portanto, podemos concluir que o consumo total é baixo, o que é positivo em termos de eficiência energética e custos operacionais, especialmente se esses dispositivos funcionarem por um longo período.

Além da estimativa do consumo de energia no período de uma hora, utilizou-se o Wattímetro para saber o real consumo de energia do sistema, como se apresenta na figura 3.15. O Wattímetro é constituído por uma entrada adaptadora, que permitiu-nos fazer a medição conectando a alimentação do Raspberry a mesma, e desta conecta-se a fonte.

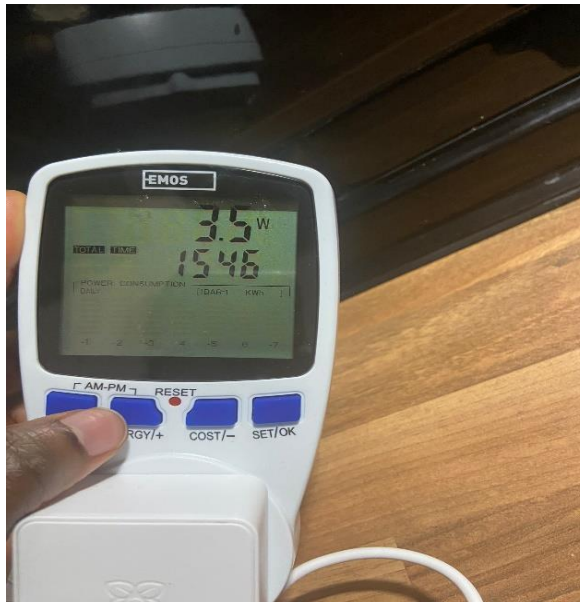


Figura 3.15 - Visualização do consumo de energia.

Com uma duração total de 15 horas e 46 minutos, o sistema consumiu uma energia total de 54,11 Wh, correspondendo uma potência de 3,5 W, que é um valor de consumo aceitável e esperado. Existe uma ligeira diferença entre o cálculo estimativo e o real, devido ao sensor de temperatura, visto que ele é um dispositivo que fornece uma saída analógica proporcional a temperatura. Isto significa que mediante o tempo que a temperatura varia a tensão também varia. Por este motivo o valor do consumo real é ligeiramente diferente ao consumo estimado.

2.12 Sumário e Conclusões

Neste capítulo, foi demonstrado o desenvolvimento de um sistema de irrigação, utilizando o *Raspberry Pi* e dois módulos XBEE-PRO S1, com o objetivo de realizar a comunicação sem fios entre os módulos. Foi criado um painel de visualização no *Blynk*, e por fim foi calculado o consumo de energia (estimativa) e consumo real através de um Wattímetro. Foram utilizados os principais componentes de um sistema de irrigação como, sensor de humidade, sensor de temperatura, mini bomba, relé, Arduino. Os módulos XBEE-PRO S1 oferecem dois modos de operações, AT e API, dos quais o AT é o mais simples de operar, e não precisa de uma integração complexa quanto ao API.

O consumo de energia estimado no período de uma hora é de 3,92 Wh, e o consumo real do sistema de irrigação no período de uma hora foi de 3,5 Wh, esta diferença de valores se deve ao facto de não utilizarem a mesma precisão na medição, pois o Wattímetro consegue controlar em tempo real a variação de tensão proveniente do sensor de temperatura.

Capítulo 4

Resultados

O projeto foi executado no Concelho da Covilhã. Como mostra a figura abaixo os resultados comprovaram, que a eficiência da comunicação realizada entre os nós XBEE-PRO S1 é diferenciada dependendo da distância.

3.1 Teste de alcance dos Nós

No primeiro teste, o nó coordenador estava dentro de um compartimento e a distância entre o nó de dispositivo final e o coordenador era separado por uma parede; os resultados indicam que em zonas urbanas a comunicação é mais eficaz a curtas distâncias, com uma resposta confiável e eficiente obtida entre 10 e 20 metros.

No entanto, conforme a distância aumenta, a confiabilidade e a velocidade da comunicação diminuem consideravelmente. Isso é evidenciado pelos testes bem-sucedidos entre 20 e 30 metros, mas com respostas consideravelmente demoradas, o que não é mal, visto que o protocolo da norma IEEE 802.15.4 é considerado como um protocolo de curto alcance de (0 a 100 metros).

Foi comprovado também que a utilização dos módulos para distâncias mais longas, onde a comunicação pode ser menos confiável e mais lenta, os dispositivos podem acabar consumindo mais energia na tentativa de estabelecer uma conexão estável, isso pode levar a um esgotamento mais rápido das baterias ou fontes de energia dos dispositivos. Esta característica pode ser problemática em sistemas autônomos, como um sistema de rega.

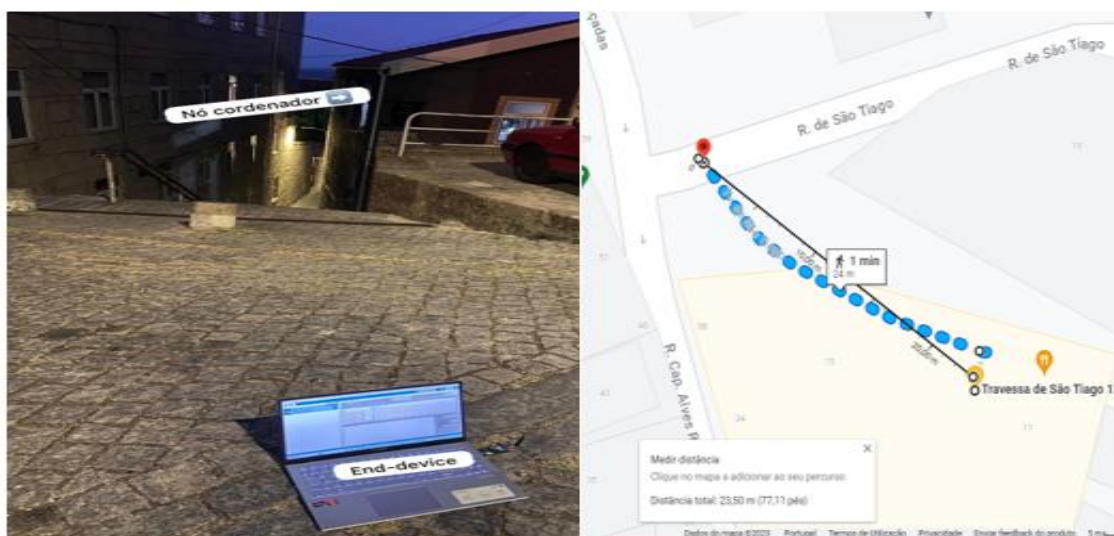


Figura 4 – Teste de alcance dos nós na travessa de São Tiago 13, na Covilhã.

O segundo teste, foi feito na UBIMedical, onde colocamos o nó coordenador e o dispositivo final em espaço livre sem barreira nenhuma.

Os resultados indicam que quando os nós são colocados para comunicar sem barreiras nenhuma, a comunicação é mais eficaz a distâncias de cerca de 60 metros, sem perda de mensagem, já com distâncias maiores a 60 metros, notava-se a perda de dados e atraso na receção dos dados. A Figura 4.1 apresenta a distância de teste com eficácia.



Figura 4.1 – Teste de alcance dos nós sem barreira na UBIMedical.

3.2 Análise dos Canais

Como se apresenta nas Figuras 4.2 e 4.3, o *software* XCTU, permitiu observar o espectro das bandas de rádio de 12 canais, possibilitando a observação do nível da intensidade do sinal dos canais, incluindo medições de máxima, mínima e média para ajudar na melhor configuração da rede.

Os resultados das Figuras 4.2 e 4.3 mostram que o CH1 é o melhor canal, pelo valor máximo de intensidade atingido, o que o torna numa conexão mais forte e estável. Quanto maior forem os valores das correntes em dBm, melhor o sinal do canal.

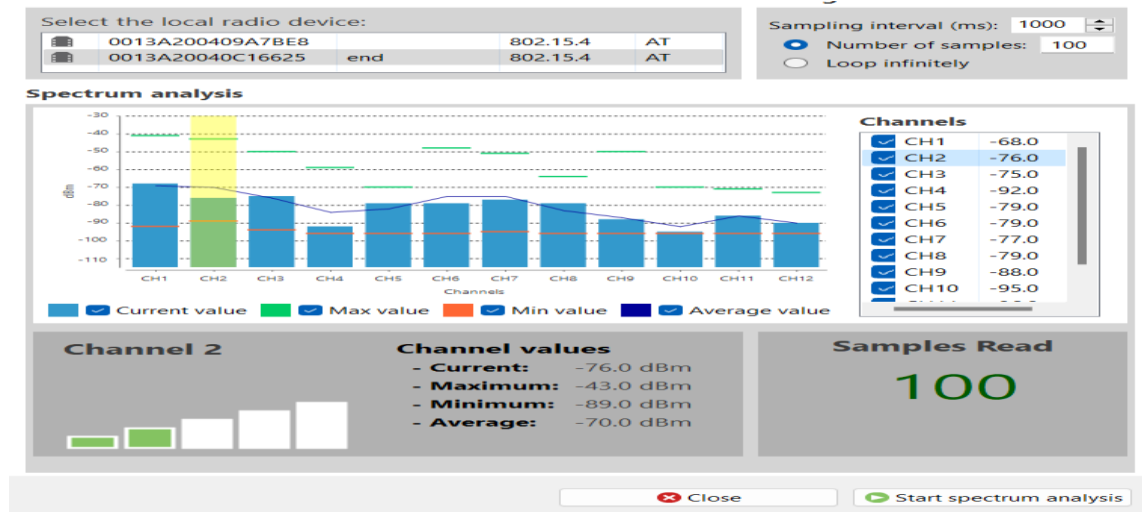


Figura 4.2 – Análise de canais na banda ISM (a 2,4 GHz).

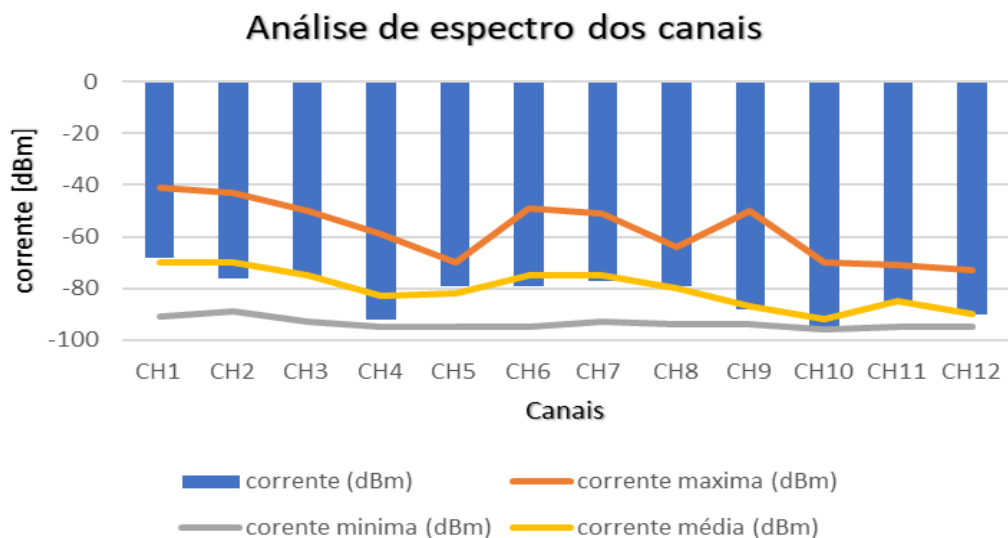


Figura 4.3 – Análise do espectro dos canais na banda ISM (a 2,4 GHz).

Esta análise permitiu-nos observar qual o melhor canal a ser selecionado na configuração dos módulos no *software* XCTU.

3.3 Painel no *Blynk*

Após o desenvolvimento e programação do sistema, tivemos de desenvolver um painel que já foi explicado no capítulo 3 dessa dissertação, para tal foi necessário executar o programa no Terminal para enviar os valores de humidade para o aplicativo *Blynk2.0* IoT e no painel Web, esta ação é apresentada na Figura 4.4.

Esta interface gráfica pode ser manuseada por qualquer pessoa que tenha familiarização ou não com a tecnologia de IoT, ela permite fazer a leitura dos dados da humidade em tempo real tornando-os disponíveis para acompanhamento e análise.

A interface também traz a possibilidade de ser instalada em smartphones, como se apresenta na Figura 4.5.

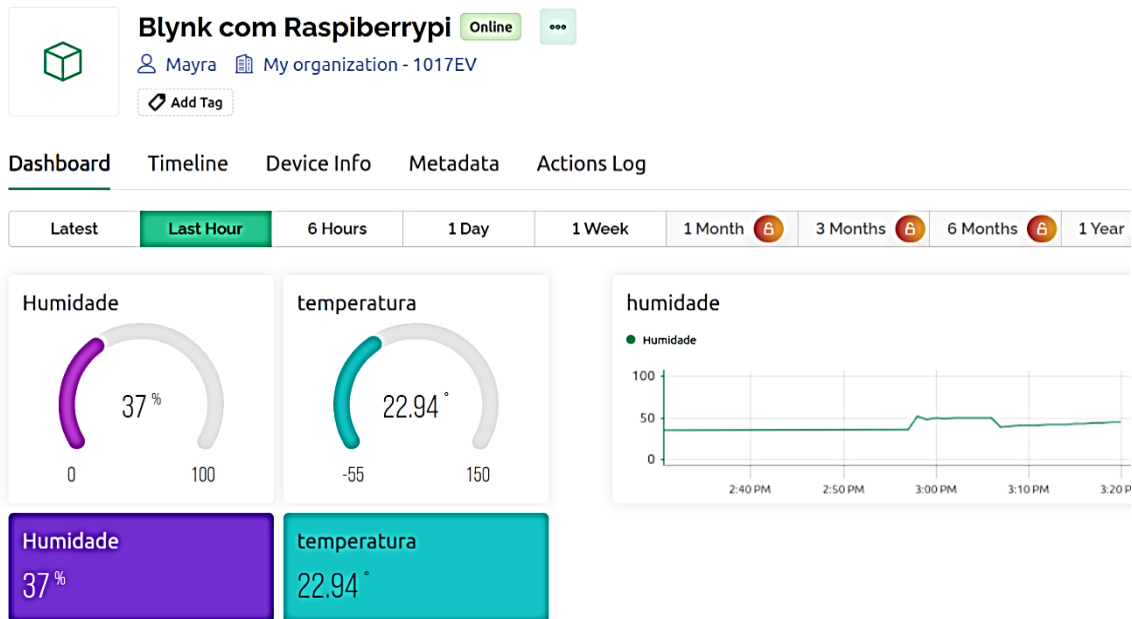


Figura 4.4 – Apresentação do painel no *Blynk*.

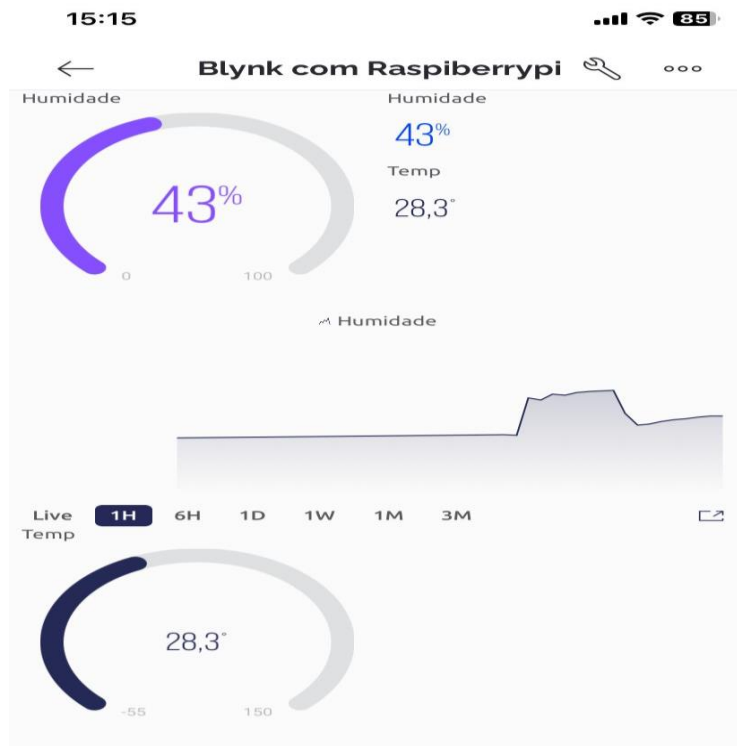


Figura 4.5– Apresentação do painel no *BlynkAPP*.

Os testes efetuados na camada de aplicação da plataforma de controlo e gestão de dispositivos IoT, foram realizados com sucesso, desde o registo, autenticação, conectividade e segurança na comunicação via HTTP.

3.4 Medição de RSSI e Taxa de Transferência de Dados

O *Received Signal Strength Indication* (RSSI) indica a intensidade do sinal recebido, é expressa em dBm, e é utilizado para avaliar a qualidade do sinal de rádio ou a potência do sinal em uma conexão de comunicação sem fio. O RSSI é dado pela seguinte fórmula:

$$RSSI = 10 \log \frac{P_r}{P_{ref}} \quad (3)$$

onde P_r é a potência recebida, e P_{ref} é a potencia recebida por referência e, normalmente, tem o valor de 1 mW.

Para se saber o valor RSSI, o XCTU dá-nos a opção *Range Test*. O valor medido de RSSI é obtido após a transferência de 100 pacotes de 34 bytes cada e feita a média do RSSI de cada transmissão. Após a configuração dos dados um gráfico é gerado como podemos observar nas Figuras 4.6 e 4.7.

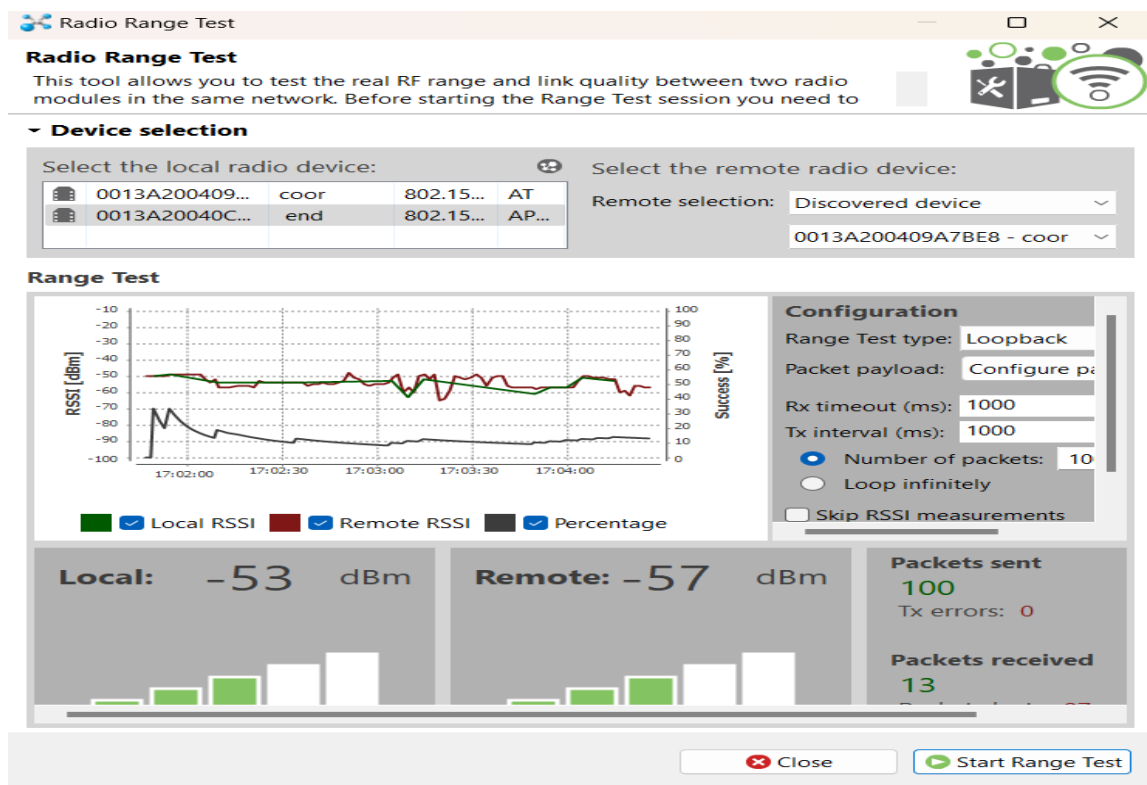


Figura 4.6– Teste de RSSI.

Os valores de RSSI dependem do local, e da distância, neste caso os valores de RSSI do nó local e do nó remoto estão na média, e nota-se a perda de pacotes. Em alguns momentos o valor de RSSI chega a -50 dBm, o que corresponde a uma boa qualidade do sinal (e quanto maior melhor).

Durante o teste verificou-se que, em geral, quanto maior é a distância entre o nó local e o nó remoto, menor é o valor do RSSI, perdendo-se alguns pacotes.

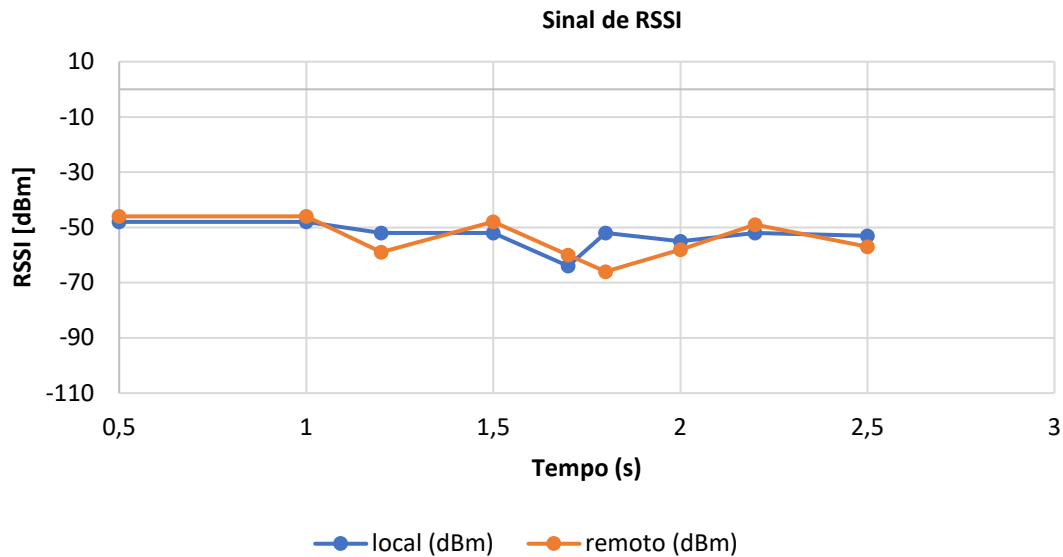


Figura 4.7– Monitorização dos valores medidos do RSSI.

A taxa de transferência de dados é a quantidade de dados que um sistema pode processar em um determinado tempo. Para saber o valor da taxa de transferência o XCTU nos dá a opção *throughput*; foi utilizado um intervalo de um minuto de transmissão e pacotes de 100 bytes. Como podemos observar as Figuras 4.8 e 4.9 a taxa de transferência média foi de 3,15 kb/s, este teste foi feito a pouco de 1,5 metros em local fechado.

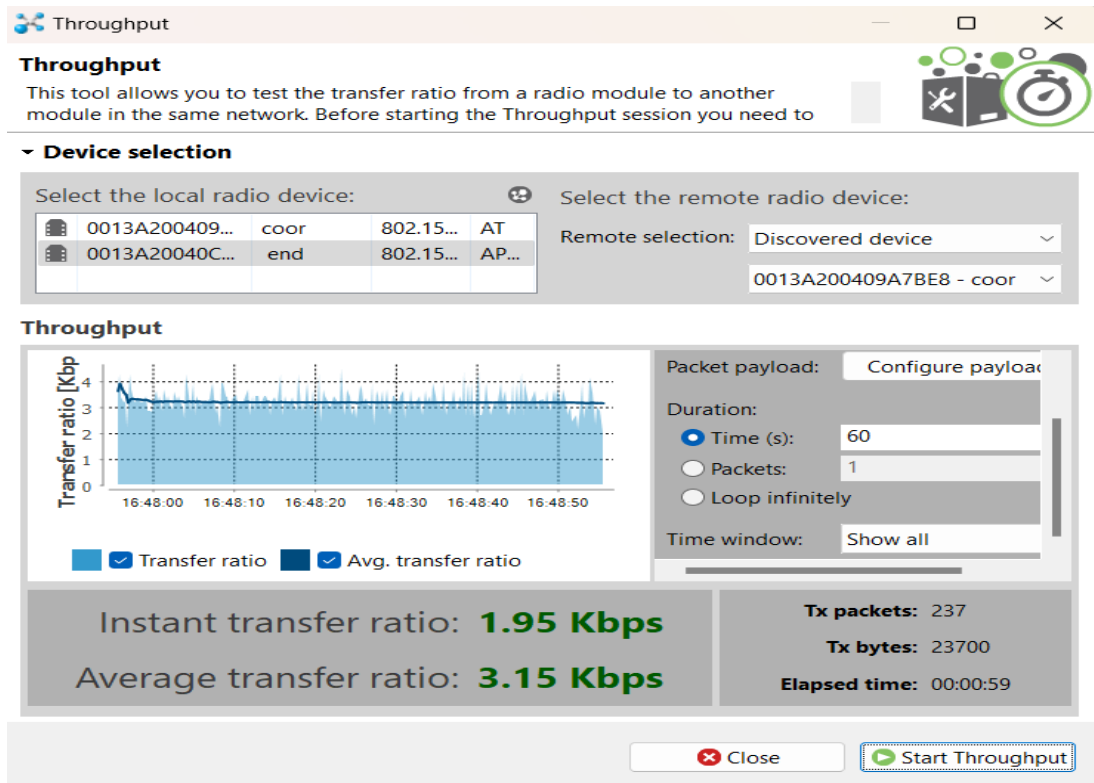


Figura 4.8– Taxa de transferência de dados.

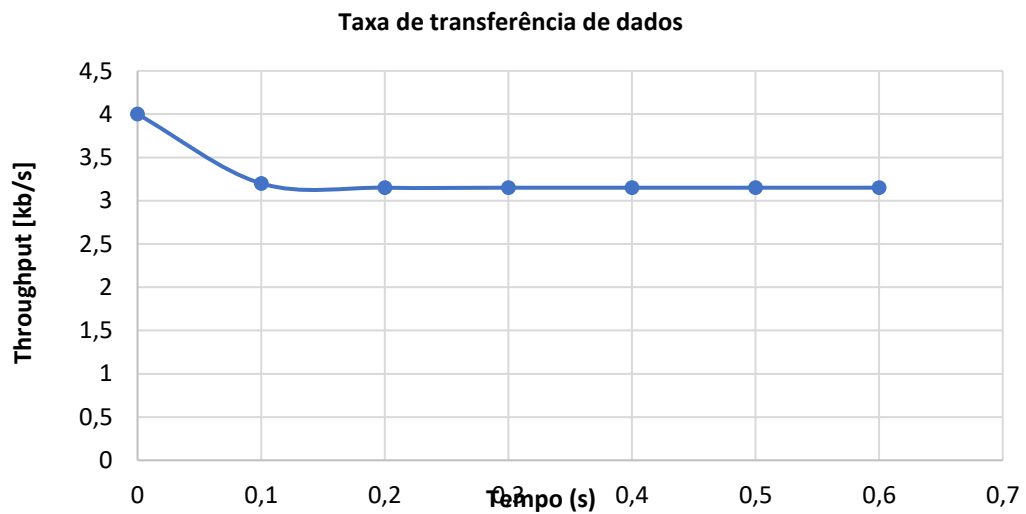


Figura 4.9– Evolução da taxa de transferência de dados ao longo do tempo.

3.5 Lições Extraídas

No âmbito da realização do trabalho foram extraídas várias lições como:

- Para que uma comunicação seja eficiente, o local e a distância entre os módulos são de primordial importância;
- É importante fazer o controlo do consumo de corrente dos canais para uma gestão mais eficiente;
- O RSSI ajuda-nos a identificar a qualidade dos sinais nos locais e tomar decisões conducentes à melhoria da qualidade do sinal;
- Relativamente à integração na plataforma do Blynk, realçou-se a importância de integrar as IoT em projetos como este (possibilita-se o controlo remoto, o que torna o sistema mais acessível).

Capítulo 5

Conclusão e Propostas para Trabalho Futuro

4.1 Conclusões

A agricultura é atividade que mais água consome a nível mundial. Sendo a água um recurso finito e com as mudanças climáticas se torna cada vez mais escasso, é necessário explorar soluções para uma gestão mais eficaz e mais sustentável deste recurso vital.

A implantação de redes IoT no âmbito da agricultura sustentável são de grande importância de forma a alcançar os resultados desejados em um curto espaço de tempo e conservar recursos por uma combinação de dispositivos eficientes e de baixo custo.

Com base nos estudos realizados sobre os diferentes tipos de tecnologias ou protocolos de comunicação, permitiu-nos concluir que os protocolos ZigBee/ norma IEEE 802.15.4, LoRa, NB-IoT são mais compatíveis para aplicações agrícolas porque oferecem um baixo consumo de energia, baixo custo, estratégias para mitigar o alto consumo de energia, em relação aos outros protocolos BT, WiFi, SigFox.

A partir das técnicas de recolha de energia estudadas, conclui-se que, qualquer uma pode ser adotada numa RSSFs, desde que se tenha em consideração a demanda energética do seu sistema.

No decorrer do trabalho conseguiu-se constatar as vantagens do uso do modulo XBEE-PRO S1, como confiabilidade, baixo consumo de energia, fácil configuração, ampla variedade de opções de modelo, flexibilidade de topologia de rede, segurança de dados, integração com microcontroladores e aplicabilidade em diversas áreas, assim como também tem a opção de ajuda na comunidade para utilizadores. Foi possível comparar os dois modos de operação (o API e o AT). Percebeu-se que o modo AT é mais fácil de utilizar e mais económico, pelo facto de fazer configurações diretas e comunicações básicas. De acordo com as necessidades do nosso projeto, não houve interesse em usar o modo API.

Em relação ao consumo energético, é importante dizer que o facto de não se utilizarem a mesma precisão entre os valores do consumo real e o consumo estimado, resultou nos resultados seguintes: valor real do consumo de energia no período de uma hora foi de 3,5 Wh; e o valor estimado do consumo de energia no período de uma hora foi de 3,92Wh. Quanto aos resultados da comunicação, o melhor valor medido de RSSI foi de -50 dBm, que corresponde a uma boa qualidade de sinal. A taxa de transferência de dados media foi de 3,15 kb/s, é uma velocidade de transferência consideravelmente baixo, porém

aceitável porque foram enviados dados simples como leitura de humidade e temperatura.

O desenvolvimento da interface criada na plataforma *Blynk* foi eficiente, pois o *Blynk* é muito simples de usar, e tem a vantagem de se poderem monitorizar os parâmetros através de um *smartphone*, em qualquer momento e lugar desde que tenha ligação à Internet. Constatou-se também que a sua programação é razoavelmente simples, como é possível observar no Apêndice A. A plataforma *Blynk* por ser conhecida por conectar dispositivos via internet e na nuvem, utiliza alguns métodos de segurança como: *Token* de autenticação para que só os dispositivos autorizados se conectem a plataforma; comunicação encriptada; controlo de acessos e proteção de dados.

Apesar dos desafios durante a fase de programação destinada à criação da interface e na familiarização com o sistema operativo Linux, constatou-se que, ao longo do processo de pesquisa e desenvolvimento desta dissertação, todos os objetivos estipulados foram alcançados com êxito.

4.2 Trabalho Futuro

Uma vez concluído este projeto de sistema de rega, onde este controla a humidade do solo, evitando assim danos e desperdícios de água e energia, este pode ser utilizado não só em agricultura, mas em casas, hotéis, e até se estudado e aprofundado com mais cautela, serve de base para prevenção e combate de incêndios, que é muito comum na zona do centro de Portugal.

Primeira Proposta: Implementação de um sistema híbrido de energia renovável

Como primeira proposta de trabalho, visto que para realizar este projeto eu usei fontes de energia tradicional, propõe-se que, no projeto de sistema de irrigação, seja implementado um sistema híbrido solar e eólico para que seja um sistema mais eficiente e sustentável. Onde esta combinação híbrida, garantirá o suprimento confiável de energia em diferentes condições climáticas; serviria para alimentar todo o sistema, como bombas, sensores e atuadores etc.

Esta proposta surge tendo em conta que o foco é buscar aliar sempre o desenvolvimento das tecnologias aos objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas, contribuindo para a conservação do meio ambiente e da prosperidade das comunidades [41]. Esse desenvolvimento deve facilitar a colaboração aberta e a normalização entre as diferentes partes interessadas, de uma forma multidisciplinar, criando, em última

análise, verdadeiras parcerias para todos os benefícios. Ao mesmo tempo que se ultrapassam muitas fronteiras tecnológicas na jornada para a 6G, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (SDGs da ONU) constituem uma perspetiva essencial para ajudar a priorizar o desenvolvimento. As normas que suportam os casos de utilização que representam a maior promessa para melhorar a vida humana e proteger o ambiente precisam de ser desenvolvidos em primeiro lugar (ajudando os decisores políticos e envolvendo as comunidades).

Segunda Proposta: Uso da Tecnologia 5G e pós-5G

Como segunda proposta, propõe-se utilizar a tecnologia 5G, sabe-se que potencial da agricultura de precisão depende em grande parte da alta velocidade, da latência ultrabaixa e da Banda Larga das redes de quinta geração. Ter uma boa conectividade é a chave de tudo.

A tecnologia de quinta geração começou a ser lançada em serviços comerciais em mais de 42 países, em 2020. Em 2021 Portugal já havia implementações-piloto em algumas zonas, sendo o objetivo do regulador (ANACOM) que, em 2023, todos os conselhos com mais de 75 mil habitantes tenham cobertura 5G.

A expectativa mundial é que em 2025, existam mais de 1,8 mil milhões de utilizadores.

A 5G vem trazer o suporte tecnológico das comunicações para todos os casos de uso de IoT. Na prática poderemos substituir os meios de acesso terrestre por meios móveis em todas as zonas onde exista cobertura. Cumprindo com os objetivos de velocidade de transmissão muito elevadas (espera-se futuramente que estejam na ordem dos 20 Gb/s), valores de latência muito baixos (de cerca de 8 ms, mas a tendência é alcançar atrasos extremo-a-extremo da ordem de 1 ms), fiabilidade e probabilidade de erros de bit muito baixas. Pode dizer-se que a tecnologia 5G constituem um conjunto de tecnologias diferentes, que pode variar em função do resultado que se pretende obter. Existem três vertentes distintas de tecnologia 5G: mMTC, uRLLC, eMBB (que serão consideravelmente melhoradas no âmbito da 6G).

No contexto deste trabalho, que tem como caso de utilizadores sensores e atuadores agrícolas, utilizaríamos a tendência mMTC, visto que corresponde a cenários de utilização de equipamentos de baixa energia, pequenos volumes de dados e baixo custo. Como as redes 5G suportam casos de utilização de IoT, com um sistema de irrigação assente na plataforma de IoT, é possível atuar, em tempo real, de acordo com as condições atmosféricas e com a previsão meteorológica, a implementação de um sensor de chuva, será útil para evitar desperdício suspendendo o plano de rega se a previsão de chuva justificar; a implementação de comunicação multimédia como vídeo *streaming*, é relevante pelos seguintes benefícios: Monitoramento remoto e monitoramento em

tempo real; Criação de um histórico e análise de dados isso é útil para o rastreamento e o desempenho ao longo do tempo; Detecção de problemas e manutenção.

Portanto, incluir o vídeo *streaming* em um sistema de irrigação é uma estratégia válida para melhorar a eficiência, a precisão e o controle sobre a irrigação, além de proporcionar uma melhor supervisão e gestão global das operações na agricultura.

Terceira Proposta: Implementação de *Big Data* e Segurança nas IoT

No contexto deste trabalho não convém utilizar uma base de dados simples, por isso sugere-se a utilização da *Big Data*, que é um tipo de base de dados que se destaca por ter a capacidade de dar respostas necessárias aos desafios de crescentes volumes de dados, velocidade e variedade. Estes são os famosos 3 V que descrevem a *Big Data*, a que, mais tarde, se juntou a veracidade que é a garantia da veracidade dos dados.

Uma das características mais importantes que a *Big Data* introduziu é a possibilidade de armazenar e tratar dados estruturados (ficheiros com formato predefinido) e dados não estruturados (dados que não seguem uma organização predefinida) como exemplo: e-mails, fotografia, vídeos, ficheiros de som, PDF entre outros.

Existem vários riscos de segurança quando se faz o uso de tecnologia IoT, e as consequências podem ser catastróficas. Existem tecnologias desenvolvidas especificamente para demonstrar os riscos de segurança inerentes à exposição de serviços na internet.

Para garantir a segurança em sistemas de irrigação, é importante seguir padrões de segurança desde a fase de projeto e implementação, usando criptografia, autenticação, atualizações de *firmware* e monitorização constante para detetar e responder a ameaças. Além disso, a consciencialização sobre segurança entre os utilizadores e operadores dos sistemas é importante para prevenir fragilidade de segurança. Uma proposta simples será utilizar os mecanismos de autenticação e segurança do *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), tal como a encriptação *Transport Layer Security* (TLS).

Referências

- [1] J. T. J. Penttinen, “5G Second Phase Explained: The 3GPP Release 16 Enhancements”, 2.^a ed. Jyrki T. J. Penttinen, 2021.

- [2] T. A. A. da Silva, “Percepção de Risco, Produção de Energia Eólica e Pequenos Agricultores do Agreste Pernambucano”, *CECS*, vol. 11, n.o 1, Art. n.o 1, jul. 2023, doi: 10.47456/cadecs.v11i1.41925.
- [3] P. L. S. Lima, “Uma Proposta Para Redução de Consumo de Energia em Redes de Sensores Sem Fio”, *Master, Universidade de Brasília*, Brasil, 2015. doi: 10.26512/2015.07.D.18985.
- [4] P. Coelho, “5G e Internet das Coisas”, 2.^a ed , PT, FCA, 2022.
- [5] P. Coelho, “5G e Internet Das Coisas”, 1.^a ed, PT, FCA, fev.2017.
- [6] H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, e M. Ismail, “Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review”, *Sensors*, vol. 17, n.º 8, p. 1781, ago. 2017, doi: 10.3390/s17081781.
- [7] C. E. Fehri, M. Kassab, S. Abdellatif, P. Berthou, e A. Belghith, “LoRa Technology MAC Layer Operations and Research Issues”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 1096–1101, jan. 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.162.
- [8] T. S. O. Tamachiro, F. N. Junior, e M. A. M. Marques, “Estudo De Implantação De Sistema Piezoelétrico Para Geração De Energia Limpa Em Um Controle De Videogame”, *ENEGEP 2019* , SANTOS/SP - BRASIL, nov. 2019. doi: 10.14488/ENEGEP2019_TN_STO_298_1684_37205.
- [9] A. R. Facina, R. G. Tancredo, M. S. Facina, e G. Fraidenaich, “Comunicação Lora Na Zona Rural: Análise Baseada Em Uma Campanha De Medição No Noroeste Paulista”, *SBrT*, 2021.
- [10] A. M. B. SCHULTZ e G. S. D. O. DALLAVECHIA, “Energias Renováveis E Sustentabilidade: Uma Revisão, Salão Conhecimento”, vol. 8, n.º 8, 2022.
- [11] P. G. V. Sampaio e M. O. A. González, “Photovoltaic Solar Energy: Conceptual Framework”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, pp. 590–601, 2017.
- [12] “Transferência De Energia Sem Fio”, *HiSoUR Arte Cultura Exposição*. [online], disponível em: <https://www.hisour.com/pt/wireless-power-transfer-39881/>.
- [13] S. E. B. G. Buché, “Recolha De Energia Cinéticas Das Vibrações Mecânicas Em Tubulações De Água”, M.S. Thesis, DEM, UBI, Covilhã, PT, 2023.
- [14] C. R. A. Bumba, “Regulação da Energia de Células de Combustível Microbiana com um Conversor DC-DC”, M.S. Thesis, DEM, UBI, Covilhã,

- PT, 2022. [online]. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/13085>.
- [15] L. R. Cuesta, “Análisis Y Optimización Tecno-Económica De Un Sistema Híbrido Fotovoltaico-Hidrógeno Para Suministro Eléctrico En Un Alojamiento Rural”, M.S. Thesis, UPV,ESP, 2023.
- [16] K. F. Muteba, K. Djouani, e T. Olwal, “5G NB-IoT: Design, Considerations, Solutions and Challenges”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 198, pp. 86–93, jan. 2022, doi: 10.1016/j.procs.2021.12.214.
- [17] “Tecnologias”, *CelPlan*. Disponível em : <https://celplan.com.br/tecnologias/>.
- [18] A. Nadziejko, “Wireless Sensor Networking Applied to Swarms of Aquatic Drones”, M.S. Thesis, DEM,UBI, Covilhã, PT 2016.
- [19] M. E. Salles, R. L. Salvador, H. dos Santos, e J. W. Vilani, “Controle de irrigação inteligente”, 091, ICPS, São Paulo, BR, jun. 2023. [online]. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/13567>.
- [20] D. J. S. D. Henriques, “Implementação De Um Sistema De Rega Inteligente”, IPT, Tomar, PT, nov.2019. [online]. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/31426/1/Relatorio_Projeto_Final_Mestrado.pdf.
- [21] E. F. S. Araujo, “Protocolo Zigbee”, UFRJ, 2017. [online]. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2017_2/802154/zigbee.html.
- [22] G. H. G. SILVA, “Estudo De Padrões De Comunicação Em Wbans: Uma Análise Comparativa Das Técnicas De Escalonamento De Filas Em Dispositivos Bluetooth Low Energy”, UEL, Londrina, BR, jun.2023.
- [23] G. H. de A. Santos, M. J. de Carvalho, F. S. de Sousa, e L. P. Dantas, “Aplicação De Redes Esp-Wifi-Mesh em Zona Rural”, *Rev. Científica SENAI-SP - Educ. Tecnol. E Inov.*, vol. 1, n.º 1, Art. n.º 1, ago. 2022.
- [24] T. Werner, “Uso Da Tecnologia Lorawan Para O Monitoramento De Dados Ambientais”, CSJ, IFSC, jul.2018.
- [25] N. H. Motlagh *et al.*, “Mmtc Deployment Over Sliceable Infrastructure: The Megasense Scenario”, *IEEE Netw.*, vol. 35, n.º 6, pp. 247–254, nov. 2021, doi: 10.1109/MNET.111.2100093.

- [26] K. F. Muteba, K. Djouani, e T. Olwal, “5G NB-IoT: Design, considerations, solutions and challenges”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 198, pp. 86–93, 2022.
- [27] S. S. C. Alario, “*Prototipo de un sistema de monitorización domótico basado en la plataforma Arduino usando protocolos estándar de gestión de red*”, ETSIIT, UC, ES, jul.2023.
- [28] D. A. Barbosa, “Monitorização De Condições Ambientais Em Explorações Agrícolas”, M.S. Thesis, FC, UL, Lisboa, PT, 2012.
- [29] E. S. Rosa, “Sistema De Sensores Inteligentes Em Rede Distribuída Para Monitorar Vibração Em Estruturas De Grande Porte”, Etep-FTSJDC, BR, jun.2023.
- [30] T. A. Derenievicz, “Sistema De Comunicação Veicular Sem Fio Para Redução Do Consumo De Combustível, Emissões E Tempo De Espera Em Semáforos De Tempo Fixo”, DEEST, UFP, Curitiba, BR, 2023.
- [31] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, e W. M. Townsley, “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things”, *Sensors*, vol. 16, n.º 9, Art. n.º 9, set. 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [32] D. J. S. D. Henriques, “Implementação De Um Sistema De Rega Inteligente”, IPT, Tomar, PT, 2019. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/31426/1/Relatorio_Projeto_Final_Mestrado.pdf.
- [33] J. T. J. Penttinen, Ed., “5G Second Phase Explained: The 3GPP Release 16 Enhancements”, *1st edition. Hoboken, NJ: Wiley, Atlanta, USA*, 2021.
- [34] “Sensor De Humidade No Solo”, botnroll.com. Disponível em: <https://www.botnroll.com/pt/temperatura/788-sensor-de-humidade-no-solo.html>.
- [35] TI, “LM35 Data Sheet, Product Information And Support | TI.Com”, Texas Instrument. Disponível em: <https://www.ti.com/product/LM35>.
- [36] “Mini Bomba Submersível Água”, aliexpress.com. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005005319201109.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform.
- [37] “ArduinoModules, KY-019 5V Relay Module”, ArduinoModulesInfo. Disponível em: <https://arduinomodules.info/ky-019-5v-relay-module/>.
- [38] P. Coelho, “5G E Internet Das Coisas”, 2.^a ed. FCA, PT, 2022.
- [39] “UNO R3 | Arduino Documentation”, Arduino.cc. Disponível em:

<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>.

[40] Digi, “XBee/XBee-PRO S1 802.15.4 (Legacy) User Guide”. Disponível em: <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf>.

[41] M. Matinmikko-Blue, S. Aalto, M. I. Asghar, H. Berndt, Y. Chen, S. Dixit, V. Ziegler, “White paper on 6G drivers and the UN SDGs,” *arXiv preprint arXiv:2004.14695*, 2020.

Apêndices

Apêndice A

Código 1

Refere-se ao código executado no *python* para comunicar o *Raspberry* com e XBEE PRO S1 e para mandar informações no *Blynk*.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import BlynkLib
import serial
import time
import RPi.GPIO as GPIO

# Configuração da porta serial para o XBee
ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600)
time.sleep(2)

# Configuração da porta serial para a humidade
comunicacaoSerial = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(12, GPIO.OUT)
GPIO.output(12, GPIO.LOW)

# Insira o Token do seu projeto Blynk aqui
BLYNK_AUTH_TOKEN = "pMoasIEsBsOvDxPtGROIML9j0fsp6M2c"

blynk = BlynkLib.Blynk(BLYNK_AUTH_TOKEN, server="lon1.blynk.cloud")

# Função para coletar dados da humidade
def ler_sensor_serial():
    linha = comunicacaoSerial.readline().decode("utf-8", errors="ignore")
    # Verificar se a linha contém os valores de humidade e temperatura
    if "Humidade" in linha and "Temperatura" in linha:
        partes = linha.strip().split()
        humidade = int(partes[2].strip('%'))
        temperatura = float(partes[5].strip('°C'))
        return humidade, temperatura # Retorna os valores
    else:
        return None, None # Retorna None se os valores não foram
    encontrados na linha

@blynk.on("connected")
def blynk_connected():
    print("olá, estás conectado ao Blynk2.0")

    time.sleep(2)

while True:
    blynk.run()

    humidade, temperatura = ler_sensor_serial() # Lê os valores
```

```

if humidade is not None and temperatura is not None:
    print('humidade:', humidade)
    print('temperatura:', temperatura)

if humidade < 50 and 4 <= temperatura <= 25:
    GPIO.output(12, GPIO.HIGH)
    print("Ligar bomba")
    message = f" humidade : {humidade}% , temperatura :
{temperatura} C"
else:
    GPIO.output(12, GPIO.LOW)
    print("Desligar bomba")
    message = f" humidade : {humidade}% , temperatura :
{temperatura} C"

blynk.virtual_write(0, humidade)
blynk.virtual_write(1, temperatura)

ser.write(message.encode())
print(f"Enviado: {message}")
blynk.virtual_write(0, humidade)
print("Values sent to New Blynk Server!")

time.sleep(2) # Espere por algum tempo antes de ler novamente

```

Código 2

O código 2 refere-se à programação feita no Arduino, para obter os valores de humidade e temperatura.

```

#define pinoAnalog A0 // Define o pino A0 como "pinoAnalog"
#define pino5V 7 // Define o pino 7 como "pino5V"
const int lm35_pin = A1; // #define plm35_pin A1
int ValAnalogIn = 0;

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Declara o BaundRate em 9600

```

```

pinMode(pino5V, OUTPUT);           // Declara o pino5V como Saída
digitalWrite(pino5V, HIGH);       // Põem o pino5V em estado Alto = 5V

}
void loop() {

delay(5000);
ValAnalogIn = analogRead(pinoAnalog); // Relaciona o valor analógico
com o recebido do sensor
int Porcento = map(ValAnalogIn, 1023, 0, 0, 100); // Relaciona o valor
analógico à porcentagem
Serial.print("Humidade = ");
Serial.print(Porcento); // Imprime o valor em Porcento no monitor Serial
Serial.print("%");      // Imprime o símbolo junto ao valor encontrado

    int temp_adc_val;
    float temp_val;
    temp_adc_val = analogRead(lm35_pin);
    temp_val =(temp_adc_val * 4.88);
    temp_val =(temp_val/10);
    Serial.print("  Temperatura = ");
    Serial.print(temp_val);
    Serial.print("°C\n");

if (Porcento <= 50 && temp_val >= 4 && temp_val <=25)
{
// Se a porcentagem
for menor ou igual à
Serial.println("regar a planta ...");// Imprime a frase no monitor serial

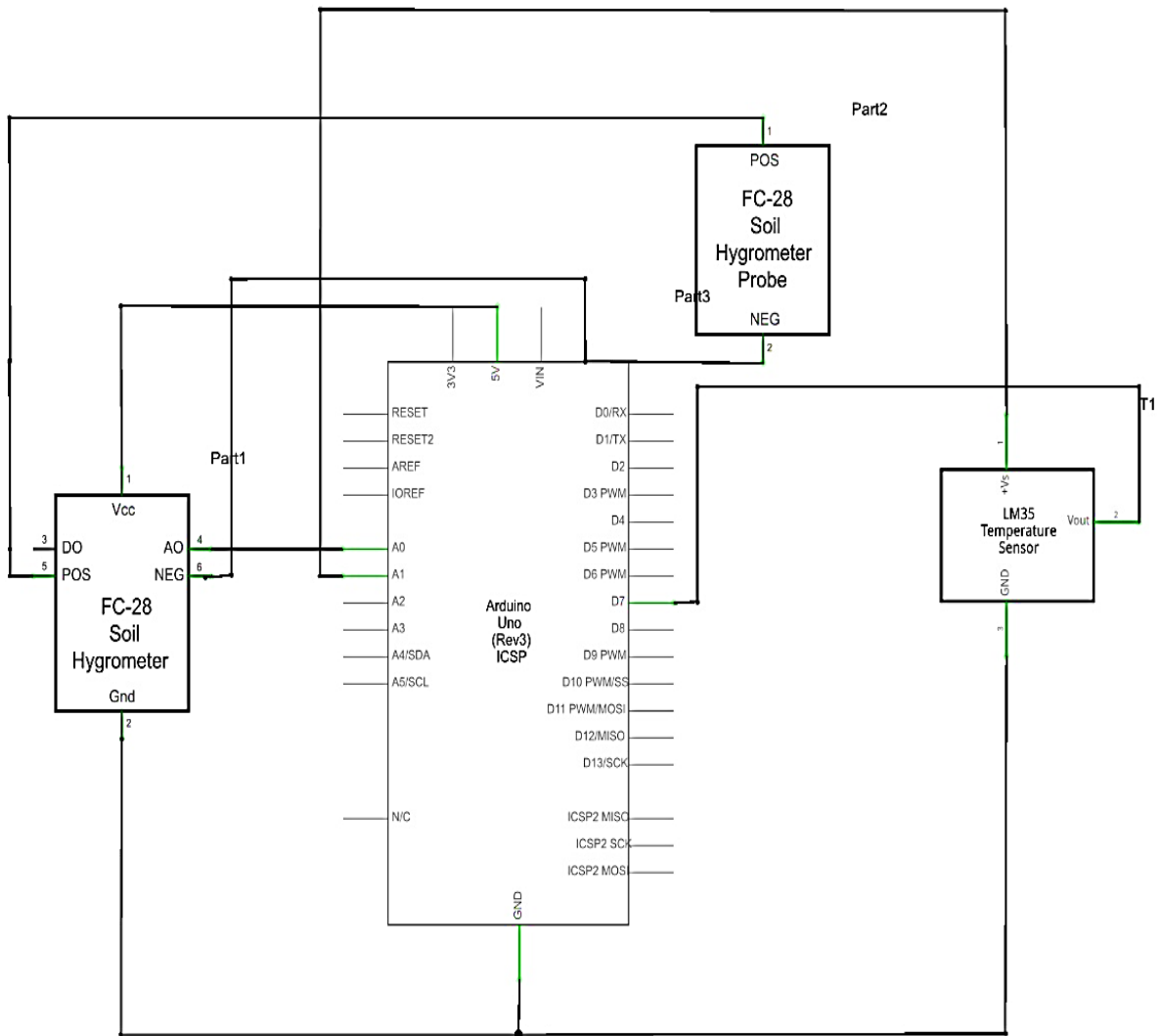
else {
// Se não ...
Serial.println("Planta regada ..."); // Imprime a frase no
monitor serial
//Serial.println(analogRead(pinoAnalog));
}

delay (2000);
}

```

Apêndice B

Este é um esquema elétrico da ligação dos sensores e o Arduino .



fritzing

Figura A.1: Esquema elétrico da conexão do Arduino e dos sensores.

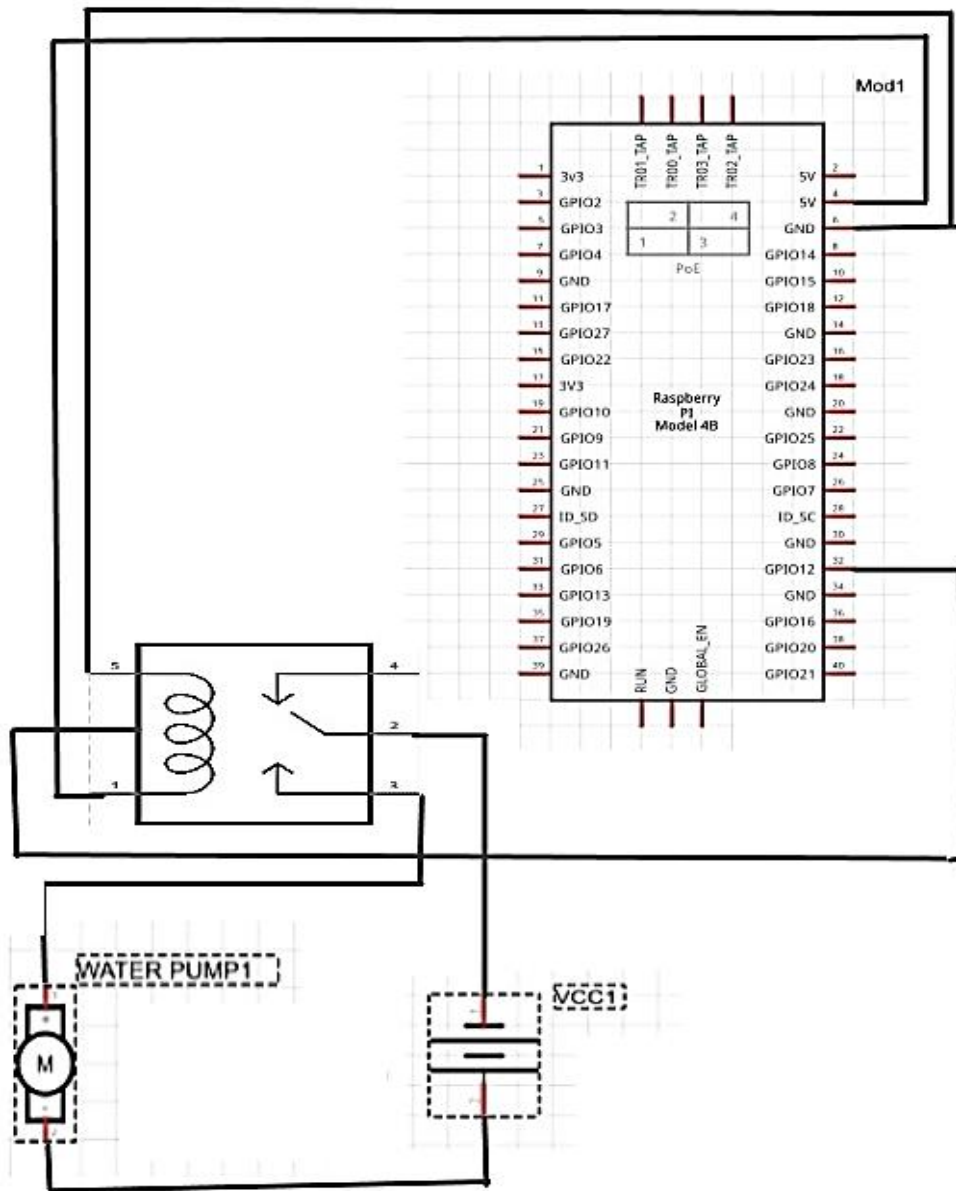


Figura A.2: Esquema elétrico da parte da ligação do *Raspberry Pi*.

Anexos

Comunicações seriais

Os módulos RF fazem interface com um dispositivo *host* por meio de uma porta serial. Usando sua porta serial, o dispositivo se comunica com qualquer um dos seguintes [40]:

- UART compatível com lógica e tensão
- Tradutor de nível para qualquer dispositivo serial (por exemplo, através de uma placa de interface RS-232 ou USB)

Fluxo de dados UART

Dispositivos que possuem interface UART se conectam diretamente aos pinos do XBEE/XBEE PRO S1 802.15.4(*Legacy*) conforme mostrado na figura a seguir. A figura mostra o fluxo de dados do sistema em um ambiente com interface UART. Sinais de baixa afirmação possuem uma linha horizontal sobre o nome do sinal.

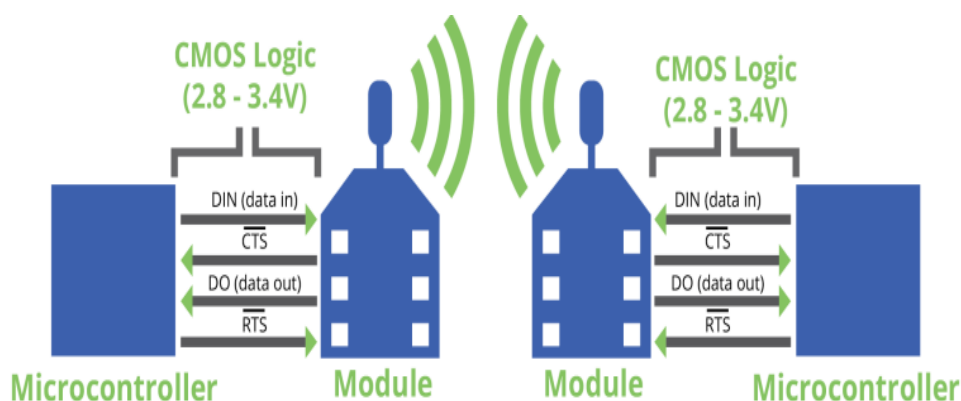


Figura A.3-Desenho do fluxo de dados UART no XBEE PRO [40]

Dados em série

Um dispositivo envia dados para o UART do XBEE/XBEE PRO S1 802.15.4 através do pino 3 DIN como um sinal *serial* assíncrono. Quando o dispositivo não está transmitindo dados, os sinais devem estar em nível alto.

Para que a comunicação serial ocorra, você deve configurar o UART de ambos os dispositivos (o microcontrolador e o XBEE/XBEE PRO S1 802.15.4) com configurações compatíveis para taxa de transmissão, paridade, bits de início, bits de parada e dados pedaços.

Cada *byte* de dados consiste em um bit de início (baixo), 8 bits de dados (primeiro o bit menos significativo) e um bit de parada (alto).

Sinais de pinos

A imagem a seguir mostra os números dos pinos; ela mostra os lados superiores e inferiores do dispositivo.

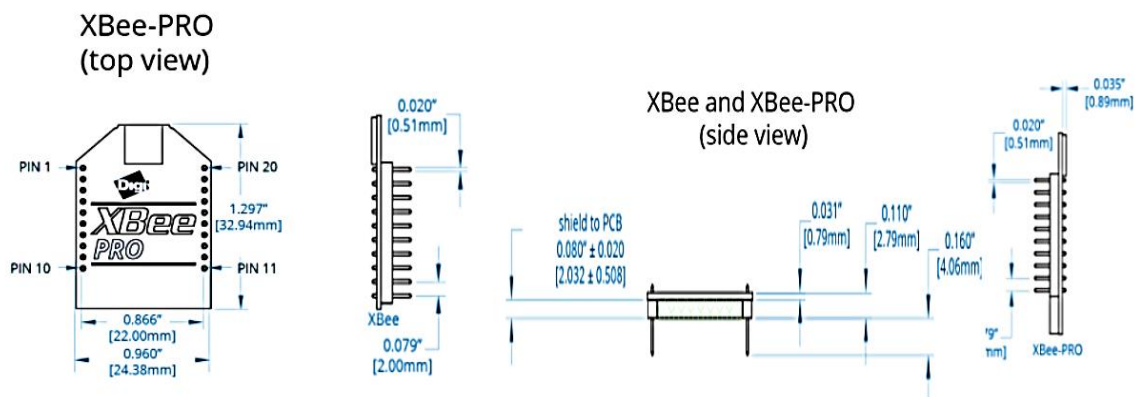


Figura A.4-Desenho do XBEE-PRO S1.

A tabela A1 descreve as atribuições de pinos para os dispositivos.

Tabela A1-pinos XBEE e XBEE PRO S1 [40].

Pin	Name	Direction	Description
3	DIN/CONFIG	Input	UART data In
4	DO8 ¹	Either	Digital output 8
5	RESET	Input/Open drain output	Device reset (reset pulse must be at least 200 ns). This must be driven as an open drain/collector. The device drives this line low when a reset occurs. Never drive this line high.
6	PWM0/RSSI	Either	PWM output 0 / RX signal strength indicator
7	PWM1	Either	PWM output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	Either	Pin sleep control line or digital input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4/DIO4	Either	Analog input 4 or digital I/O 4
12	CTS/DIO7	Either	Clear-to-send flow control or digital I/O 7
13	ON/SLEEP	Output	Device status indicator
14	VREF	Input	Voltage reference for A/D inputs
15	Associate/AD5/DIO5	Either	Associated indicator, analog input 5 or digital I/O 5
16	RTS/DIO6	Either	Request-to-send flow control, or digital I/O 6
17	AD3/DIO3	Either	Analog input 3 or digital I/O 3
18	AD2/DIO2	Either	Analog input 2 or digital I/O 2
19	AD1/DIO1	Either	Analog input 1 or digital I/O 1
20	AD0/DIO0	Either	Analog input 0, digital I/O 0